

ETUDES

- ↳ **2008-10** L3-M1 à l'ENS de Cachan
- ↳ **2010-11** Préparation à l'Agrégation
- ↳ **2012-13** M2 A&A à l'Observatoire de Paris-Meudon



RECHERCHE

- ↳ **2010** Simulations à N corps avec Jean-François Lestrade (M1)
- ↳ **2011-12** Systèmes binaires et exoplanètes avec Saul Rappaport
- ↳ **2013** Disques d'accrétion avec Fabien Casse (M2)
- ↳ **2013-16** Thèse sur l'accrétion par vent sur les objets compacts
sous la direction de Fabien Casse & Andrea Goldwurm à l'APC
- ↳ **2016-17** Contrat postdoctoral avec Rony Keppens au
Center for mathematical Plasma Astrophysics, KU Leuven
- ↳ **2017-20** Bourse [Pegasus]² Marie Skłodowska-Curie



KU LEUVEN



Binaires X de forte masse – Motivations



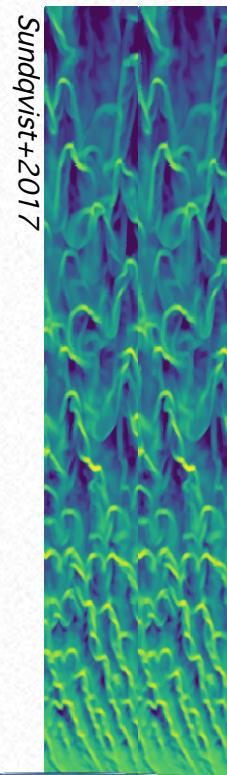
OBJETS COMPACTS

- Étoiles à neutron
 - ↳ équation d'état
 - ↳ champ magnétique
 - ↳ structure
- Trous noirs
 - ↳ formation



ONDES GRAVITATIONNELLES

- ↳ progéniteurs?
- ↳ taux de coalescence
- ↳ conditions



*La majorité des étoiles massives
a au moins un compagnon
dont la présence impacte l'évolution*

Sana+2012

HAUTES ÉNERGIES

- ↳ chocs & jets
- ↳ processus radiatifs
- ↳ reconnection magnétique
- ↳ accélération de particules

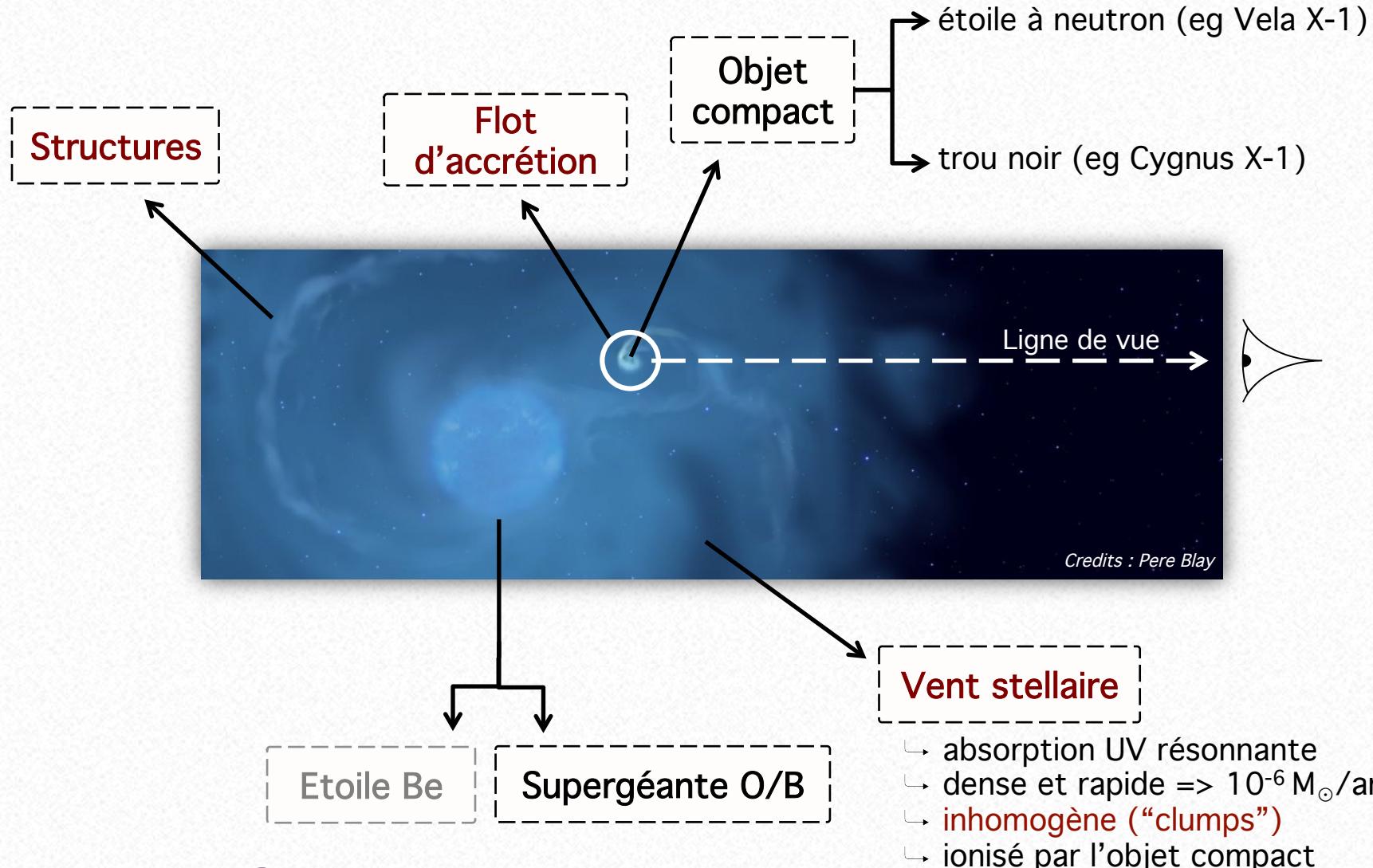


ÉVOLUTION STELLAIRE

- ↳ vents
- ↳ transferts

Étoile massive

Binaires X de forte masse – Portrait



Méthodologie : modélisation & simulations numériques

MPI-AMRVAC 2.0

LA PHYSIQUE

- ↪ lois de conservation (magnéto-)hydrodynamiques
- ↪ transfert radiatif
- ↪ classique ou relativiste

$$\text{flux} + \text{sources} \Rightarrow \partial_t$$

CALCUL HAUTE PERFORMANCE

- ↪ parallélisable sur des milliers de CPU
- ↪ 3Mh·CPU consommées

CONTRIBUTIONS SIGNIFICATIVES

- ↪ grille auto-similaire
- ↪ conservation du moment angulaire
- ↪ flux visqueux

LE NUMÉRIQUE

- ↪ volumes finis
- ↪ maille adaptative
- ↪ géométries multiples

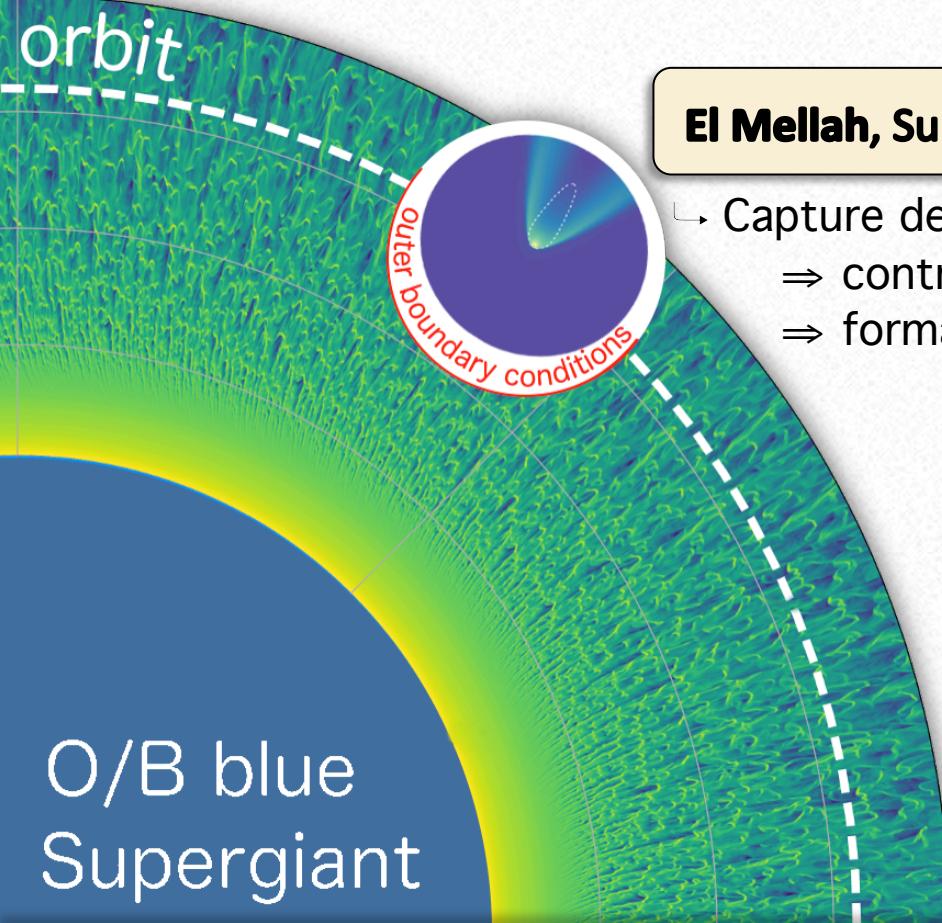
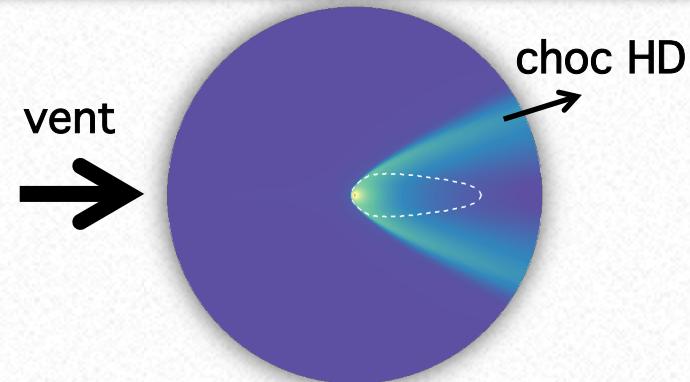


Xia, Teunissen, El Mellah et al., ApJS 2018

Binaires X de forte masse – le vent stellaire

El Mellah & Casse, MNRAS 2015

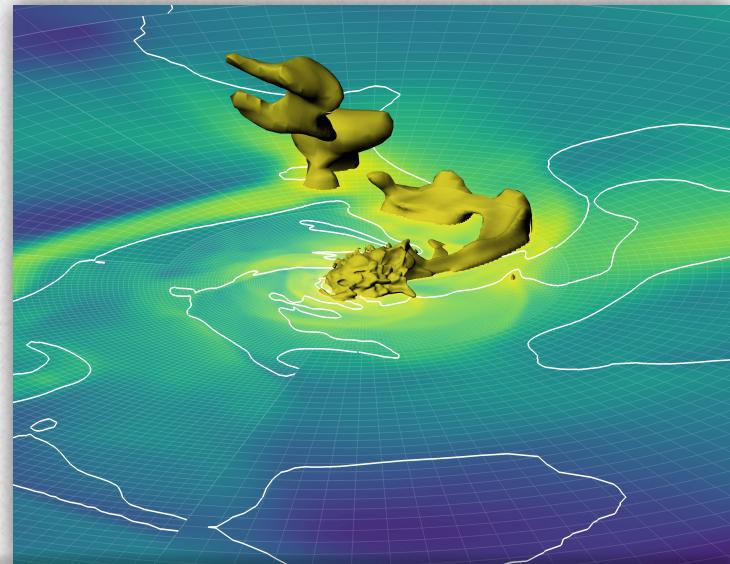
- Accrétion d'un vent homogène par un objet compact
 - mesure du taux d'accrétion de masse
 - structure du choc hydrodynamique



El Mellah, Sundqvist & Keppens, MNRAS 2018

- Capture des clumps et variabilité temporelle de l'émission
 - contribution mineure des clumps à la variabilité
 - formation de disques transitoires

vent

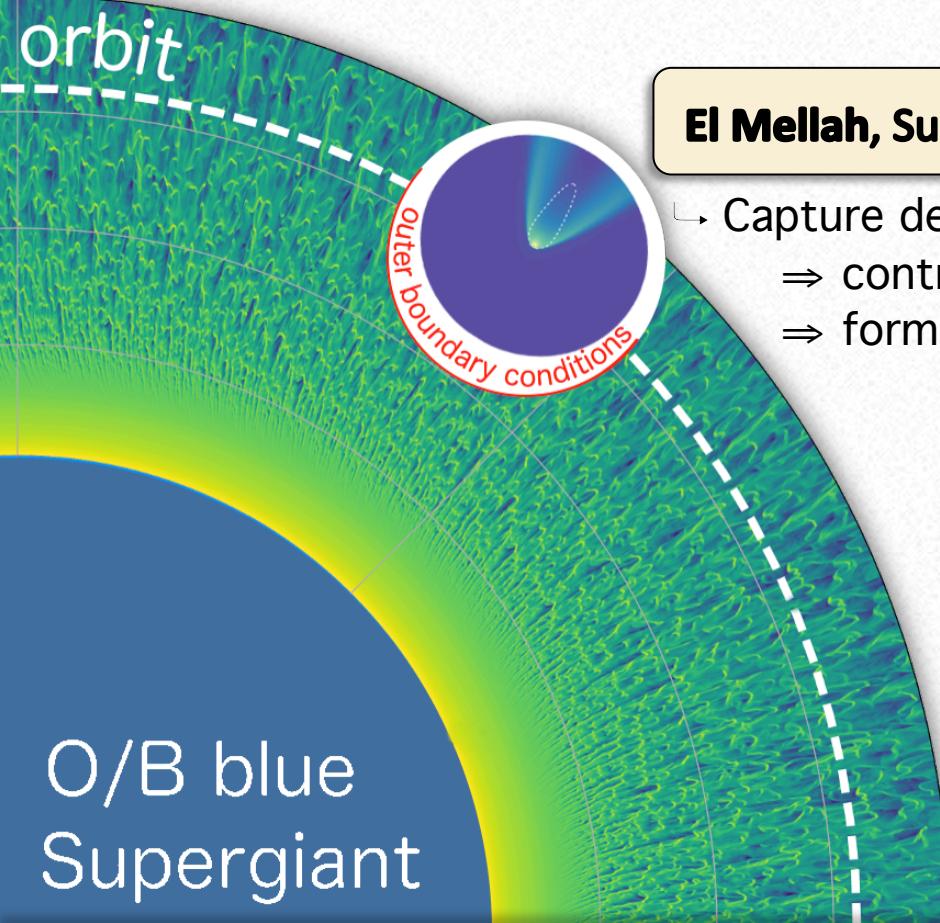
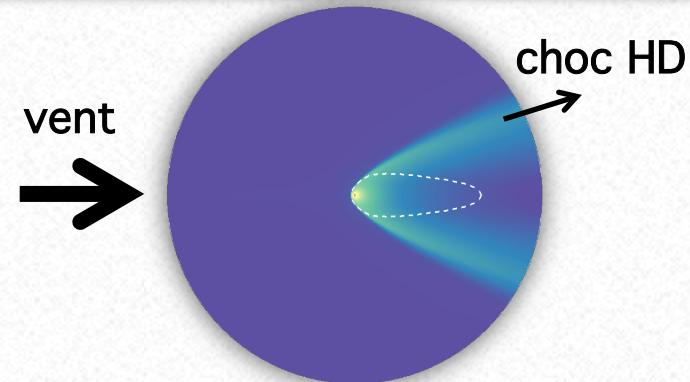


Binaires X de forte masse – le vent stellaire

Binaires X de forte masse – le vent stellaire

El Mellah & Casse, MNRAS 2015

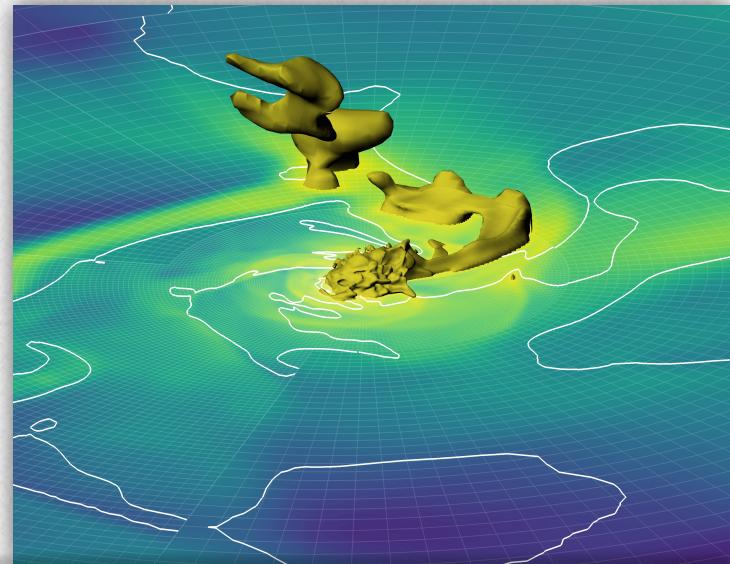
- Accrétion d'un vent homogène par un objet compact
 - mesure du taux d'accrétion de masse
 - structure du choc hydrodynamique



El Mellah, Sundqvist & Keppens, MNRAS 2018

- Capture des clumps et variabilité temporelle de l'émission
 - contribution mineure des clumps à la variabilité
 - formation de disques transitoires

vent



Binaires X de forte masse – le vent stellaire

Binaires X de forte masse – le vent stellaire

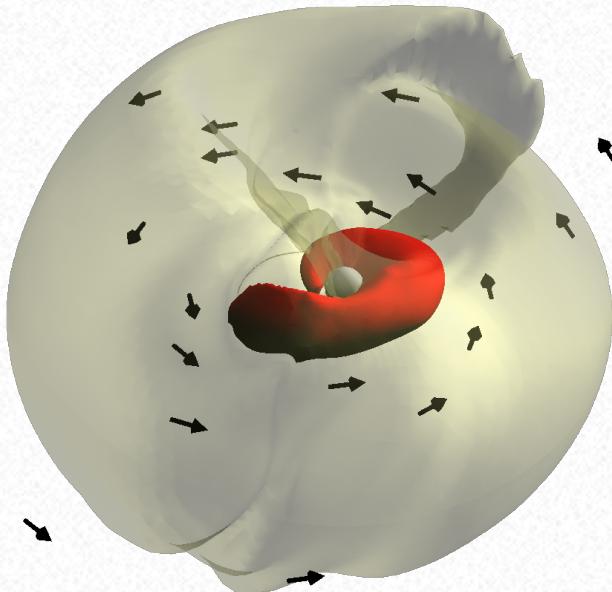


Binaires X de forte masse – le flot d'accrétion

El Mellah & Casse, MNRAS 2017

WASO code

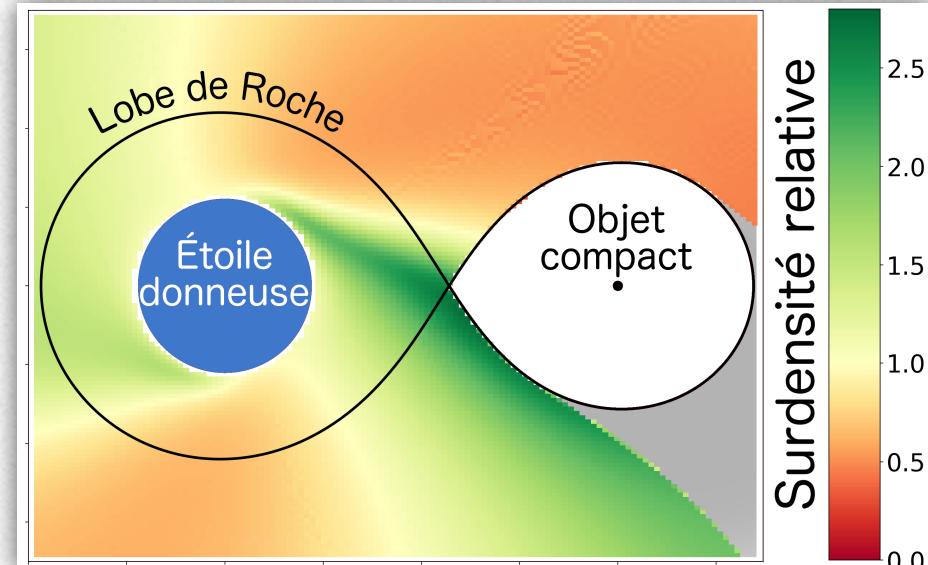
- Identification des paramètres favorables à la formation d'un disque



El Mellah, Sundqvist & Keppens, A&A 2019

El Mellah, Sander, Sundqvist & Keppens, A&A 2019

- Caractérisation des disques formés par capture du vent
 - ⇒ origine du disque observé dans Cygnus X-1
 - ⇒ prédiction d'un disque dans Vela X-1



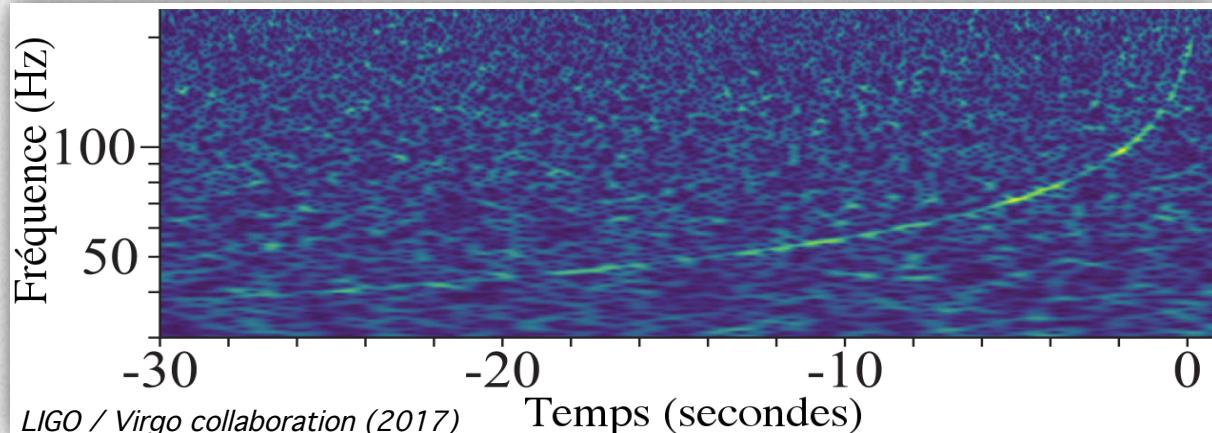
- Nouveau mécanisme de transfert de masse accéléré dans les systèmes binaires
⇒ les sources X ultra-lumineuses ne nécessitent pas de remplissage de lobe de Roche (eg M101 ULX-1)

Binaires X de forte masse – le flot d'accrétion

Contreparties électromagnétiques de la coalescence d'objets compacts

ONDES GRAVITATIONNELLES

- ↳ coalescence entre étoiles à neutron
- ↳ nature du reliquat?



SURSAUT GAMMA COURT

Emission transitoire (<2s)

Mécanisme

- ↳ jet relativiste
- ↳ chocs internes
- => émission γ focalisée

KILONOVA

Pique après ~ 1 semaine
Optique → proche infra-rouge

Sources de chauffage

- ↳ capture de neutrons
- ↳ retombées d'accrétion
- ↳ chauffage magnétique

RÉMANENCE

Emission synchrotron

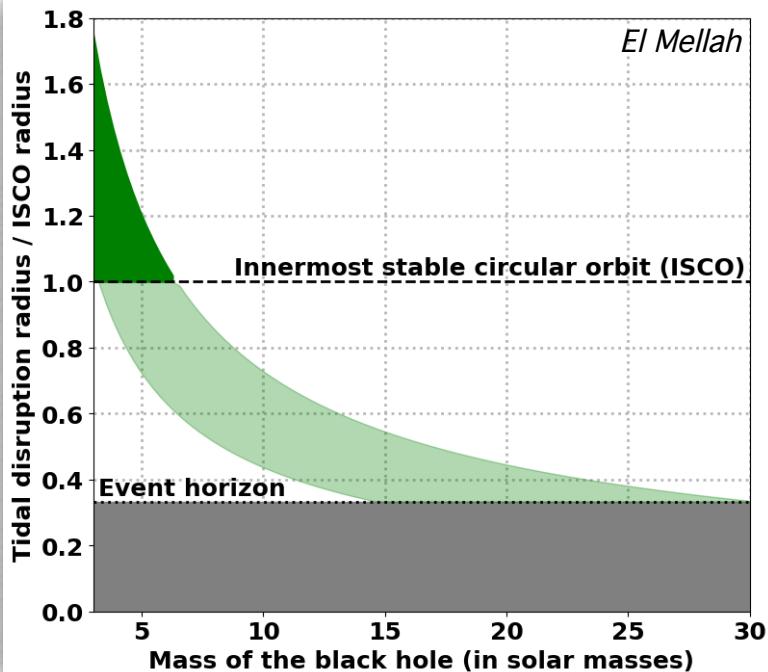
Choc externe

*"We should not expect the first [...] GW chirps from NS-NS/BH-NS mergers to be accompanied by a GRB [because] the jetted GRB emission will be relativistically beamed out of our **line of sight**"*

Metzger 2017

Kilonova bleue et lumineuse avec sursaut gamma ténu

Troja+2018



DISQUE D'ACCÉRATION

Masse & propriétés?

Développements post-newtoniens

- GReCO
 - ↳ Gilles Esposito-Farese
 - ↳ Luc Blanchet
 - ↳ Guillaume Faye

Vent de disque

- ↳ absorption UV
- ↳ clumps
- ↳ transport des neutrinos



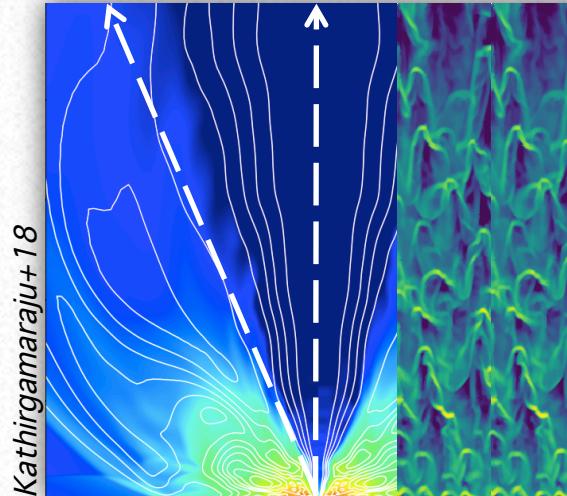
JET RELATIVISTE

Chocs internes

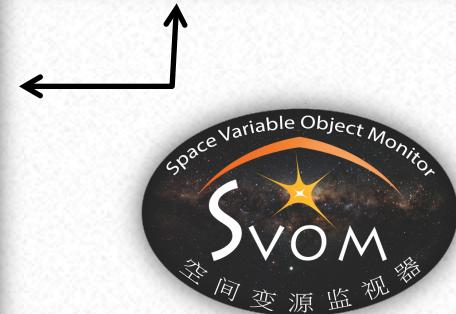
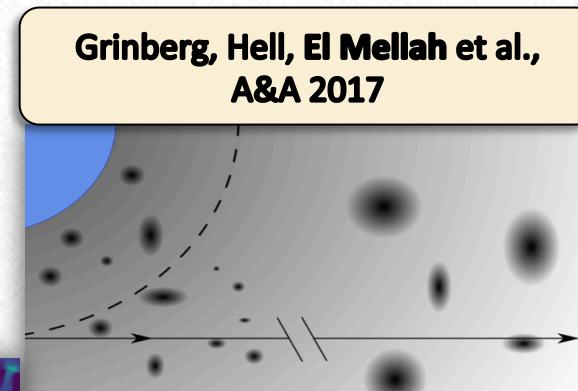
- ↳ Frédéric Daigne
- ↳ Robert Mochkovitch

Accélération de particules

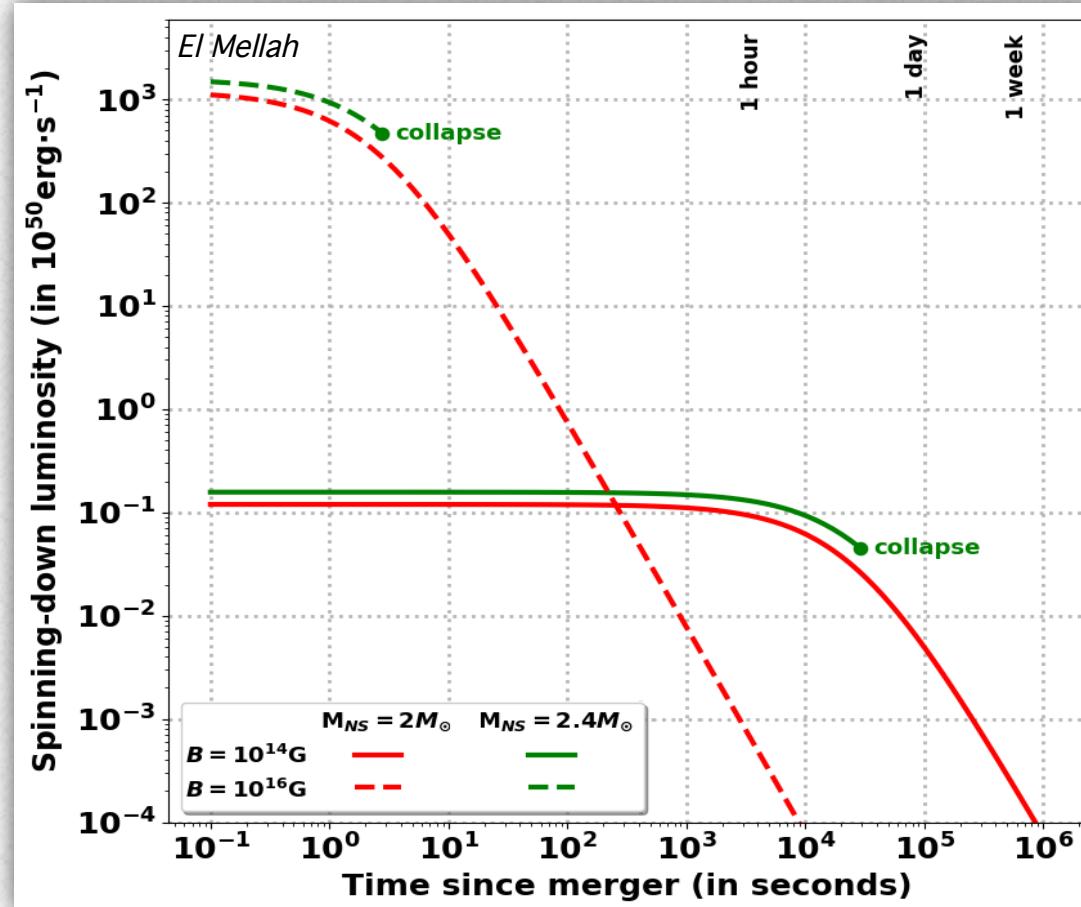
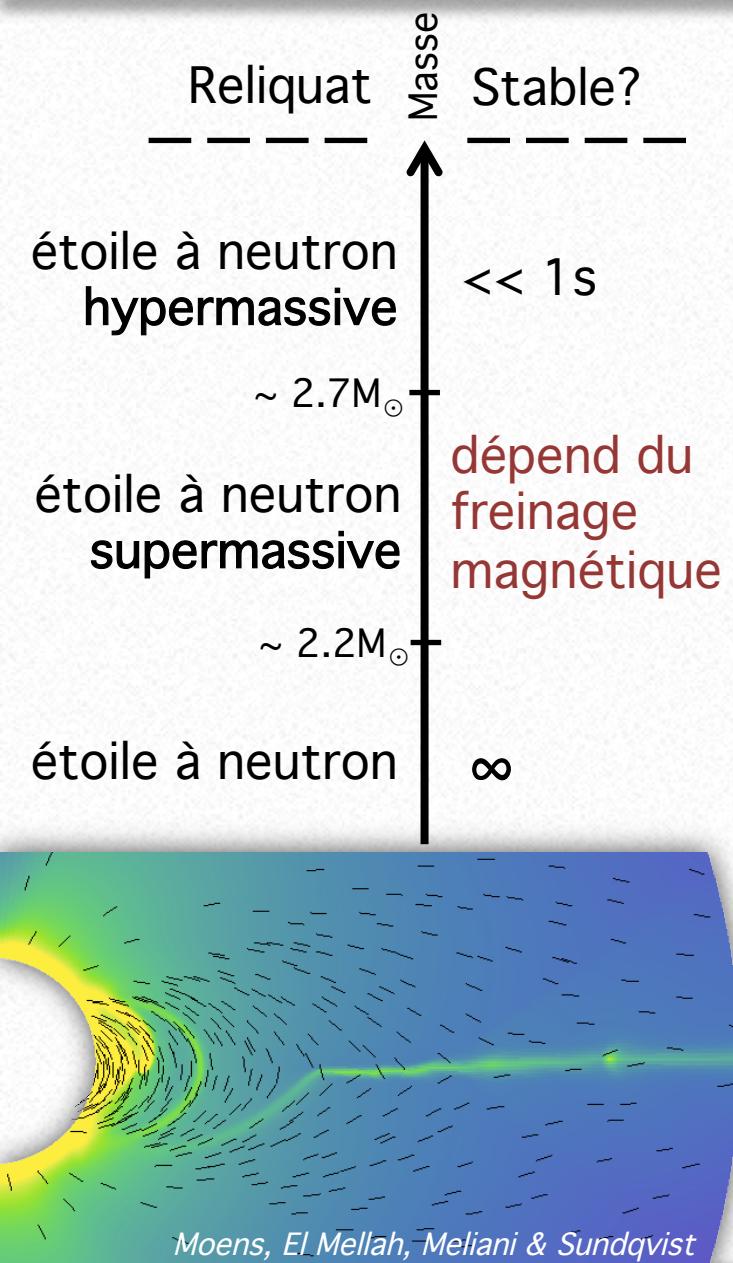
- ↳ Martin Lemoine



Grinberg, Hell, El Mellah et al.,
A&A 2017



↳ Patrick Petitjean



Couplage magnétosphère / ejecta

- ↳ géométrie du flux : disque? sphérique?
- ↳ vent de disque
- ↳ interaction ejecta / vent de pulsar

IAP?

Decin et al., Nature Astronomy 2019

- ↳ Morphologie de l'enveloppe circumstellaire autour des supergéantes rouges
- ↳ ma contribution : impact d'un companion
⇒ paramétrisation de l'ejecta

El Mellah, Decin et al., in prep

CHAUFFAGE NUCLÉAIRE DE LA KILONOVA

Fraction électronique?

Paramétrisation ↳ Elisabeth Vangioni

- ↳ capture rapide de neutrons
- ↳ refroidissement par émission de neutrinos

A plus long terme

- ↳ couplage avec réseau de réactions

Expérience d'enseignement

QUALIFICATIONS

- ↳ 2012 Agrégation de Sciences physiques, option Physique – reçu 2nd
- ↳ 2017 Qualification aux fonctions d'enseignant-chercheur

MONITORAT

- ↳ 32h TD L1 Etudes médecine & santé (PACES) – Isabelle Grenier
- ↳ 32h TP M1 Systèmes et signaux déterministes – Laurent Daudet
- ↳ 128h TD L1 Mécanique du point – Cécile Roucelle

EN POSTDOC

- ↳ 60h cours M2 Computational methods for Astrophysics – Ileyk El Mellah
 - ↳ 40h TD M2 Computational methods for Astrophysics – Rony Keppens
 - ↳ 30h TD L1 Algèbre linéaire – Rony Keppens
-
- ↳ Co-encadrement de la thèse de Nicolas Moens avec Jon Sundqvist
“Radiation-hydrodynamics of the most massive stars in our Universe”

université

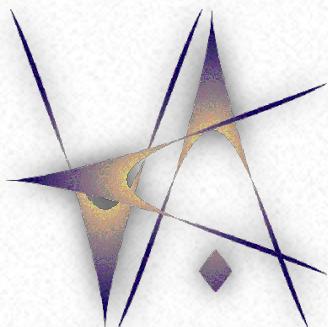
PARIS
DI
DEROT
PARIS 7

KU LEUVEN

Expérience d'enseignement

MÉTHODOLOGIE PÉDAGOGIQUE

- ↳ inductif
- ↳ immersif
- ↳ interactif



VERSATILE
ADDITION CODE

PROBLÈME DE ROCHE

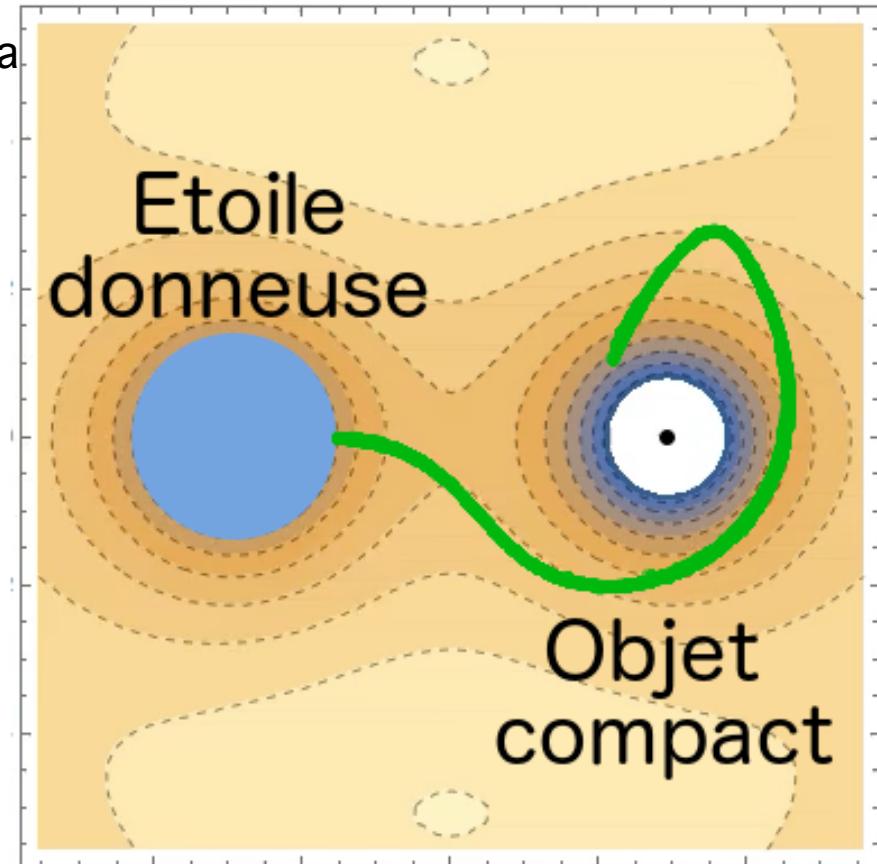
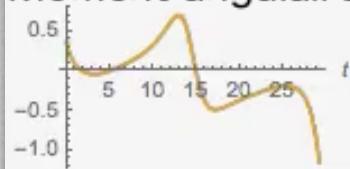
- ↳ Applet Mathematica
- ↳ Maquettes 3D

Rapport de masse

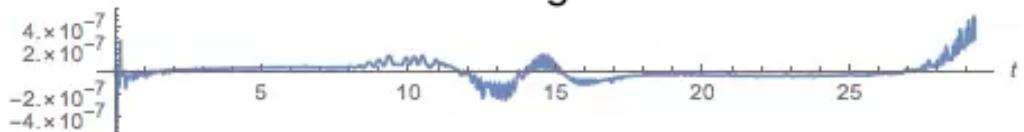
Masse de l'accréteur

Période orbitale

Moment angulaire



Conservation de l'énergie



Insertion dans l'équipe pédagogique

Diversification des profils des étudiants

- ↳ Parcours MIPI / PCGI
- ↳ Majeur / mineur

LICENCE

- ↳ Physique : CM, TD, TP
- ↳ PACES
- ↳ Mécanique

CAPES/AGRÉGATION

Centre de préparation à l'Agrégation de Montrouge – Agnès Maître

- ↳ Montages expérimentaux
- ↳ Leçons

Master des métiers de l'enseignement : CAPES

NUMÉRIQUE

Initiation à l'outil informatique

- ↳ L1 Python
- ↳ L1-L2 Ateliers de recherche encadrée – Emmanuel Rollinde
- ↳ M1 Méthodes numériques et informatiques – Jacques Lefrère

Algorithmique et résolution numérique

- ↳ Différences / volumes finis
- ↳ Monte-Carlo

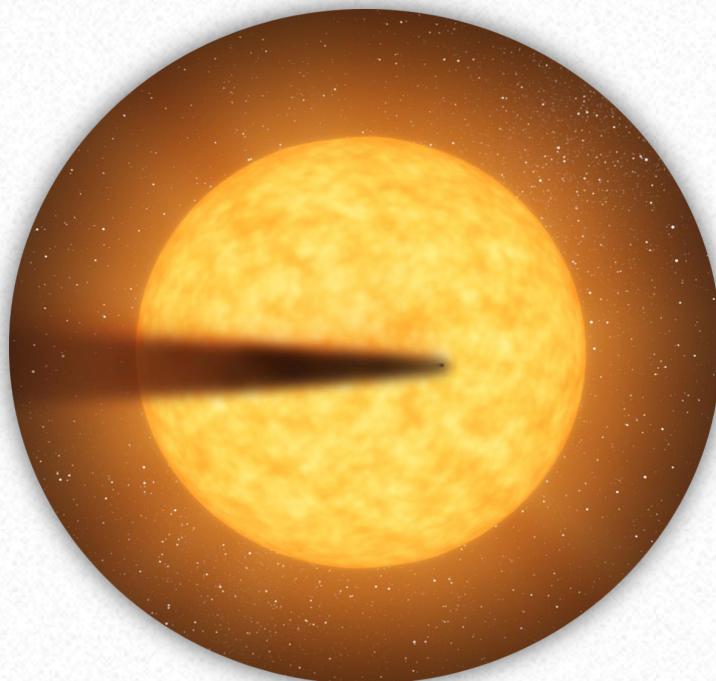
Conclusion

- ↳ Papiers : rang A & 1^e auteur
- ↳ Collaborations

Thème de recherche & travaux préliminaires



*Les étoiles et leurs reliquats,
en interaction avec leur environnement*



Rappaport, Levine, Chiang, El Mellah et al., ApJ 2012

- ↳ Sub-Mercure en désintégration
- ↳ ma contribution : identification & modélisation

Sanchis-Ojeda et al., ApJ 2014

- ↳ Exoplanètes à courte période
- ↳ ma contribution : algorithme de recherche

Rappaport et al., ApJ 2013

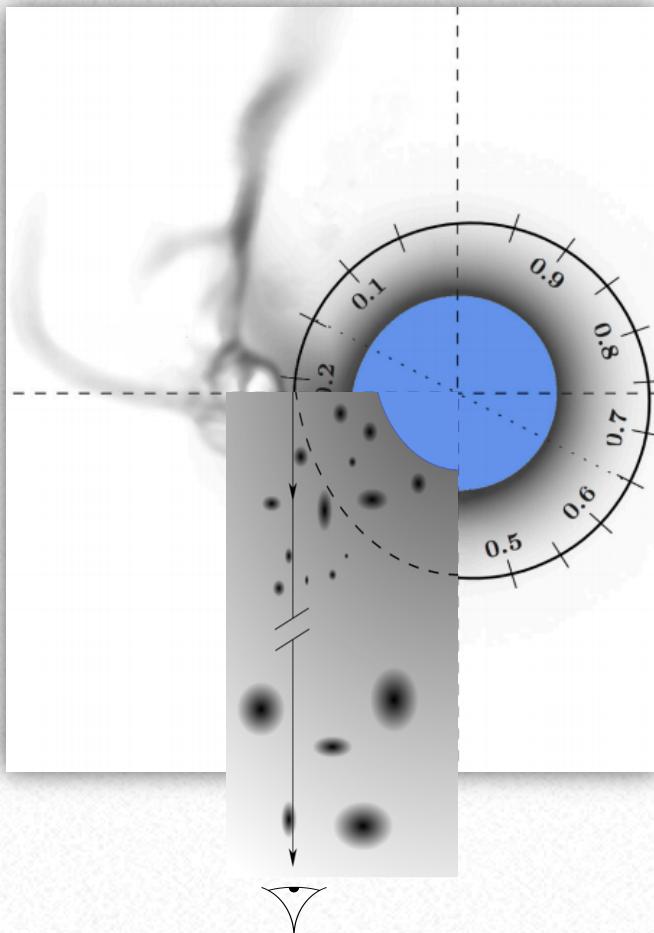
- ↳ Systèmes triples
- ↳ ma contribution : réduction de données

Binaires X de forte masse (et supergéantes rouges) – le vent stellaire

Grinberg, Hell, El Mellah et al., A&A 2017

El Mellah, Decin et al., in prep

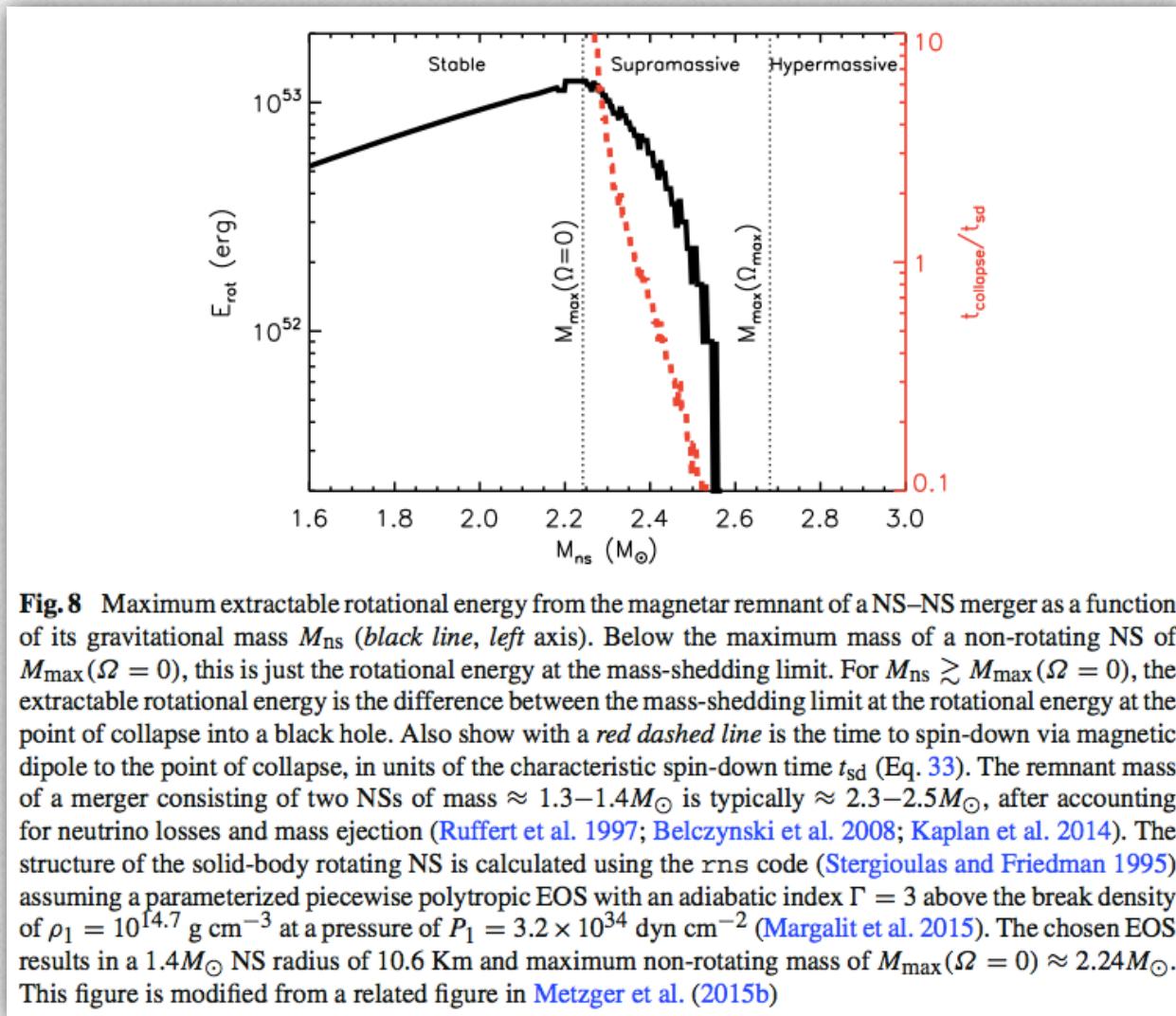
- ↪ Variabilité de l'absorption dans Vela X-1
- ↪ ma contribution : modèle stochastique
- ⇒ vent plus lent que prévu



Decin et al., Nature Astronomy 2019

- ↪ Morphologie de l'enveloppe circumstellaire autour des supergéantes rouges
- ↪ ma contribution : impact d'un companion
⇒ les taux de perte de masse de ces étoiles ont été surestimés d'un facteur ~10

Stabilité de l'étoile à neutron reliquat



Coalescence et émission

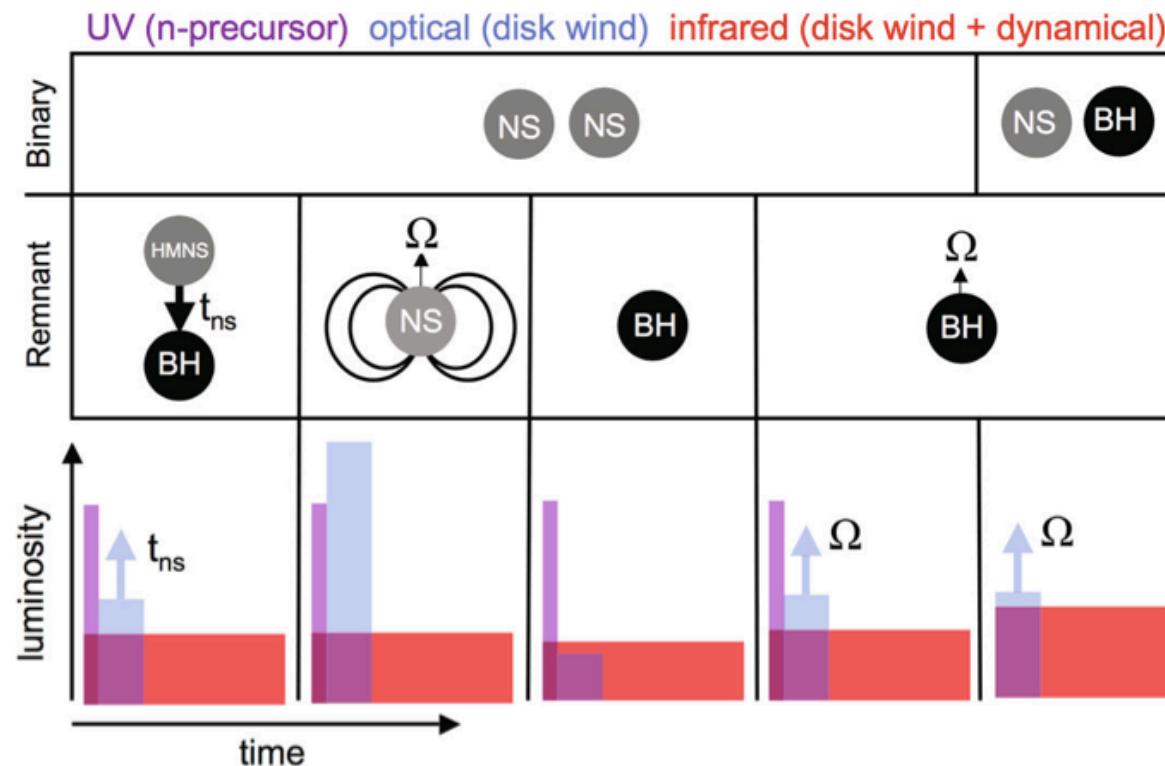


Fig. 13 Schematic illustration of the mapping between mergers and kilonova light curves. The *top panel* shows the progenitor system, either an NS–NS or an NS–BH binary, while the *middle plane* shows the final merger remnant (from left to right: an HMNS that collapses to a BH after time t_{collapse} , a spinning magnetized NS, a non-spinning BH and a rapidly spinning BH). The *bottom panel* illustrates the relative amount of UV/blue emission from an neutron precursor (purple), optical emission from lanthanide-free material (blue) and IR emission from lanthanide containing ejecta (red). We caution that the case of a NS–NS merger leading to a slowly spinning black hole is very unlikely, given that at a minimum the remnant will acquire the angular momentum of the original binary orbit. Image reproduced with permission from [Kasen et al. \(2015\)](#), copyright by the authors

Coalescence et émission

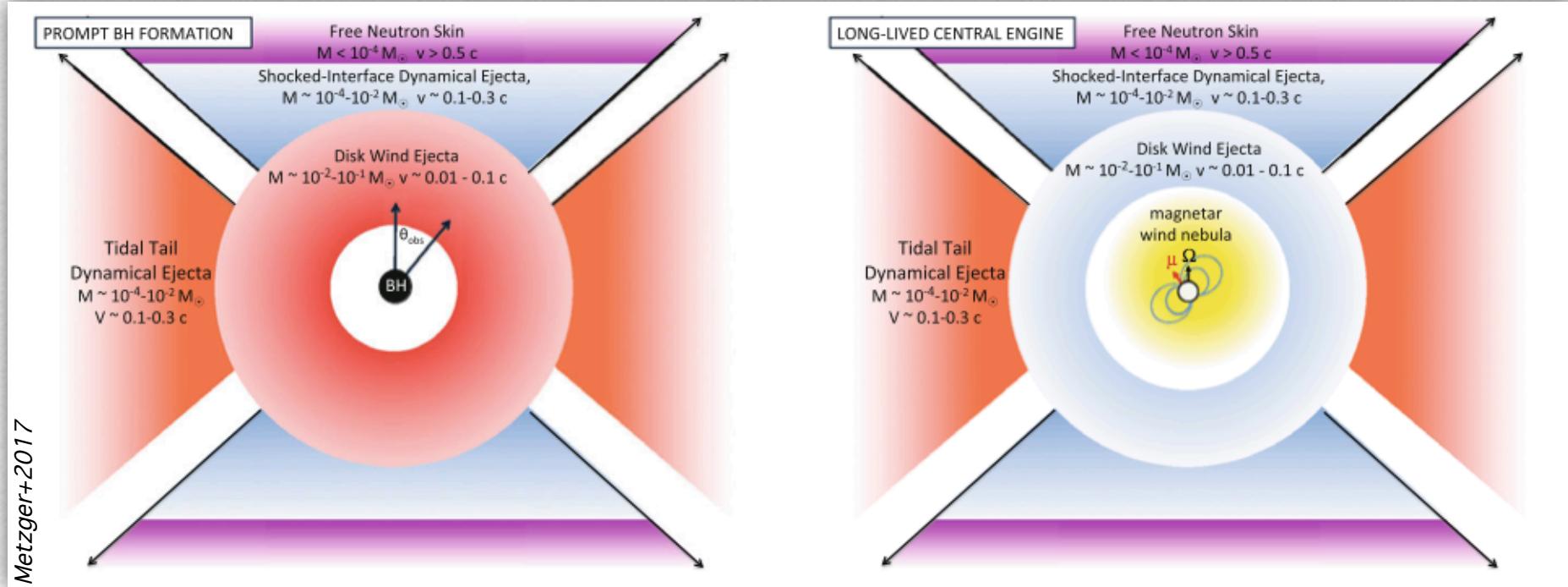


Diagramme de Corbet

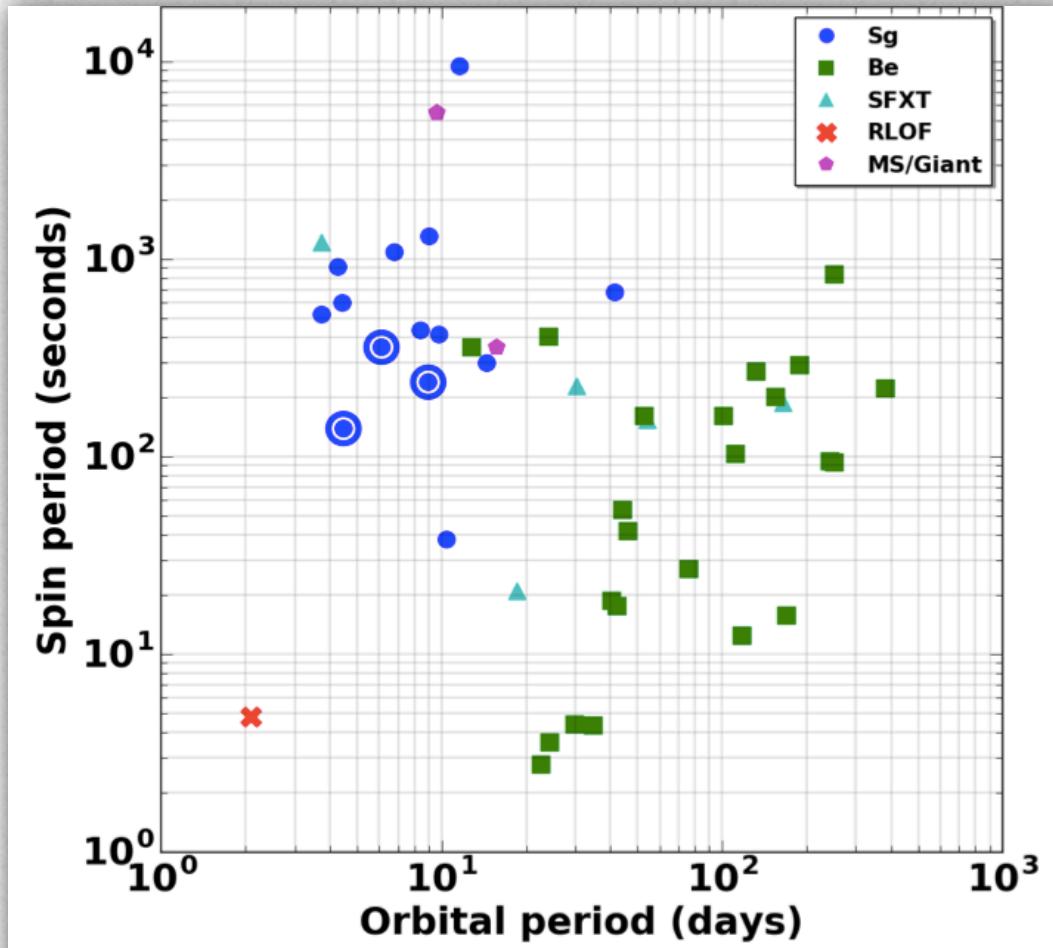
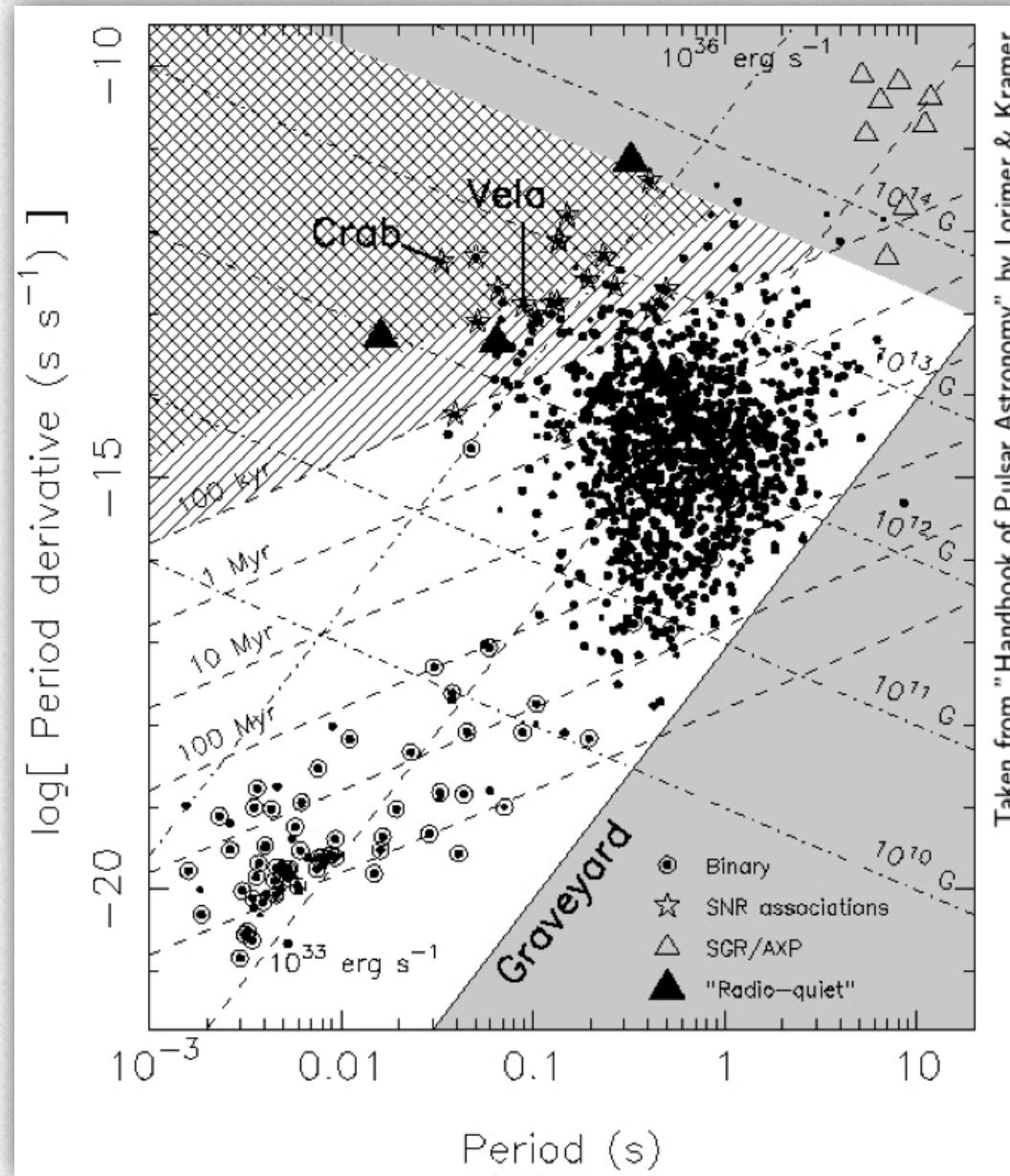
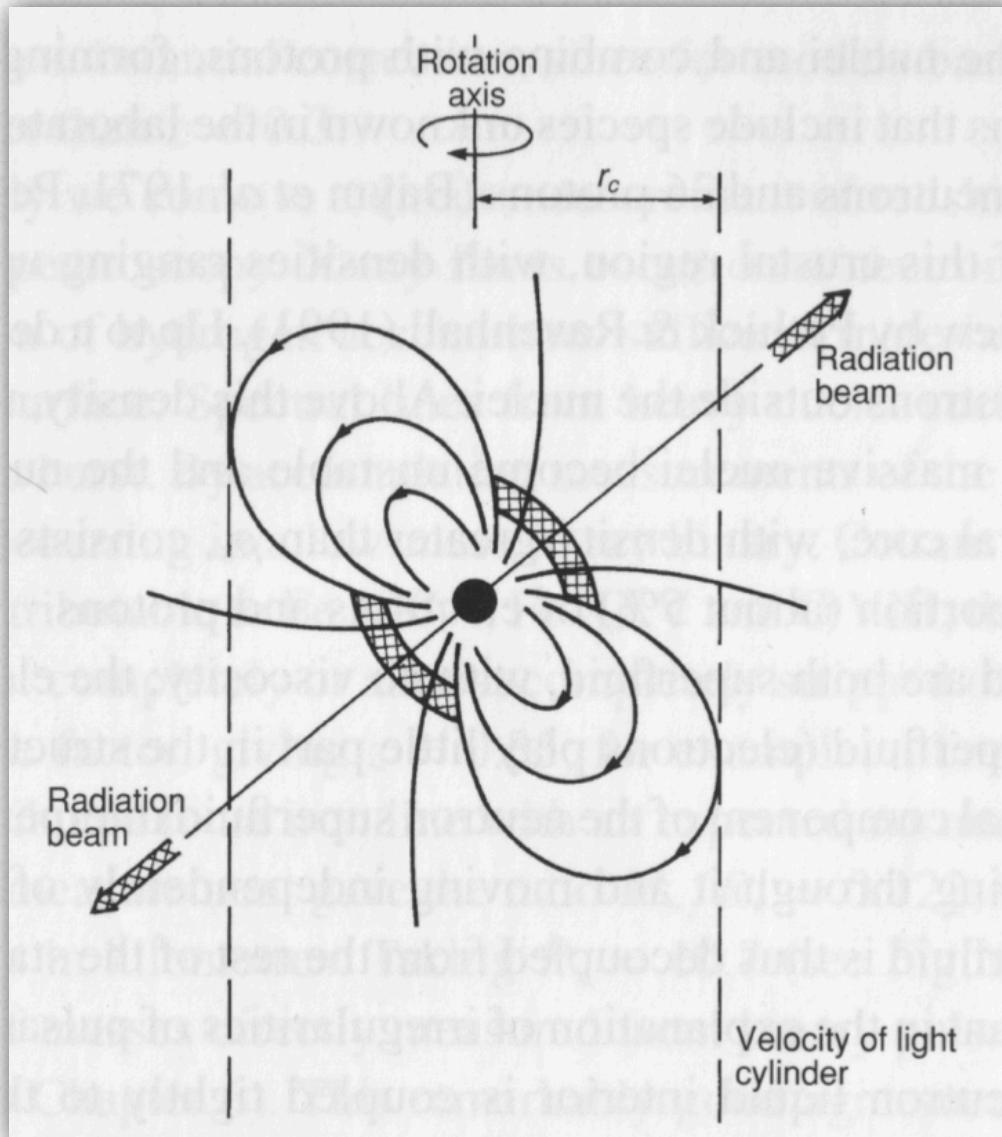


Diagramme P-Pdot



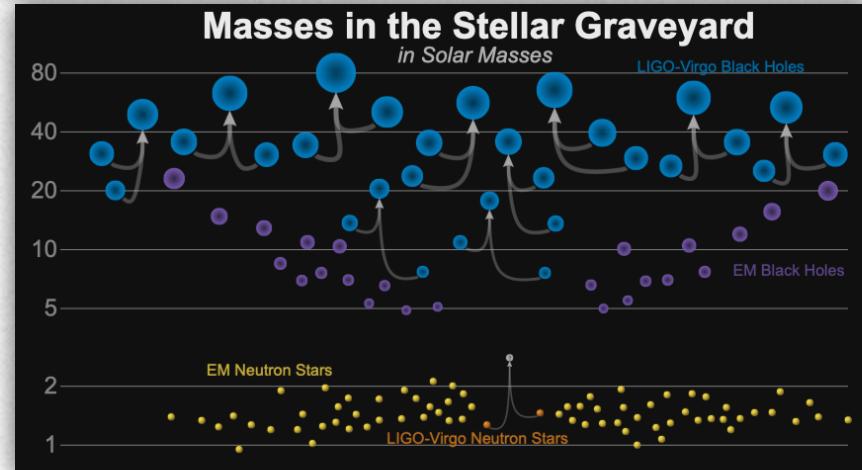
Emission radio des pulsars



Contreparties électromagnétiques de la coalescence d'objets compacts

ONDES GRAVITATIONNELLES

- ↳ coalescence entre étoiles à neutron
- ↳ nature du reliquat?



SURSAUT GAMMA COURT

Emission transitoire (<2s)

Mécanisme

- ↳ **jet relativiste**
- ↳ chocs internes
- => émission γ focalisée

KILONOVA

Pique après ~ 1 semaine
Optique → proche infra-rouge

Sources de chauffage

- ↳ capture de neutrons
- ↳ retombées d'accrétion
- ↳ chauffage magnétique

RÉMANENCE

Emission synchrotron

Choc externe

*"We should not expect the first [...] GW chirps from NS-NS/BH-NS mergers to be accompanied by a GRB [because] the jetted GRB emission will be relativistically beamed out of our **line of sight**"*

Metzger 2017

Kilonova bleue et lumineuse avec sursaut gamma ténu

Troja+2018

Binaires X de forte masse – la magnétosphère de l'étoile à neutron

