

## Master's Thesis : Lightning Gravitational Wave Parameter Inference through Neural Amortization

**Auteur :** Delaunoy, Arnaud

**Promoteur(s) :** Louppe, Gilles

**Faculté :** Faculté des Sciences appliquées

**Diplôme :** Master : ingénieur civil en science des données, à finalité spécialisée

**Année académique :** 2019-2020

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/10554>

---

### Avertissement à l'attention des usagers :

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

---

# Lightning Gravitational Wave Parameter Inference through Neural Amortization

---

*Author:* Arnaud Delaunoy

*Advisor:* Gilles Louppe

Master of Science (MSc) in Data Science and Engineering  
Academic year 2019-2020

The main objective of my MSc thesis is to use simulation-based inference algorithms for the fast parameter estimation of cosmological events leading to measurable gravitational waves, such as binary black hole mergers. More specifically, the goal is framed as the inference problem of computing posterior marginal distributions over a subset of parameters of interest. From the Bayes' rule, posterior marginal distributions are expressed as

$$p(\boldsymbol{\vartheta}|\boldsymbol{x}) = \frac{p(\boldsymbol{x}|\boldsymbol{\vartheta})p(\boldsymbol{\vartheta})}{p(\boldsymbol{x})},$$

where  $\boldsymbol{x}$  is the observation and  $\boldsymbol{\vartheta}$  are the parameters of interest (e.g., the masses of the two binary black holes or the sky location of the source). Computing the posterior marginal distribution above is usually done through Markov Chain Monte-Carlo or Nested Sampling, both of which are notoriously slow (from days to weeks) for large parameter spaces. However, fast inference would be especially compelling in this case, as multi-messenger astronomy predicts that the observation of a gravitational wave due to compact binary pairs will be followed by other messenger signals such as electromagnetic radiation, neutrinos or cosmic rays. The joint observation of those signals requires the fast coordination of multiple instruments, in particular in order to point them towards the predicted sky location of the event. The fast and accurate estimation of the event coordinates is therefore critical since the time window to catch the messenger signals following a gravitational wave is limited.

In this context, this work aims to accelerate the computation of the posterior marginals. The approach is based on a simulation-based inference algorithm which consists in learning the likelihood-to-evidence ratio  $\frac{p(\boldsymbol{x}|\boldsymbol{\vartheta})}{p(\boldsymbol{x})}$  with a deep neural network. This enables the amortized and fast (few minutes) evaluation of the posterior.

We evaluate the performances on both gravitational wave generated by a simulator and on a gravitational wave emitted by real black holes. Experiments on simulated gravitational waves illustrate the ability to perform reliable inference. The experiments performed on the real gravitational wave show that the method can be applied to real gravitational events. The credible intervals produced are however wider than the one produced using MCMC algorithms. Our method then complements classical sampling techniques.