HAL
open science

Quonops©, la prévision opérationnelle en acoustique sous-marine sur grille de calcul

Serge Guelton, Dominique Clorennec, Etienne Pardo, Pierrick Brunet, Thomas Folegot

To cite this version:

Serge Guelton, Dominique Clorennec, Etienne Pardo, Pierrick Brunet, Thomas Folegot. Quonops©, la prévision opérationnelle en acoustique sous-marine sur grille de calcul. Journées SUCCES 2013, Nov 2013, Paris, France. hal-00927502

HAL Id: hal-00927502

https://hal.science/hal-00927502v1

Submitted on 13 Jan 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Quonops©, la prévision opérationnelle en acoustique sous-marine sur grille de calcul

Serge Guelton(1,2), Dominique Clorennec(1), , Étienne Pardo(1), Pierrick Brunet(1,2), and Thomas Folegot(1)

(1) prénom.nom@quiet-oceans.com, Quiet-Oceans, Plouzané, France

(2) prénom.nom@telecom-bretagne.eu, Télécom Bretagne, Département d'informatique, Brest, France

Overview:

Quonops© is a forecasting system for anthropological noise developed by Quiet-Oceans. It relies on the oceanic propagation model RAM(Range Acoustic Model theory) and Bellhop (Gaussian Ray Bundle theory). Starting from a given environmental situation which summarizes oceanographic and meteorological information, Quonops© computes the acoustic field induced by the given anthropological sources such as cargos, windmills or pilling ships, for the given are of interest. As a result, we get the accumulated acoustic pressure in a 3-D mesh for the whole area.

The computation may involves very large area, say the whole Exclusive Economic Zone (EEZ) of Ireland, and several hundreds of acoustic sources. Fields are generated offline for case studies, or inline for area monitoring. Offline studies require huge amount of computations that involve thousands of simulations due to the use of a Monte-Carlo model. Inline studies are less computational-intensive but require tight scheduling. In both cases, High Performance Computing (HPC) is the key to deliver comprehensive reports or real time monitoring.

Quonops© tackles these highly computational challenges using three layers of parallelism: distributed computing using Caparmor III, a cluster hosted at Ifremer, to handle multiple simultaneous simulations. Thanks to multi-threading, the time constraint for online simulations becomes achievable. The manual vectorization of the computation kernels yields additional speedups that benefit both situations.

Enjeux scientifiques, besoin en calcul, stockage et visualisation :

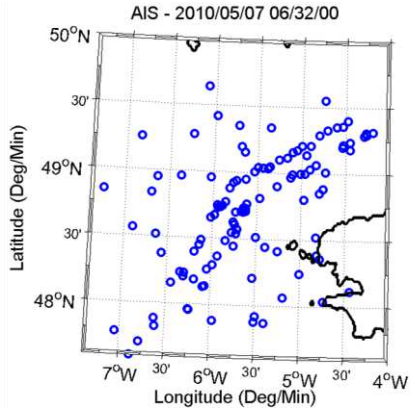
La communauté scientifique fait part de ses inquiétudes, depuis les années 1970, quant aux effets préjudiciables potentiels du bruit anthropique sur la vie marine et la recherche dans ce domaine s'est développée dans les années 1980 [Rich85]. Au cours des dix dernières années un certain nombre d'institutions scientifiques, d'agences gouvernementales et d'organes intergouvernementaux ont étudié ce domaine, en produisant des revues articles significatifs quant aux effets des sons sur les mammifères marins [Rich95], [Wür02], [Hil05], [NRC05] [Thom06] [Sou07]. Ces études documentent la présence d'effets physiologiques et de réactions comportementales aux divers signaux acoustiques sur les mammifères marins, les poissons et un certain nombre d'espèces d'invertébrés. Des discussions se sont ouvertes parmi les scientifiques, les parties prenantes et les décideurs politiques sur la manière de traiter les impacts potentiels des bruits sous-marins et ainsi développer des mesures de mitigation et de gestion significatives dans l'objectif de futures réglementations. L'inquiétude sur les effets préjudiciables potentiels du bruit anthropique sur la vie marine gagne aujourd'hui la société civile [IFAW08], l'industrie [IMO09][MEDDEM10] et les instances politiques [MMC07], [EC04] et on observe progressivement la mise en place d'une réglementation nationale et internationale à ce sujet. En Europe, à ce jour, elle se manifeste en premier lieu au sein de deux directives, la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) et la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (2008/56/CE).

Afin de contribuer à la gestion de cette problématique, Quiet-Oceans développe Quonops©, un système opérationnel de surveillance et de prédiction du bruit anthropique en mer. A l'instar des systèmes de prévision météorologique, cette plate-forme puissante et brevetée produit une estimation de la distribution spatio-temporelle des niveaux de bruit générés par l'ensemble des activités humaines en mer. Les activités maritimes couvertes sont nombreuses parmi lesquelles le trafic maritime, les opérations de prospection pétrolière, les exercices militaires de lutte sous-marine, la construction et les opérations *offshores* d'extraction des énergies fossiles, les forages et dynamitages sous-marins, etc.

La donnée inédite produite par Quonops© offre une connaissance nouvelle des pollutions sonores par l'intermédiaire d'une cartographie des distributions et permet d'appréhender les volets acoustiques des études d'incidences, et les optimisations de planification des activités industrielles maritimes dans leur conformité environnementale. [Fol10] et [Fol12] permettent de mieux comprendre l'algorithme de simulation utilisé. L'illustration 1 représente une partie des données d'entrée de Quonops© : position des sources de bruit anthropologiques, extraites des *Automatic Identification System* (AIS). L'illustration 2 représente une vue de la matrice de bruit calculée par Quonops©, obtenue en projetant le maximum de la colonne d'eau pour chaque point en latitude / longitude. La production de telles cartes est très gourmande en calcul : pour chaque source, on simule sa contribution au champ acoustique pour 36 azimuts et 11 fréquences, pour 5 niveaux de marée et 4 saisons possibles. Cela représente 7920 simulations acoustiques pour une unique source dans un scénario donné, sachant qu'une simulation acoustique peut durer de quelques secondes à plusieurs heures et qu'un scénario peut contenir plusieurs centaines de sources et qu'une étude complète peut comporter plusieurs milliers de scénarios. Par conséquent, la puissance de calcul nécessaire pour une étude complète peut représenter plusieurs milliers d'heures de calcul sur une machine moderne. La quantité de données générées par de tels traitements est de l'ordre de 500GO de champs acoustiques qui sont ensuite combinés et traités de manière statistique

pour obtenir une interprétation utile au client.

Un autre cas d'utilisation de Quonops© est la production en flux continu de cartes sur des zones plus restreintes, pour une fréquence donnée et une situation environnementale donnée. Il faut alors produire des cartes similaires à celles de l'illustration 2 avec une latence faible, de l'ordre de la minute. Les besoins en stockage dépendent fortement de la durée pendant laquelle les cartes produites veulent être conservées.



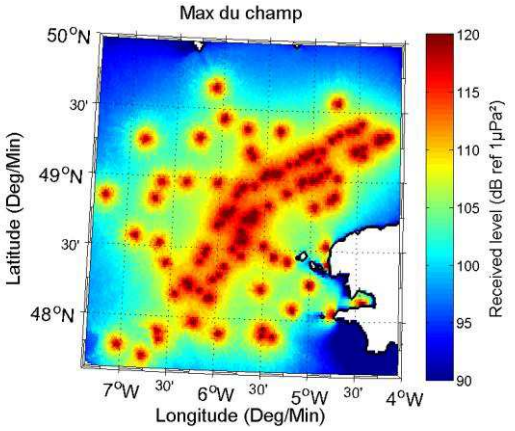


Illustration 1: Sources sonores à un instant donné autour de Ouessant (France). Le 07.5.2010 à 06:32UTC.

Illustration 2: Champ acoustique modélisé par Quonops autour de Ouessant (France) à l'instant de l'illustration 1.

Développements, utilisation des infrastructures :

Le logiciel Quonops© est construit comme un assemblage de plusieurs codes de simulations disponibles dans la littérature, notamment Ramsurf [Por87] et Bellhop [Col93]. Cet assemblage est construit de façon à faire correspondre les différents niveaux de parallélisme présents dans l'algorithme utilisé et les différents niveaux de parallélisme exhibés par le matériel. On trouve principalement :

- ✓ Du parallélisme de type cluster entre plusieurs machines, avec une mémoire distribuée ;
- ✓ Du parallélisme de type multicore sur une machine, en mémoire partagée ;
- ✓ Du parallélisme de type vector instruction sur un processeur disposant d'un jeu d'instructions vectorielles.

L'approche utilisée dans Quonops© est d'utiliser une parallélisation hybride combinant MPI [MPI98] et OpenMP [OMP13] et de réimplanter les codes de simulations existants en utilisant le jeu d'instructions vectorielles AVX. On attaque ainsi l'aspect *cluster* à travers MPI, le *multicore* avec OpenMP et l'unité vectorielle avec AVX. Cette approche est fondée sur le principe de localité qui vise à limiter les transferts de données pour ne pas être bloqué par les communications.

Prenons l'exemple du calcul du champ acoustique produit par 100 navires pour une situation environnementale donnée. Grâce au caractère additif du son, ce champ peut être obtenu en cumulant les champs acoustiques produits indépendamment par chaque navire. Cependant, il serait naïf d'ordonnancer statiquement les 100 navires entre les différentes machines du parc car deux sources peuvent prendre des temps de simulations très différents suivant leur position. Quonops© effectue un partitionnement dynamique de l'espace de travail en fonction de l'avancement des simulations pour obtenir un bon équilibrage de charge. La contribution de chaque source est calculée localement et cumulée à un champ local qui n'est fusionné avec les autres contributions qu'en fin de calcul, en utilisant un algorithme de réduction classique. Ainsi chaque machine peut calculer indépendamment des autres, sans générer d'autres communications que le transfert final de sa contribution au champ acoustique total.

Outils, le cas échéant complémentarité des ressources, difficultés rencontrées :

Les besoins en calcul de Quonops© sont satisfaits par l'utilisation de Caparmor III, *cluster* du pôle de calcul intensif pour la mer hébergé au site de Brest de l'Ifremer. Ce cluster comporte 294 nœuds de calcul à base de bi-processeurs «Intel Xeon X5560 quad core 2.8 GHz» et de bi-processeurs «Intel Xeon X5677 quad core 3.46 GHz». La machine comporte 2352 cœurs de calcul pour une puissance théorique de 27 Tflops. Le Système d'exploitation est Linux de SuSE (Novel Linux Enterprise Server 11 SP1). L'espace disque dédié aux calculs est un serveur Lustre de 180 To. Le *batch scheduler* fourni est PBS Pro.

La gestion des soumissions impose plusieurs contraintes aux utilisateurs :

- ✓ seuls 256 cœurs de calculs peuvent être utilisés simultanément ;
- ✓ les délais d'attente avant le début d'un calcul peuvent dépasser la journée si le cluster est fortement chargé ;
- ✓ un calcul utilisant les 256 cœurs simultanément ne peut durer plus d'un jour.

Ces contraintes limitent fortement l'usage de Quonops© car certains jeux de simulations peuvent durer plus d'une semaine sur 256 coeurs, ce qui est incompatible avec les contraintes de temps imposées. Pour palier à ces difficultés,

Quonops© utilise un méchanisme de *checkpoint / restart* qui consiste en la sauvegarde sur disque de chaque champ acoustique partiel produit et la capacité à reprendre une simulation à partir des champs partiels. Ainsi si un calcul est interrompu par le *batch scheduler,* il est possible de reprendre celui ci à partir du dernier état cohérent.

Une autre contrainte liée à l'externalisation des ressources de calcul est le coût prohibitif de rapatriement des données. La société Quiet-Oceans ne dispose pas d'une liaison privilégiée à Caparmor III et il est de ce fait impensable de rapatrier toutes les données produites sur site pour un post traitement éventuel. Tous les outils de la chaîne de traitement de Quonops© sont donc conçus pour fonctionner dans l'environnement imposé par Caparmor III.

Concernant la production en flux continu de champs acoustiques, il est impossible de reposer sur Caparmor III en raison des délais d'attente liés à la forte utilisation du *cluster*. Comme la charge nécessaire est moins importante, Quiet-Oceans a investit dans une petite *desktop grid* qui permet d'obtenir à coût raisonnable la puissance de calcul nécessaire tout en garantissant une bonne réactivité.

Résultats scientifiques :

Parallèlement aux travaux autour de Quonops©, Quiet-Oceans mène des campagnes de mesure *in situ* afin de calibrer et valider les champs acoustiques produits. En effet, les mesures in-situ environnementales et acoustiques donnent une vérité terrain dont la validité est ponctuelle. Il est en effet courant d'observer à un même instant, des niveaux sonores différents de 10 dB à deux profondeurs différentes espacées de 10 m. Une expérience a été menée au large d'Ouessant en collaboration avec le SHOM et l'ENSTA Bretagne. La mesure acoustique réalisée dans le tiers d'octave centré sur la fréquence de 120 Hz à l'aide d'un hydrophone placé à 55m de profondeur au Sud du Rail (courbe bleue, figure du haut) a permis de vérifier la très bonne conformité des estimations de Quonops© en ce point pendant 18 heures (courbe rouge, figure du haut). Ainsi, le champ estimé par Quonops©, à partir des données environnementales et des activités humaines, sur l'ensemble de la zone (figure en bas à gauche) est représentatif de la réalité terrain et permet de caractériser l'état sonore statistique pour l'ensemble de la zone (courbe en bas à droite).

Ce résultat est particulièrement intéressant pour la communauté scientifique, puisqu'il valide une approche basée sur les modèles couplés à quelques mesures en mer pour la calibration, alors que la pratique courante consiste à utiliser des campagnes de mesures qui sont plus coûteuses et dont la couverture spatiale est très limitée. De plus, cette approche est moins sujette aux aléas d'un déploiement en mer. Les perspectives offertes par la simulation *a priori* de l'impact sonore de travaux, par exemple lors de la construction d'un pont, sont capitales pour pouvoir anticiper et modifier le cas échéant la planification des travaux.

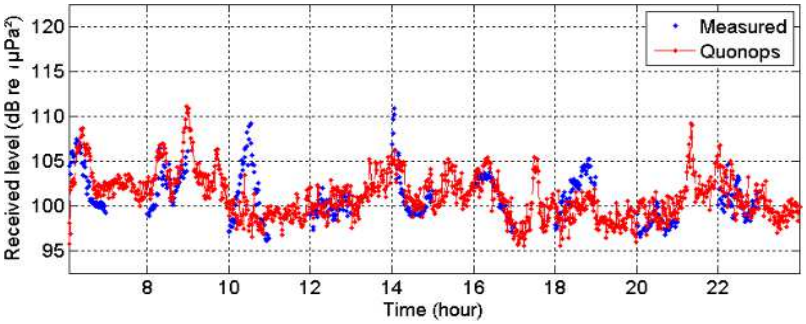


Illustration 3: Comparaison entre la puissance acoustique mesurée in situ et simulée par Quonops pour la zone de Ouessant

Perspectives :

Vu le caractère industriel et opérationnel du projet, les techniques de parallélisation choisies favorisent la stabilité des technologies et la maintenabilité de la base de code. À ce titre, le découpage de l'application en plusieurs niveaux de parallélisme apporte de bonnes propriétés. Cependant, ce découpage peut également gêner l'équilibrage de charge. Il est par exemple pour le moment impossible de calculer une partie des contributions d'une source sur une machine et l'autre partie sur une autre machine. Ce manque de malléabilité n'est pas pénalisant pour de grosses simulations, mais peut le devenir pour de petites simulations comme celles que l'on rencontre lors de la production en flux continu. Casser les barrières entre les différents niveaux de parallélisme devrait permettre de lever cette contrainte.

Fin de répondre aux impératifs réglementaires issus de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin [CE10] qui requiert un suivi de l'évolution des niveaux de bruits sous-marins dans l'ensemble des eaux de la communauté européenne. Le suivi de l'indicateur de bruit sous-marin est considéré comme un des indicateurs de bon état écologique des eaux communautaires. Les recommandations en terme de programme de d'implémentation du suivi de cet indicateur implique la mise en œuvre d'un service opérationnel permettant à la fois de fournir la connaissance de la distribution du bruit à chaque instant, mais aussi de pouvoir fournir des statistiques à l'échelle de la journée, de la semaine, du mois et de l'année. Aussi, la prévision de champs acoustiques en flux continu est l'étape la plus ambitieuse de ce point de vue : à terme, Quonops© devra être capable de fournir ce service opérationnel, et donc de générer en flux tendu des champs acoustiques pour plusieurs zones géographiques de plus en plus vastes et comportant de plus en plus

de sources de bruit. Cela pose de nombreux défis en termes d'infrastructure de calcul, et aucune des solutions retenue jusqu'à présent n'est satisfaisante pour un projet de cette envergure : Caparmor III est limité par son manque de disponibilité et par la latence entre soumission et exécution d'un calcul ; le parc local de Quiet-Oceans ne dispose pas à ce jour d'une puissance de calcul suffisante. Ce posera donc la question de l'externalisation des moyens de calculs vers une solution de type *cloud computing*, qui impose des contraintes de coût et de logiciel légèrement différentes que celles que nous avons été amenés à résoudre pour le moment.

Références :

[Por87] Porter, Michael B. and Bucker, Homer P. «Gaussian beam tracing for computing ocean acoustic fields.» *Journal of the Acoustical Society of America, Volume 82, Issue 4, pp.1349-1359 (1987).*

[Col93] Collins, Mike. «A Split-Step Padé Solution for the Parabolic Equation Method.» *Journal of the Acoustical Society of America, Volume 93, Issue 4, pp. 1736-1742 (1993).*

[Rich95] Richardson, W.J., C.I. Malme, C.R. Green, et D.H. Thomson. Marine Mammals and Noise. San Diego, CA: Academic Press, 1995.

[Wür02] Würsig, B., et W.J. Richardson. «Effects of Noise.» Dans The Encyclopedia of Marine Mammals, de W.F. Perrin, B. Würsig, & J.G.M. Thewissen, 794-802. New-York: Academic Press, 2002.

[Rich85] Richardson, W.J., M.A. Fraker, B. Wuersig, et R.S. Wells. «Behaviour of bowhead whales, Balaena mysticetus summering in the Beaufort sea: Reactions to industrial activities.» Biological Conservation, 1985: 32: 195-230.

[Hil05] Hildebrand, J. A. «Impacts of anthropogenic sound.» Dans Marine mammal research: conservation beyond crisis, de J.E. et al. Reynolds, 101-124. Baltimore, Maryland: The Johns Hopkins University Press, 2005

[NRC05] National Research Council. Marine Mammal Populations and Ocean Noise: Determining When Noise Causes Biologically Significant Effects. Washington DC: The National Academies Press, 2005.

[Thom06] Thomsen, F., K. Lüdemann, R. Kafemann, et W. Piper. Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish. Newbury, U.K.: COWRIE Ltd, 2006.

[Sou07] uthall, B.L., et al. «Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations.» Aquatic Mammals, 2007: 33: 411-521.

[IFAW08] International Fund for Animal Welfare. Ocean Noise: turn it down, a report on ocean noise pollution. Yarmouth Port, Massashusets, USA: IFAW International headquarters, 2008.

[IMO09] nternational Maritime Organisation. Noise from commercial shipping and its adverse effects on marine life. Report of the Correspondence Group, Marine Environment Protection Committee, 2009.

[MEDDEM10] Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer. Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens. Fiche technique n° 7, Paris, France, 2010.

[MMC07] Marine Mammal Commission. The Marine Mammal Protection Act of 1972 as ammended 2007. Silver Spring, MD, USA: NOAA's National Marine Fisheries Service, 2007.

[EC04] European Parlament. Resolution on the environmental effects of high-intensity active Naval sonar. Reference P6_TA(2004)0047, Brussels: European Parlament, 2004

[MPI98] Snir, Marc, Otto, Steve, Huss-Lederman, Steven, Walker, David and Dongarra, Jack, «MPI-The Complete Reference» *MIT Press, 2nd. Edition (1998).*

[Fol10] Folegot, Thomas «Ship traffic noise distribution in the Strait of Gibraltar: an exemplary case for monitoring global ocean noise.» *The Effect of Noise on Aquatic Life.* Cork, Ireland: Springer, 2010.

[Fol12] Folegot, T., Clorennec D., Stephan Y., and Gervaise C.. «Now-casting ambient noise in high anthropogenic pressure areas.» *European Conference on Underwater Acoustics.* Edinburgh, Scotland, 2012.

[OMP13] OpenMP Application Program Interface, *http://www.openmp.org/mp-documents/OpenMP4.0.0.pdf, (2013).*

[EC10] Commission Europeenne. «Decision relative aux critères et aux normes méthodologiques concernant le bon état écologique des eaux marines.» Journal officiel de l'Union européenne, 2010: 2010/477/UE.