

**CARACTERISATION VIBRO-ACOUSTIQUE D'UNE VEINE
HYDRODYNAMIQUE**

17^{èmes} JOURNEES DE L'HYDRODYNAMIQUE JH2020

M. Régniez^{(1)*}, M.-A.-J. Alawieh^{(1),(3)}, J.-M. Sanchez⁽¹⁾, A. Santa Cruz⁽²⁾, V. Millet⁽¹⁾, S. Guillou⁽²⁾, F. Chevalier⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Naval Group, Cherbourg, France

⁽²⁾ Université de Caen Normandie, LUSAC, France

⁽³⁾ Université de Caen Normandie, ESIX Normandie, France

⁽⁴⁾ Naval Group, Lorient, France

* Corresponding author: margaux.regnierz@naval-group.com

Résumé

Le Laboratoire Universitaire des Sciences Appliquées de Cherbourg (LUSAC) a dernièrement dimensionné et construit une veine hydrodynamique dans le but de réaliser des essais sur des maquettes d'hydroliennes ou d'objets immergés. Un tel système pourrait également permettre d'étudier le comportement vibro-acoustique d'éléments de structures extérieures de navires (gouvernes par exemple), à échelle réduite, placés dans la zone d'étude de la veine en écoulement. Le comportement hydroacoustique de singularités de coque dans un écoulement est également un sujet d'intérêt. Il existe peu de moyens d'essais de ce type en France et le plus connu est le Grand Tunnel Hydrodynamique (GTH), construit il y a une trentaine d'années pour étudier particulièrement le bruit de propulseurs [1, 2]. Pour initier ce type d'études, une caractérisation dynamique et acoustique de la veine hydrodynamique est nécessaire au préalable, afin de connaître son comportement ainsi que le bruit de fond atteint lors de son fonctionnement. En effet, avant d'exciter une structure immergée en vibrations, l'écoulement peut exciter les parois de la veine et générer des vibrations qui se transmettent dans l'ensemble du système, voire rayonner du bruit à l'extérieur. Par ailleurs, il faut connaître le découplage d'un tel système par rapport à son environnement : des vibrations parasites peuvent-elles être transmises de la salle de mesure au support voire à la veine elle-même ? De plus, une étude acoustique et vibratoire particulière du moteur permettant l'établissement de l'écoulement dans la veine est nécessaire afin de s'assurer qu'il ne perturbe pas d'éventuelles mesures vibratoires et hydroacoustiques au niveau du moyen d'essai. Les travaux décrits ici proposent la mise en place d'un protocole pour répondre à l'ensemble de ces problématiques. Un état de l'art est proposé afin de décrire les enjeux de moyens d'essais similaires existants et permettant les mesures vibro-acoustiques visées. La première étape du travail est ensuite de caractériser dynamiquement le moyen d'essai du LUSAC au repos au moyen d'une modélisation numérique de la veine hydrodynamique en eau. Un couplage fluide-structure fort est donc considéré. Les modes vibratoires, acoustiques et couplés du moyen d'essai sont calculés. Un protocole expérimental visant à valider le modèle numérique est mis en place. Ainsi, les essais permettront de vérifier certaines données du modèle telles

que les raideurs des supports et des flexibles de la veine hydrodynamique. Enfin, ils permettront de vérifier les modes calculés numériquement et un éventuel recalage du modèle numérique.

Summary

The LUSAC has recently dimensioned and built a hydrodynamic tunnel in order to realize experimental tests on tidal turbines models or on submerged objects. Such a system could also allow studying the vibroacoustic behavior of models of ship's external structures parts (control surfaces for example) placed in the flowing tunnel. The hydroacoustic behavior of in flow ship hull singularities is also a subject of interest. There exists few test bench like this one in France and the most known is the cavitation tunnel (GTH), built about 30 years ago. Noise propeller is particularly studied with this bench [1, 2]. To initiate this kind of studies, a dynamic and acoustic characterization of the hydrodynamic tunnel is necessary in order to have the knowledge of its dynamic behavior and in order to measure the background noise in operation. Indeed, before exciting a submerged structure mechanically, tunnel walls can vibrate due to the flow. The vibrations can be transmitted to the whole system or radiate noise. Otherwise, it is important to know decoupling performance of such a system regarding its environment: could parasitic vibrations be transmitted from the test room to the support or to the test bench itself? Furthermore, a particular acoustic and vibration study on the test bench engine is necessary to be sure that it does not disturb hydroacoustic and vibration measurements. Works described here propose a protocol set-up to answer all of these issues. A state of the art is first realized to describe the issues of existing similar test bench and allowing vibroacoustic measurements. Then the first step of the study is to realize a numerical modelling of the water filled test bench. Then, a strong fluid-structure coupling is considered in modelling. The vibration, acoustic and coupled eigen modes are computed. An experimental protocol is set to validate the numerical modelling. Then, tests will allow verifying modelling data such as test bench parts' stiffnesses. Finally, computed eigen modes will be verified by tests.

1. Introduction

Lors de la conception de navires, des essais sur maquette dans un fluide en écoulement peuvent être réalisés, dans le but d'étudier le bruit du propulseur notamment. Le comportement vibratoire d'un appendice placé dans l'écoulement peut également être investigué. En France il existe le Grand Tunnel Hydrodynamique (GTH) sur le site de la DGA à Val de Reuil, installation qui permet ce type d'essais [1, 2, 3]. Ce moyen expérimental a été dimensionné dans les années 80 et présente un niveau de bruit de fond très bas, afin de réaliser des essais acoustiques et vibratoires destinés à améliorer les performances acoustiques des propulseurs de navires.

Le Laboratoire Universitaire de Sciences Appliquées de Cherbourg (LUSAC) a dimensionné et fait construire une veine hydrodynamique, au départ destinée à réaliser des essais concernant l'étude de l'écoulement autour d'objets immergés. Dans les travaux présentés ici, le comportement dynamique du moyen d'essai au repos (sans écoulement) est étudié afin d'évaluer la faisabilité de futurs essais acoustiques et/ou vibratoires sur des objets placés dans cette veine hydrodynamique en fonctionnement (avec écoulement).

La première étape de l'étude consiste à étudier numériquement le comportement dynamique de la veine hydrodynamique. L'objectif est de connaître, d'une part les modes propres de la structure (conduite et supports) ainsi que les modes acoustiques de la conduite et de comprendre la propagation des vibrations au travers de chaque élément de la veine d'autre part. Par exemple, le transfert des vibrations entre la conduite et les supports est étudié.

Pour atteindre cet objectif, la veine hydrodynamique est décrite de façon détaillée et les données présentées sont comparées, à titre d'ordre de grandeur, à celles du GTH. Les hypothèses posées sont argumentées puis le modèle numérique de la veine d'essai est décrit. Lors de futurs travaux, le modèle numérique développé, ainsi que les hypothèses prises seront vérifiés ou recalés au moyen d'essais sur la veine hydrodynamique du LUSAC. Les résultats en termes de comportement modal et de réponse en fréquence de la veine hydrodynamique sont enfin présentés et discutés.

2. Description de la veine hydrodynamique du LUSAC

La veine hydrodynamique est visible sur la Figure 1. Elle est constituée de plusieurs éléments ayant un rôle propre. La conduite dirige le fluide, depuis la zone où la pompe et le moteur agissent pour sa mise en mouvement à pression hydrostatique et vitesse souhaitée (cf. [5]), jusqu'à la zone d'étude en plexiglas (Polyméthyl Methacrylate). Le débitmètre permet une mesure de la vitesse débitante du fluide dans la conduite. Cette conduite a une section qui varie afin de diriger le fluide et maîtriser autant que possible la qualité de son écoulement. Le sens de l'écoulement est indiqué sur la Figure 1. Sur son chemin, le fluide rencontre différents éléments :

- le nid d'abeilles permet de rendre l'écoulement le plus laminaire possible en amont de la zone d'étude ;
- la grille de turbulence, comme son nom l'indique, permet de générer et donc maîtriser les turbulences au niveau de la zone d'étude ;
- la zone d'étude transparente en plexiglas, de longueur de l'ordre de 1,5m et section droite carrée de côté 30cm, où les mesures sur des objets immergés (fixés au couvercle) sont réalisées ;
- la grille de rétention ;
- la cuve ;
- deux compensateurs de dilatation (cf. Figure 5) : un à la verticale et un à l'horizontale. Ils permettent l'atténuation des vibrations générées par l'écoulement du fluide dans la conduite contre ses parois, ainsi que l'atténuation de modes acoustiques se propageant dans la conduite ;
- deux coudes contenant des ailettes, placés en amont de la zone d'étude.

A l'extérieur de la conduite, différents éléments ont un rôle mécanique. Le support dit « en treillis » permet une répartition du poids de la conduite sur le sol du local. Trois berceaux placés sous la partie basse de la conduite ont également cette fonction. Un matériau élastomère est placé entre le support et le sol afin de limiter la propagation des vibrations. La présence de raidisseurs a été privilégiée sur les parties de la conduite de section carrée, qui sont soumises à des contraintes mécaniques plus importantes que les sections de forme arrondie. Ceci concerne notamment la zone de conditionnement de l'écoulement, soit le convergent et le caisson contenant le nid d'abeilles. L'ensemble châssis-moteur est placé sur des plots dans le but de découpler ses vibrations du sol.

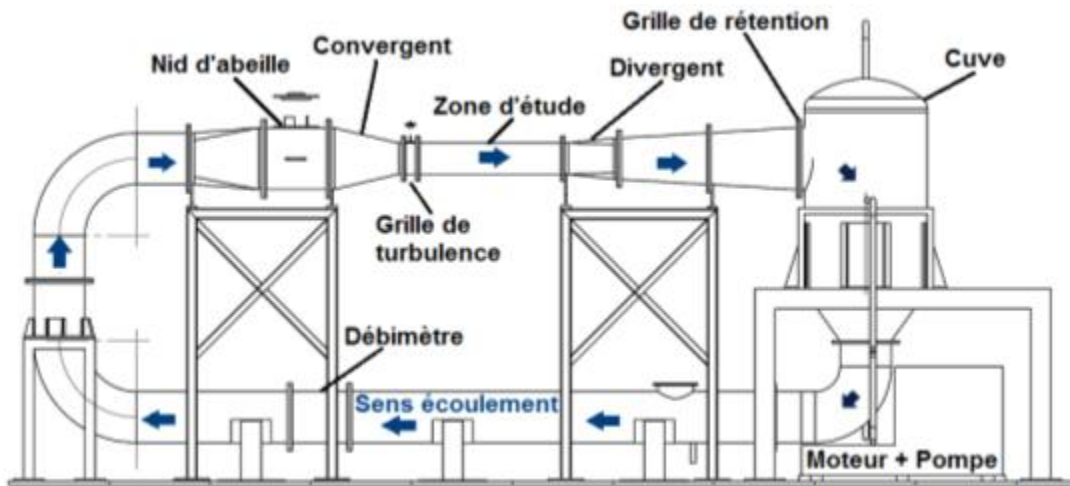


Figure 1. Schéma de la veine hydrodynamique

A titre de comparaison, le schéma du GTH est visible sur la Figure 2. A la différence de la veine, il est constitué d'un générateur de microbulles ainsi que d'un séparateur de bulles. Ceci permet des études particulières de cavitation, phénomène acoustique complexe induit par la présence d'air dans l'eau. Par ailleurs, les bulles d'air qui se propagent sont sources de bruit et modifient la propagation du son dans l'eau. Le séparateur de bulles permet la réduction de la quantité de bulles présentes dans le circuit. La teneur en air dans le circuit est de 7mg/L d'eau.

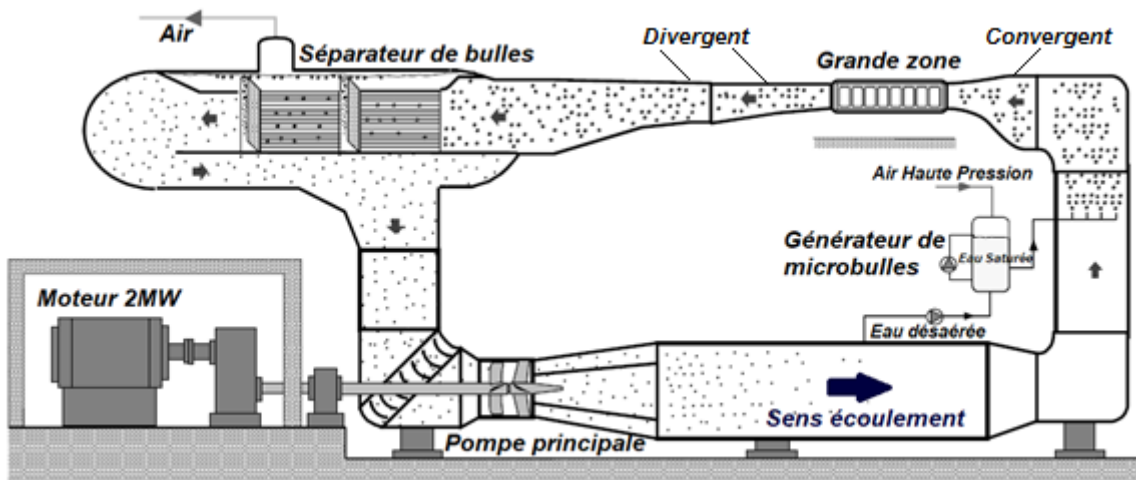


Figure 2. Schéma du GTH, d'après [3]



Figure 3. Vue de la veine hydrodynamique

Une vue du GTH est fournie à la Figure 4. Le GTH comporte deux zones d'étude, utilisées pour différentes applications en termes de vitesse d'écoulement et types d'objets immergés. Lors de la conception de ce moyen d'essais, un soin particulier a été apporté à la maîtrise du bruit de fond de l'installation.

Le bruit d'écoulement dans le circuit d'abord, a été réduit grâce à

- une différence de 0,3 mm au maximum entre les surfaces internes des zones d'essais, des convergents et des diffuseurs [1] ;
- la présence d'ailettes dans les coudes et de nid d'abeille en amont des zones d'étude pour maintenir l'écoulement laminaire et ainsi éviter la vibration des parois par des turbulences dans la conduite ;
- la conception sur mesure d'une pompe aussi silencieuse que possible et ne générant pas de cavitation dans la conduite.

La propagation des bruits et vibrations externes, ensuite, est réduite par les moyens suivants :

- la conduite est raidie sur presque toute sa longueur, ce qui n'est pas le cas de la veine du LUSAC ;
- dimensions particulières des éléments du circuit ainsi qu'une vitesse d'écoulement qui n'excède pas 2m/s dans les éléments verticaux du circuit ;
- la structure entière du tunnel est découplée du bâtiment au moyen de plots d'isolation vibratoire ;
- la tuyauterie et les pompes auxiliaires ont été structurellement isolées du tunnel.

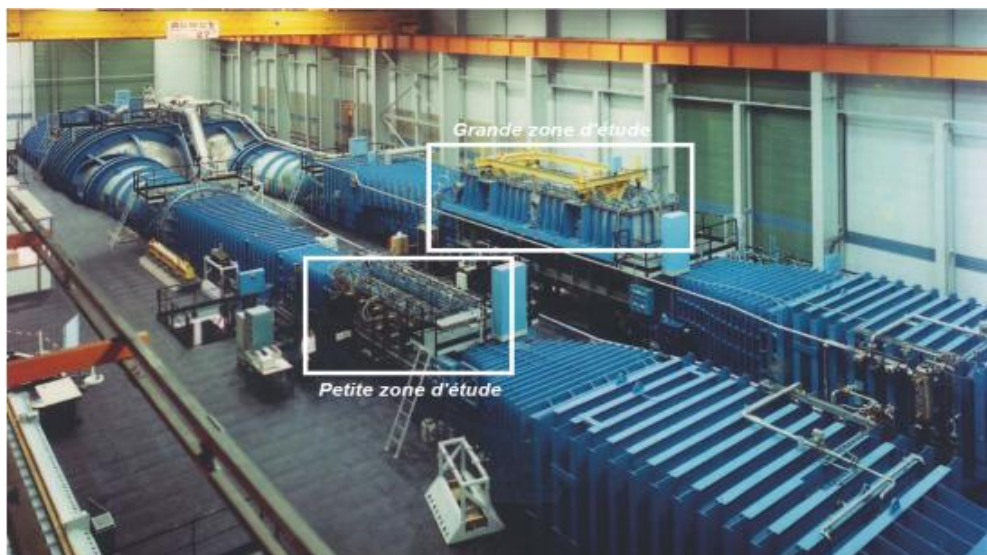


Figure 4. Vue du GTH, d'après [3]

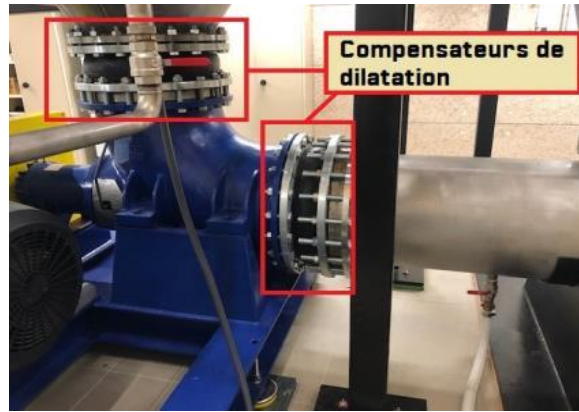


Figure 5. Compensateurs de dilatation en amont et en aval du moteur et de la pompe de la veine

Les données techniques (dimensions, vitesses d'écoulement et pressions hydrostatiques atteintes, etc.) sont décrites et comparées dans le Tableau 1 pour la veine hydrodynamique et le GTH.

	Veine hydrodynamique (LUSAC)	Grand Tunnel Hydrodynamique (DGA)
Nombre de zone d'étude	1	2 : une petite et une grande
Dimensions de la zone d'étude : longueur x largeur x hauteur (mm)	1420x300x300	Petite zone d'étude : 6000x1140x1140 Grande zone d'étude : 10000x2000x1350
Vitesses d'écoulement dans la zone d'étude (m/s)	[5-10]	Petite zone d'étude : [0-20] Grande zone d'étude : [0-12]
Pression hydrostatique dans la zone d'étude (bars)	[50m-3]	Petite zone d'étude : [50m-5] Grande zone d'étude : [50m-2]
Puissance de la pompe (W)	90k	2M

Tableau 1. Comparaison des paramètres de la veine et du grand tunnel hydrodynamiques

Les maquettes testées dans les deux moyens d'essais ont des dimensions complètement différentes et les conditions de test sont également difficilement comparables au vue des données du Tableau 1. La description du GTH permet d'avoir une idée sur comment atteindre une performance de qualité de bruit de fond sur une conduite en écoulement.

Ainsi, le niveau de bruit de fond du GTH est très faible car la réduction du bruit a été prise en compte au stade de la conception de l'installation. L'objectif final de la présente étude est de connaître le niveau de bruit de fond de la veine hydrodynamique du LUSAC. La première étape est la mise en place d'un modèle numérique de comportement dynamique de ce moyen d'essai au repos (sans écoulement).

3. Modèle numérique de la veine pour caractérisation dynamique

Le modèle éléments finis comprend tous les éléments externes décrits au paragraphe précédent, à savoir la conduite (sans nids d'abeille ni grilles) et donc la zone d'étude et les raidisseurs, le support (« treillis » et berceaux), le moteur, la pompe et leur châssis, les éléments dits de découplage (élastomères, compresseurs de dilatation, plots). Le modèle considère la conduite remplie d'eau. Un modèle de la veine hydrodynamique dans laquelle le fluide est de l'air est préalablement développé sur la gamme [1-200] Hz dans le but :

- D'aider à développer le modèle en eau ;
- D'étudier l'influence des hypothèses sur les conditions aux limites.

Le modèle est défini dans le repère de coordonnées (x, y, z) avec l'axe x la direction transverse à la conduite de la veine, l'axe y la direction verticale et l'axe z la direction de la conduite de la veine (pour les parties horizontales). Les maillages de la structure et du fluide sont décrits dans la section suivante. Les hypothèses ainsi que les données du modèle numérique sont également détaillées. Tous les calculs sont menés avec le logiciel Permas v16.

3.1 Maillage, Hypothèses et Données du modèle

Le maillage de la structure est composé de 253 427 nœuds et de 250 923 éléments. Ces éléments sont :

- de type coque pour la conduite,
- rigides pour les encastrement des supports et berceaux au sol,
- des ressorts pour les compensateurs de dilatation et les plots du châssis,
- des masses pour le système moteur-pompe sur son châssis.

La modélisation de la conduite est donc réalisée en éléments coque avec sa surface interne pour fibre neutre. Le maillage est dimensionné pour une fréquence maximale de 5000 Hz. Ainsi, la taille d'un élément du modèle est de 20mm. Cette finesse de maillage permet d'obtenir un nombre suffisant d'éléments sur la longueur d'onde la plus courte, c'est-à-dire la longueur d'onde à 5000 Hz. Un aperçu du maillage ainsi obtenu au niveau de la zone d'étude est visible sur la Figure 6.

Le maillage par un ressort des compensateurs de dilatation est représenté sur la Figure 7. Les raideurs statiques et dynamiques de ces compensateurs ne sont pas connues. Une extrapolation des raideurs expérimentales obtenues sur des compensateurs de dimensions inférieures est choisie.

L'ensemble moteur-pompe sur châssis est modélisé à son centre de masse par des éléments qui prennent en compte la matrice d'inertie caractéristique de chaque élément qui le compose. Ces matrices d'inertie sont obtenues grâce à un modèle équivalent de mêmes dimensions et de masse égale.

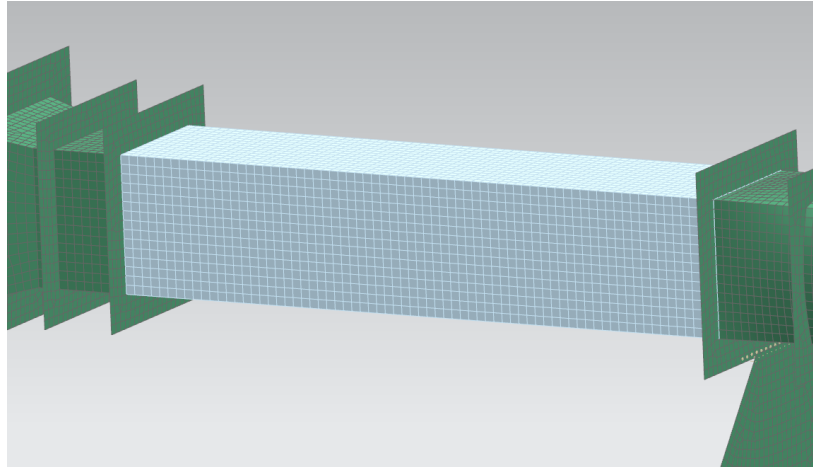


Figure 6. Maillage de la zone d'étude de la veine hydrodynamique

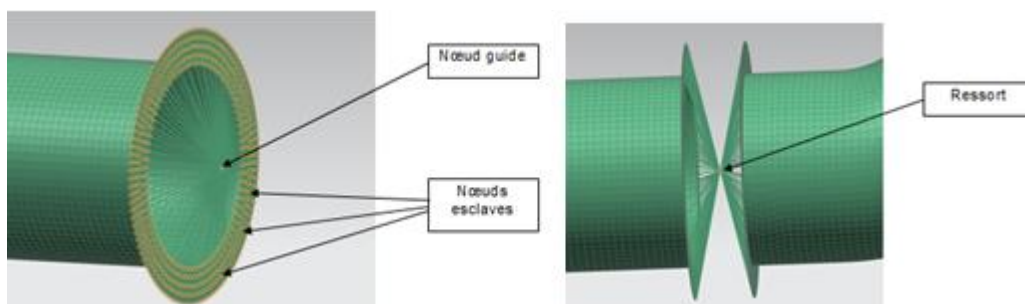


Figure 7. Maillage des compensateurs de dilatation

Les liaisons entre l'ensemble moteur-pompe et châssis sont rigides, ainsi qu'entre le châssis et la conduite, et le châssis et les plots.

Les liaisons entre les surfaces des berceaux et la conduite sont des éléments surfaciques afin de modéliser un contact entre les deux ensembles (cf. Figure 8).

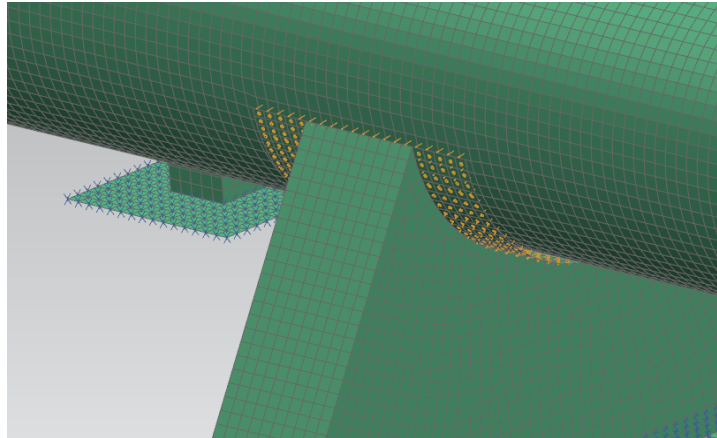


Figure 8. Maillage du contact entre la conduite et un berceau

Tous les éléments en contact avec le sol (supports en treillis et plots) sont encastres, excepté les nœuds des berceaux, qui sont en appui plan par rapport au sol. En effet, un matériau élastique est placé entre les berceaux et le sol, c'est pourquoi le choix de ce type de liaison est fait.

Le matériau constitutif de la conduite est un acier inoxydable de type 304L. Celui des supports est un acier standard. L'amortissement est de type structural. Sa valeur est de 2% sur toute la plage de fréquence étudiée pour tous les matériaux. Ce paramètre est à recalculer si nécessaire lors de futurs essais.

Le maillage du domaine fluide est composé de 2 080 376 nœuds et de 1 407 231 éléments. Des éléments d'interface permettent d'assurer les échanges énergétiques entre les domaines fluide et structure. Le maillage des éléments d'interface est compatible avec le maillage de la structure. Des éléments surfaciques en pression permettent d'assurer la continuité du fluide à l'emplacement des compensateurs de dilatation.

Concernant le fluide, les hypothèses des conditions aux limites sont nulles, celui-ci est totalement confiné. Les données utilisées pour l'établissement du modèle numérique sont synthétisées dans le Tableau 2.

Elément du modèle	Données	Valeurs
Moteur-Pompe	Masse (kg)	630
	Matrice d'inertie (kg/m ²)	212.67 0 0
		0 212.67 0
0 0 44.3		
Châssis	Masse (kg)	860
	Matrice d'inertie (kg/m ²)	364.92 0 0
		27.95 416.76 0
-31.94 -7.52 758.74		
Plots	Raideur statique (N/m)	Selon x : 3,924.10 ⁶
		Selon y : 7,848.10 ⁶
		Selon z : 3,924.10 ⁶
Compensateur de dilatation horizontal	Raideur statique (N/m)	Selon x : 2.10 ⁶
		Selon y : 4,8.10 ⁶
		Selon z : 2.10 ⁶
Compensateur de dilatation vertical	Raideur statique (N/m)	Selon x : 2.10 ⁶
		Selon y : 2.10 ⁶
		Selon z : 4,8.10 ⁶

Conduite	Module d'Young (Pa)	210G
	Coefficient de Poisson (-)	0.3
	Masse volumique (kg/m ³)	7900
Support	Module d'Young (Pa)	210G
	Coefficient de Poisson (-)	0.3
	Masse volumique (kg/m ³)	7850
Zone d'étude	Module d'Young (Pa)	3.1G
	Coefficient de Poisson (-)	0.4
	Masse volumique (kg/m ³)	1180
Fluide (eau)	Inverse de la compressibilité (Pa)	4,34.10 ⁻¹⁰
	Masse volumique (kg/m ³)	1024

Tableau 2. Données du modèle numérique

3.2 Analyse modale

Le calcul des modes est réalisé à l'aide d'une méthode d'itérations sur le sous-espace de type SUBSPACE. L'objectif est d'obtenir les modes propres vibratoires et acoustiques de la veine hydrodynamique, ainsi que les éventuels modes couplés fluide-structure. La fréquence propre et la déformée modale des premiers modes nous intéressent particulièrement.

3.3 Réponse dynamique

Le calcul de la réponse dynamique de la veine hydrodynamique est réalisé sur la plage de fréquences [1-5000] Hz selon 2 méthodes :

- sur la gamme [1-200] Hz, la réponse dynamique est calculée sur base modale ;
- sur la gamme [200-5000] Hz, la réponse dynamique est obtenue par intégration directe.

Le chargement est de 1N à chaque point d'impact, ces points sont schématisés sur la Figure 9.

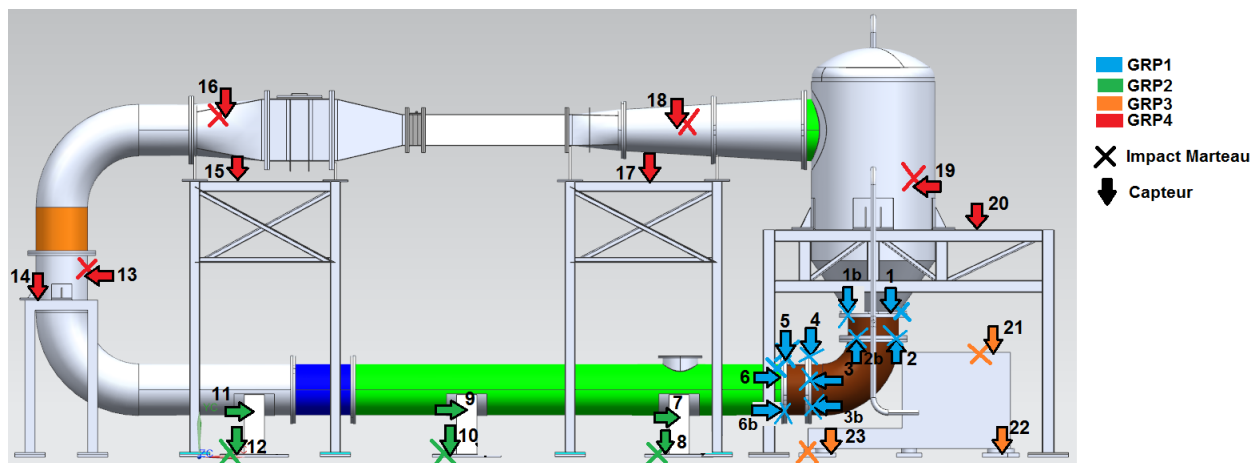


Figure 9. Position des cas de chargement sur la veine hydrodynamique

Sur cette Figure 9 sont représentés quatre groupes de points, décrits ci-dessous.

- Le groupe 1 correspond aux points proches des compensateurs de dilatation. Ainsi l'effort est injecté en amont et la réponse est observée en amont et en aval. Ces données permettent de remonter à la raideur des compensateurs, qui sera vérifiée expérimentalement.
- Le groupe 2 correspond aux points situés au niveau des supports de la veine. Les réponses obtenues avec le modèle numérique seront comparées aux mesures expérimentales pour valider ou non l'hypothèse de conditions aux limites des supports.

- Le groupe 3 correspond aux points situés sur le moteur et son châssis. Les raideurs des plots seront comparées à celles obtenues expérimentalement pour recalage éventuel du modèle numérique.
- Le groupe 4 correspond aux points situés à la liaison de la veine et des treillis. De la même manière, les réponses obtenues par calcul seront comparées aux réponses expérimentales pour éventuel recalage du modèle numérique et des hypothèses faites.

Pour chaque groupe, la croix indique l'endroit où l'effort est injecté et les flèches, les réponses vibratoires observées, selon la direction indiquée par la flèche.

4. Résultats et Discussion

4.1 Analyse modale

Le temps de calcul de 10 modes propres de la veine hydrodynamique en eau est de 5 minutes.

La densité modale de la veine hydrodynamique augmente de manière logarithmique en fonction de la fréquence.

Le premier mode propre de la veine est un mode local de respiration (ou d'ovalisation), à 0.27 Hz. Sa déformée modale est représentée sur la Figure 10 et le maximum d'amplitude est observé sur la partie raidie dans laquelle se trouve le nid d'abeille. Les dix premiers modes sont des modes de la structure et leurs fréquences propres sont détaillées dans le Tableau 3. Les déformées modales sont visibles sur la Figure 11.

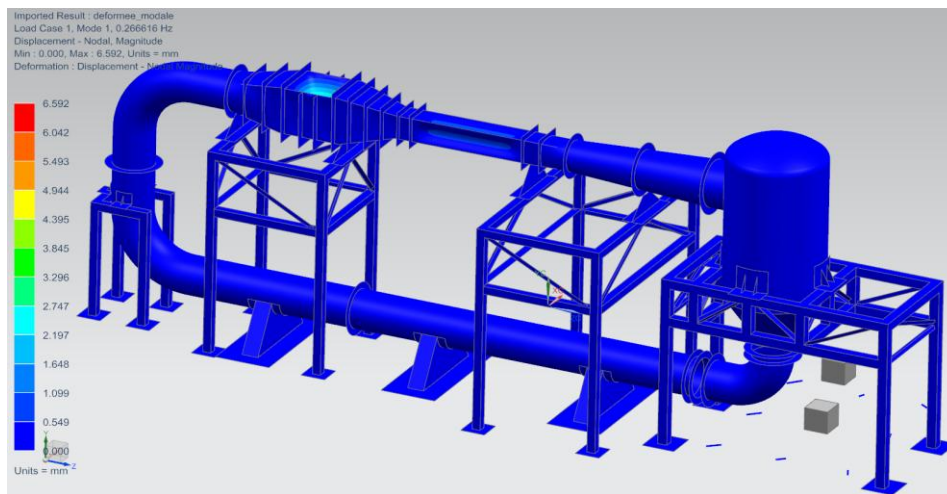


Figure 10. Déformée modale du premier mode propre calculé pour la veine hydrodynamique. La légende représente les déplacements en mm.

Numéro du mode	Fréquence (Hz)	Description
1	0.27	Respiration de la conduite au niveau du nid d'abeille
2	1.42	Flexion de la partie basse de la conduite sur ses 3 berceaux
3	1.90	Torsion du support au niveau de la cuve
4	2.04	Respiration de la conduite au niveau de la zone d'étude (1 maxima) et du nid d'abeille
5	3.86	Flexion de la partie haute de la conduite et des supports
6	4.28	Flexion et respiration de la partie basse de la conduite sur ses 3 berceaux
7	4.73	Respiration de la conduite au niveau de la zone d'étude (2 maximas) et du nid d'abeille
8	5.13	Flexion et respiration de la partie basse de la conduite sur 2 de ses berceaux
9	5.64	Respiration de la conduite au niveau de la zone d'étude (2 maximas) et du

		nid d'abeille
10	5.88	Flexion du support au niveau de la cuve et respiration de la conduite à différents endroits

Tableau 3. 10 premiers modes propres d'ensemble de la veine hydrodynamique (cf. Figure 11)

L'influence des hypothèses sur les conditions aux limites est visible sur ces premiers modes de vibration, par exemple sur les modes 6 et 8 (cf. Figure 11 et Tableau 3). Cette hypothèse sera vérifiée par une analyse modale expérimentale sur la veine hydrodynamique.

Il est connu que dans les conduites remplies d'eau, les modes pouvant perturber la mesure dans la conduite sont des modes de traction/compression **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** A ce jour les données n'ont pas été post-traitées suffisamment haut en fréquence pour observer ces modes.

D'une manière générale, le modèle numérique de la veine hydrodynamique sera vérifié par comparaison des résultats de l'analyse modale expérimentale et de l'analyse modale numérique.

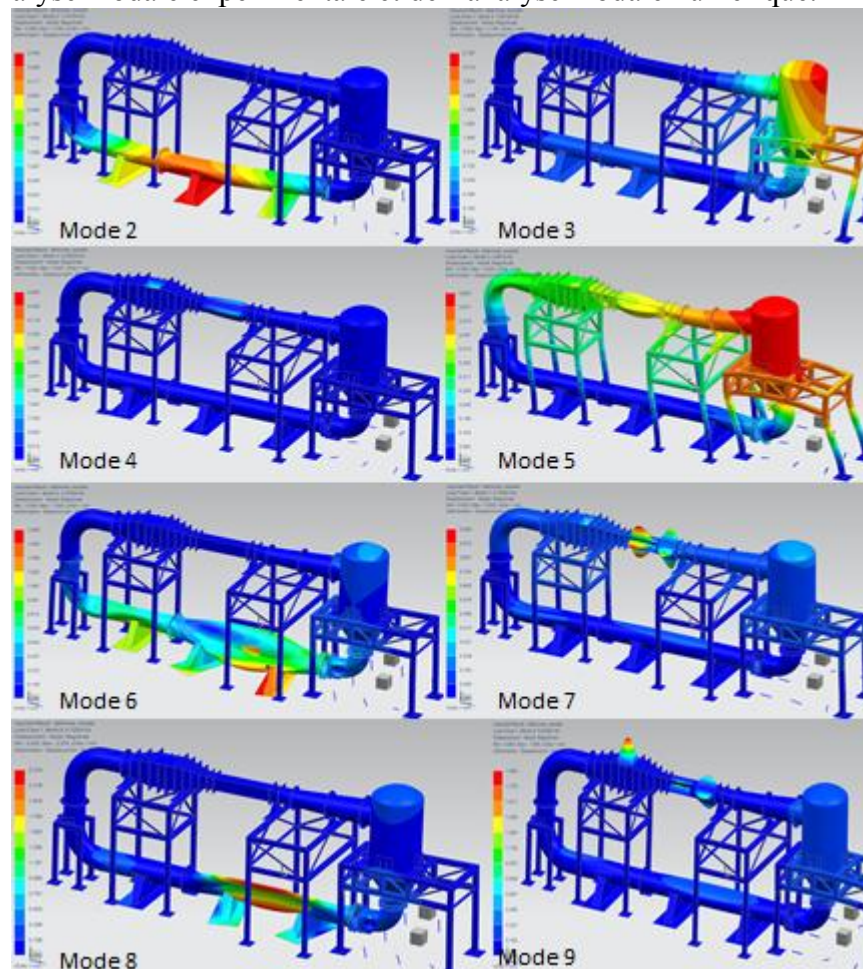


Figure 11. Déformées modales des modes 2 à 9 de la veine hydrodynamique

4.2 Réponse dynamique

Le temps de calcul de la réponse dynamique sur base modale de la veine hydrodynamique, pour la gamme de fréquence [1-200] Hz est de 6 heures. Le temps de calcul de la réponse dynamique par intégration directe (donc pour [200-5000] Hz) est de une heure par point. Le nombre de points dans chaque gamme de fréquence ainsi que le temps de calcul associé, sont décrits dans le Tableau 4, le nombre de cas de chargement étant de 15.

Plage de fréquence (Hz)	[1000-2000]	[2000-3000]	[3000-4000]	[4000-5000]
Nombre de points de calcul sur la plage	20	10	5	5
Temps de calcul associé (heures)	300	150	75	75

Tableau 4. Détails sur le temps de calcul de la réponse dynamique par intégration directe

5. Conclusion et Perspectives

Le LUSAC a conçu et construit une veine hydrodynamique dans laquelle pourraient être immergées des maquettes pour étudier leur vibration induite par un écoulement, voire le bruit généré en aval de l'objet. Afin de savoir si ce type d'expérimentation est possible avec ce moyen d'essai, il est nécessaire de le caractériser dynamiquement. Pour ce faire, la première étape de l'étude consiste à développer un modèle mécanique couplé fluide-structure avec les éléments finis. Les calculs réalisés avec le modèle permettent la connaissance des modes propres de la structure et de la conduite, ainsi que sa réponse dynamique à un chargement unitaire. Les hypothèses utilisées pour le développement du modèle ont une influence forte sur les résultats de calcul et seront vérifiées dans le cadre d'essais expérimentaux.

La veine hydrodynamique du LUSAC est également écrite comparativement au moyen d'essai du Grand Tunnel Hydrodynamique. Il est certain que de par la différence de taille et les écarts de conception des deux moyens, il ne sera pas possible de réaliser les mêmes essais dans la veine, qu'au GTH, mais quant aux écarts en termes de résultats de mesures en vibrations voire acoustique, il n'est pas encore possible de conclure.

Remerciements

Le dispositif expérimental du LUSAC a vu le jour dans le cadre du CPER 2015-2020, MANCHE 2021 - Mer-Littoral « Plateformes d'exploitation de ressources marines ». Les auteurs remercient la Région Normandie, l'Union Européenne, le Conseil départemental de la Manche et la Communauté d'Agglomération du Cotentin.

Références

- [1] Y. Lecoffre, P. Chantrel and J. Teiller, "Le grand tunnel hydrodynamique (GTH)," *La Houille Blanche*, vol. 7/8, 1988.
- [2] R. Boucheron, S. Amailland, J.-H. Thomas, C. Pézerat, D. Frechou and L. Briançon-Marjollet, "Experimental modal decomposition of acoustic field in cavitation tunnel with square duct section," in *Meetings on Acoustics 2017 Proceeding, Boston, USA*, 2017.
- [3] D. Frechou, C. Dugue, L. B.-M., P. Fournier, M. Darrquier, L. Descotte and L. Merle, "Marine propulsor noise investigation in the hydroacoustic water tunnel "GTH"," in *Twenty-Third Symposium on Naval Hydrodynamics Office of Naval Research Bassin d'Essais des Carènes National Research Council*, 2001.
- [4] G. Bessard, "Caractérisation de matériaux de découplage à l'aide d'un tube à ondes progressives", thèse de l'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 1995.
- [5] A. Santa Cruz, N.M. Shiek Elsouk, S. Guillou, F. Youssef, "Development of a hydrodynamic tunnel test facility for tidal turbines studies", *Seanergy 2019, Dunkerque*, 2019.