Mon stage de fin de première année de Master s’est déroulé au laboratoire AstroParticules et Cosmologie sous la tutelle d’Alexis Coleiro, Maître de conférences à l’APC. J’ai eu la chance de travailler sur la collaboration GRANDMA/SNEWS en lien avec Sarah Antier. GRANDMA est un réseau mondial de télescopes assurant le suivi et de la veille sur différents types d’évènements célestes transitoires. Nous pouvons citer notamment les kilonovae et les supernovae. C’est donc sur les supernovae à effondrement de cœur que mon travail s’est centré, au travers du programme SNEWS. SNEWS est l’acronyme de « SuperNova Early Warning System ». C’est une collaboration regroupant 7 détecteurs de Neutrinos à travers la planète capables de détecter les neutrinos dans les gammes d’énergies associés à ce type d’évènements et d’en donner l’alerte une fois qu’une Supernova est identifiée. Cette collaboration entre ces deux programmes permet de recueillir le plus tôt possible et le mieux possible la contrepartie électromagnétique associée aux supernovae à effondrement de cœur (CCSNe : Core Collapse superNovae).

Les supernovae de type Ia sont des supernovae dites thermonucléaires et les mécanismes en jeu sont davantage connus. Mais ce type de supernova ne nous intéressera pas, nous verrons pourquoi plus tard. Le mécanisme d’explosion des supernovae à effondrement de cœur est lui encore mal connus. Les progéniteurs de ces phénomènes sont des étoiles massives dont la masse est souvent supérieure à 8 masses solaires. Les supernovae à effondrement de cœurs (CCSN) correspondent aux types Ib, Ic et II. Tout d’abord lorsque la pression radiative au sein du noyau de l’étoile, la gravitation prends le dessus et débute alors l’effondrement. Avec cela, la densité et la température augmente alors et les électrons interagissent avec les protons pour former massivement des neutrons et des neutrinos. Les neutrinos, étant donné leurs propriétés, s’échappent librement de l’étoile. Lorsque la densité au cœur de l’étoile atteint la densité du noyau atomique, la répulsion issue des forces nucléaires deviennent dominantes et ainsi débutent le rebondissement puis l’explosion. On estime que l’énergie générée par ce phénomène est libérée à 99% sous forme de neutrinos, à 0,99% sous forme d’énergie cinétique avec l’éjectât de matière et à 0,01% sous forme de lumière. A la fin, une étoile à neutron subsiste au sein du nuage de matière. Nous ne nous intéressons pas au type Ia tout simplement parce que le mécanisme n’implique pas d’émission de neutrinos. Du fait de l’émission première des neutrinos puis de l’émission de la lumière bien après. On s’attends à recevoir un signal lumineux quelques heures voire quelques jours après le signal neutrino.

En 1987, nous avons détecté le signal neutrino provenant d’une Supernova à effondrement de cœur suivi du signal électromagnétique. Cet évènement confirma l’idée générale sur le mécanisme d’explosion. Seulement il reste de nombreux problème non-résolus sur ce mécanisme. Nous observons chaque année plusieurs CCSNe mais celles-ci sont situé dans d’autres galaxies parfois très éloignées. Les informations qu’elles nous fournissent ne sont que des preuves indirectes au sujet du mécanisme. Comme mentionné plus haut, le principal enjeu est d’observer dés l’apparition du signal lumineux et d’échantillonner correctement la courbe de lumière afin d’en tirer le maximum d’information. Le deuxième enjeu majeur est d’observer cet évènement au sein de la voie lactée, ce qui nous permettrait d’accéder au signal neutrino que nous n’avons pas avec les CCSNe extragalactiques. A titre d’information, la dernière Supernova observée dans notre galaxie date de l’an 1604. Pourtant d’après les statistiques établies, il se réaliserais environ 3 CCSNe par siècle au sein de la voie lactée. L’intérêt d’une telle collaboration est donc de ne pas être pris au dépourvu lors de la prochaine CCSN galactique et d’être efficace dans la stratégie d’observation.

Pour commencer, il faut se poser quelques questions. Où devons-nous observer cet évènement dans le ciel ? Une réponse à déjà été fournie par de précédents travaux de la part d’Alexis et Coleiro et de ses collaborateurs. Lorsqu’un neutrino d’une CCSN est détecté par les détecteurs sur Terre. Grâce aux signaux nous pouvons réduire une région dans le ciel correspondant à la zone de provenance de ce Neutrino et par extension la zone où se situe la Supernova. Cette zone d’incertitude est de l’ordre de 100°² dans le ciel. Ceci est possible grâce à la collaboration SNEWS qui compte de nombreux détecteurs disséminés sur Terre. A l’aide du délai de détection du signal neutrino, nous pouvons contraindre cette région par triangulation. Une fois ceci établi, une alerte est envoyée par SNEWS. Cette alerte est reçue par GRANDMA qui va pouvoir commencer, avec son réseau de télescopes, à quadriller la zone dans le ciel à la recherche de la contrepartie électromagnétique du signal neutrino. Lorsque le premier signal est détecté par GRANDMA, il est nécessaire d’établir une planification et une stratégie d’observation sur des semaines voire des mois pour suivre l’évolution du phénomène. Mon travail, portait essentiellement sur l’estimation du pouvoir de détection des instruments de GRANDMA pour des CCSN galactiques, l’estimation du délai entre la détection des neutrinos et la détection de la première lumière, et sur la mise en place d’une stratégie de suivi pour GRANDMA. Ainsi je réponds aux questions : Sera-t-on capable d’observer ? Quand faudra-t-il observer ? Avec quels instruments faudra-t-il observer ?

Pour commencer nous voulons savoir dans quelles régions du ciel nous sommes le plus à même de détecter ces CCSNe. Pour cela nous choisissons dans un premier temps de nous concentrer sur les SN Ib/c car ce sont des cas simples. Afin de caractériser la luminosité associée au phénomène, nous choisissons de recueillir un échantillon de 89 CCSNe extra galactique provenant de l’Open Supernova Catalog. Nous les avons sélectionnées par rapport à la qualité et la quantité suffisante des observations.