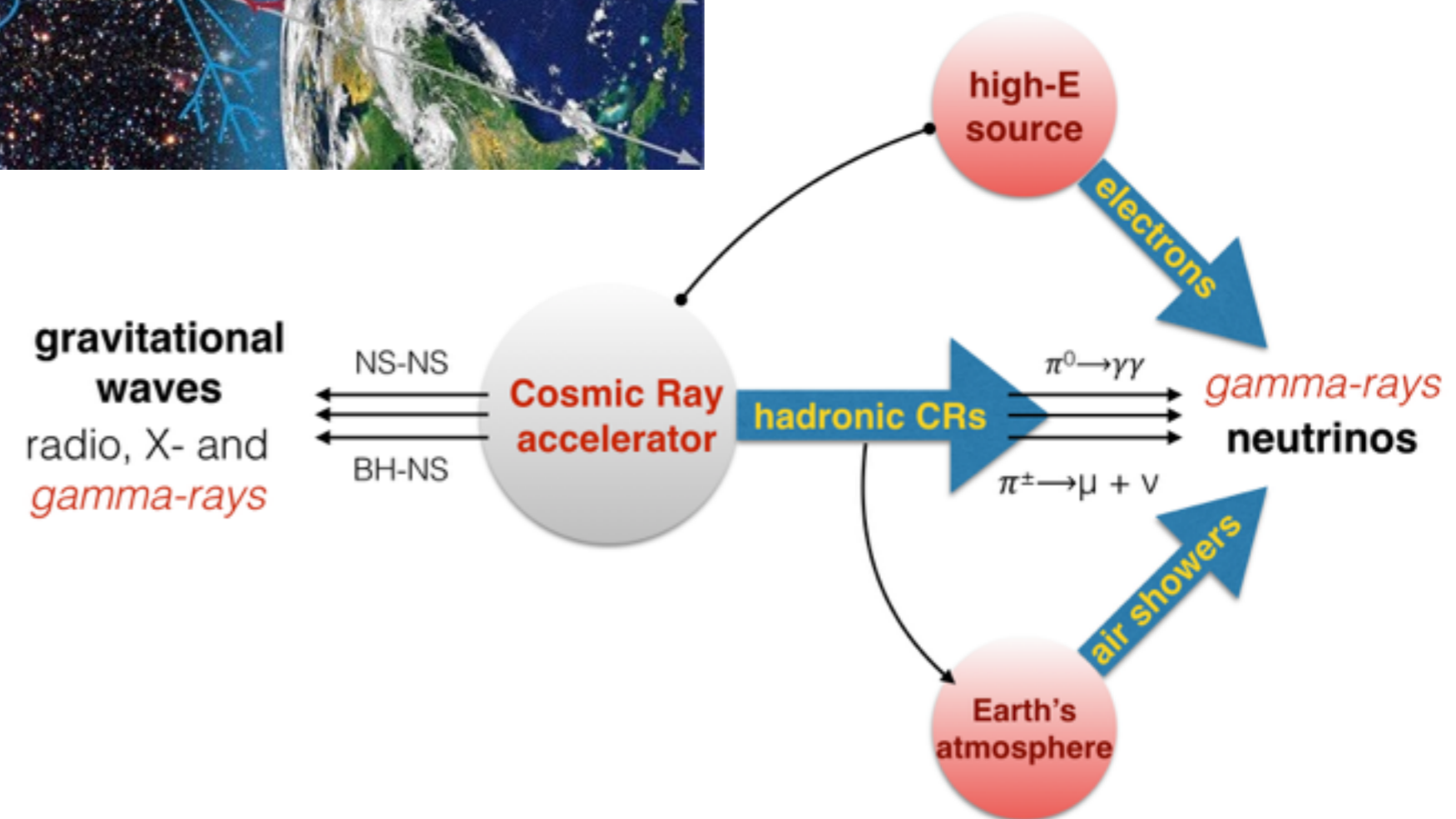
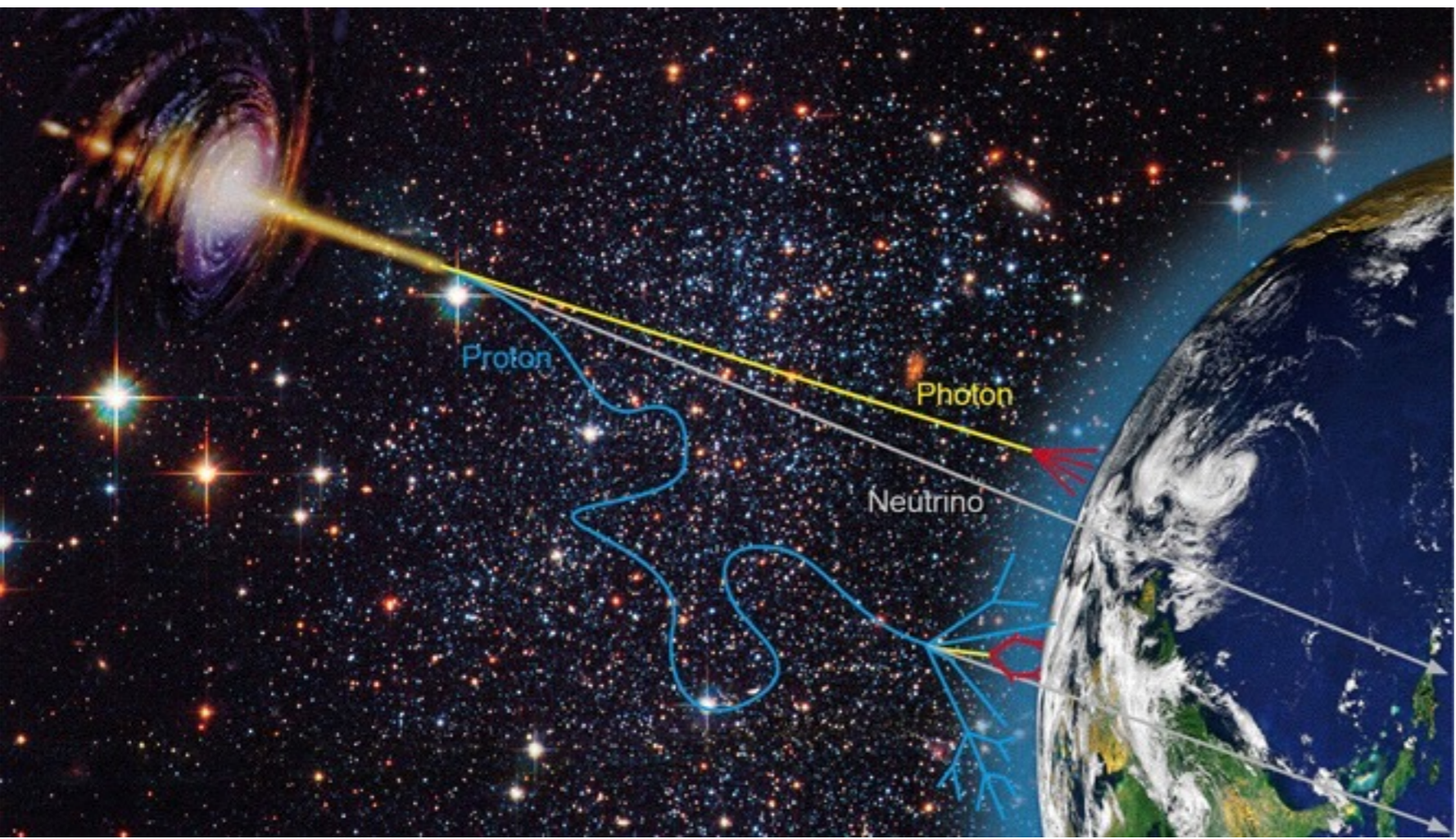


## Phénomènes transitoires multi-messagers

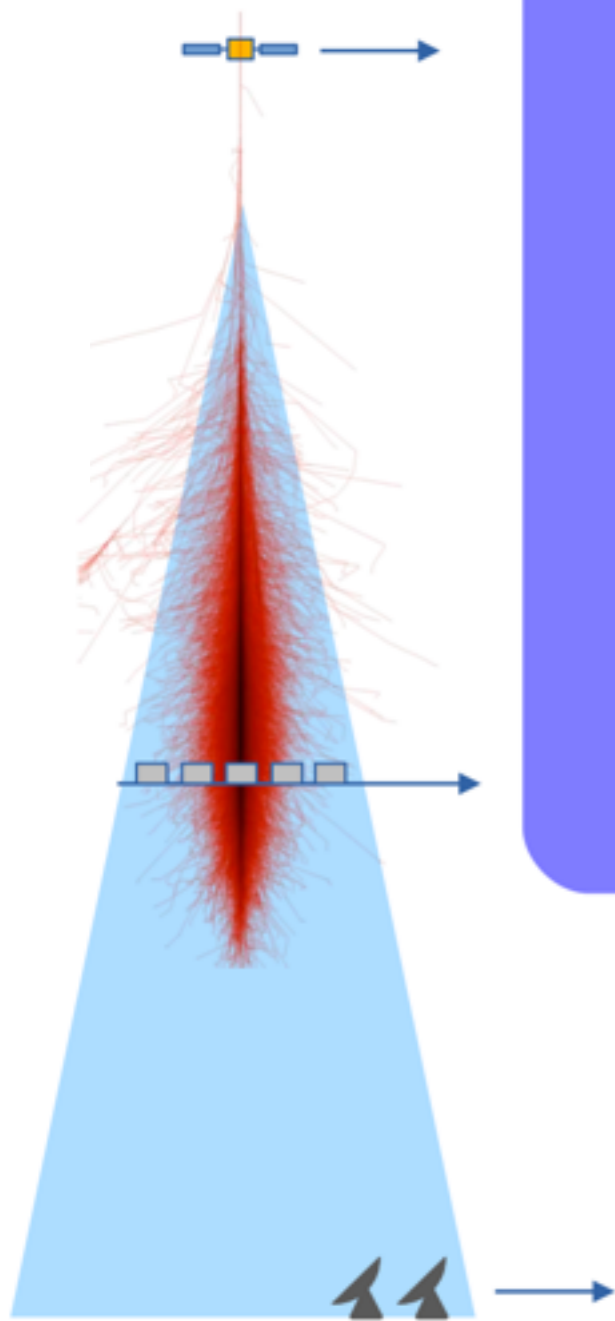


Fabian Schüssler



# Phénomènes transitoires et signatures multi-messagers

- sursauts gamma
    - rayonnement électromagnétique + ondes gravitationnelles + neutrinos (?)
  - noyaux actifs de galaxies
    - rayonnement électromagnétique multi-longueur d'onde + neutrinos (?)
  - binaires, novae, supernovae, sursauts radio rapides, etc. etc.
- 
- observatoires et techniques
    - observatoires grands champs: survey du ciel + émission d'alertes
      - p.e.: Virgo/Ligo, IceCube/KM3NeT, HAWC/HAWC-South, SVOM, SKA, LSST,...
    - observatoires de suivi: plus sensibles + réactions rapides aux alertes
      - p.e.: H.E.S.S./CTA, télescopes optiques, ...
    - systèmes d'alertes largement automatisés (envoi + réception/filtrage)
    - **analyses de données (multi-collaborations, multi-messagers, multi-fun...)**
      - possibilité d'avoir un vrai impact dans un domaine naissant



**Direct  $\gamma$ -detection**

**Wide Field of View,  
Continuous Operations**

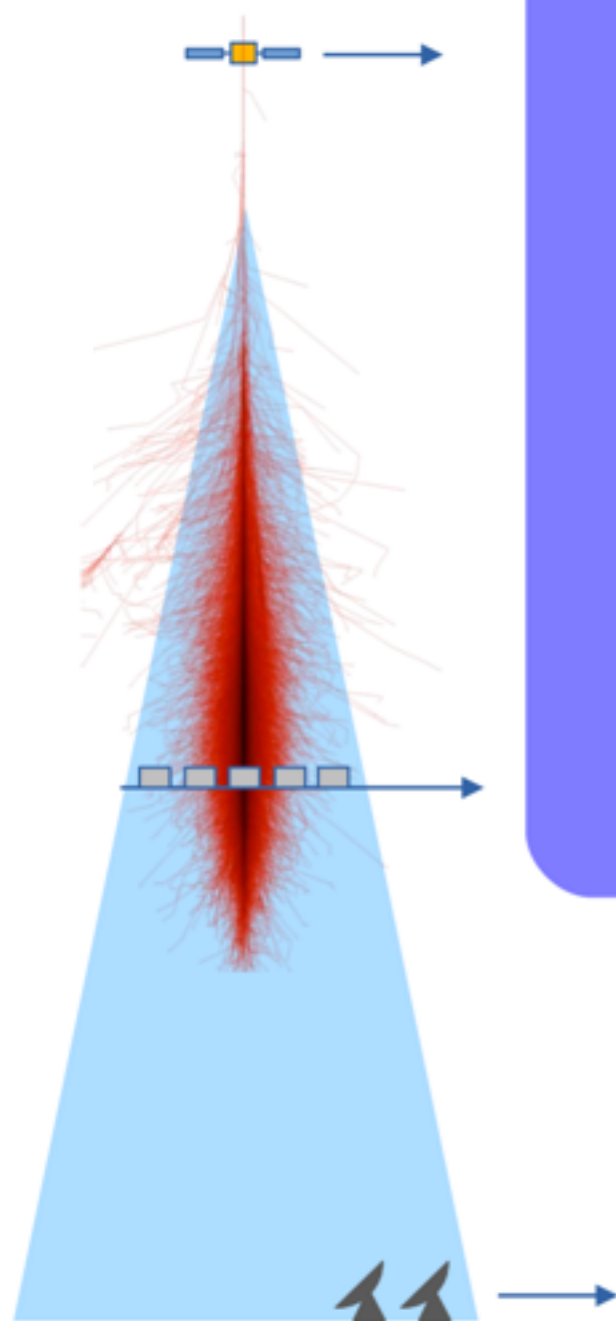


**Shower particle  
interception**

**TeV Sensitivity**



**Shower imaging**



**Direct  $\gamma$ -detection**

Wide Field of View,  
Continuous Operations



**Shower particle interception**

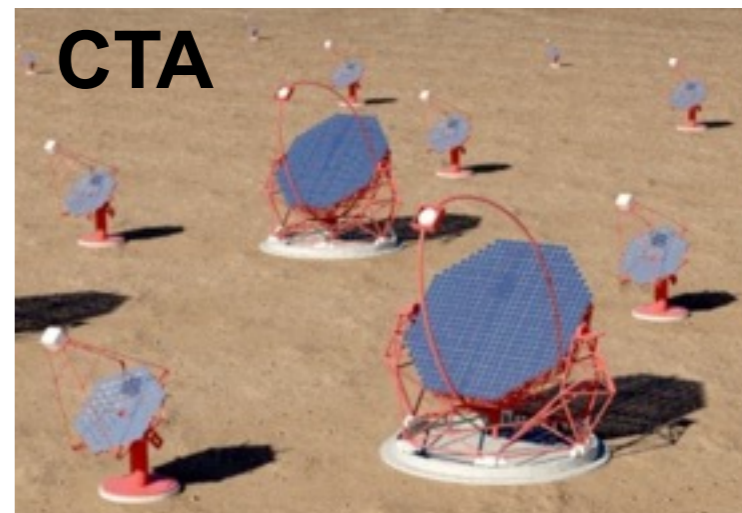
**(HAWC)**



**Shower imaging**

TeV Sensitivity

**H.E.S.S.**



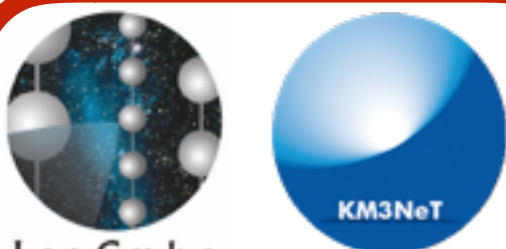
**CTA**



**Fermi-LAT**

**SVOM**

**Integral**



# Exemples très récents

## Connexion neutrino - rayons gamma

- Événement de très haute énergie dans IceCube (Sept. 22, 2017)
    - alerte transmise automatiquement (délai de quelques secondes)
      - réseau multi-messenger AMON
    - suivi par H.E.S.S., MAGIC, VERITAS, Swift, télescopes optiques, etc.
    - MAGIC: "First detection of TeV gamma-ray in coincidence with a high-energy neutrino"
    - effort commun entre plusieurs observatoires, papier en préparation, ...
-

# Exemples très récents

## Connexion neutrino - rayons gamma

- Événement de très haute énergie dans IceCube (Sept. 22, 2017)
    - alerte transmise automatiquement (délai de quelques secondes)
      - réseau multi-messenger AMON
    - suivi par H.E.S.S., MAGIC, VERITAS, Swift, télescopes optiques, etc.
    - MAGIC: "First detection of TeV gamma-ray in coincidence with a high-energy neutrino"
    - effort commun entre plusieurs observatoires, papier en préparation, ...
- 

## Connexion ondes gravitationnelles - multi-longueurs d'ondes

- Effondrement d'un système binaire de deux étoiles à neutron (Août 17, 2017)
  - alerte transmise automatiquement (délai de quelques secondes): réseau suivi Virgo/Ligo
  - effort commun entre plusieurs observatoires
  - "M..."
  - La naissance d'une étoile à neutron
  - Irfu/DPhP très bien placé (coordination internationale, LISA, LISA Pathfinder, LISA-TA,...)
  - H.E.S.S.: "TeV gamma-ray observations of the binary neutron star merger GW170817"

**Conférences de presse mondiales  
aujourd'hui, 16h CEST**

# Exemples très récents

## Connexion neutrino - rayons gamma

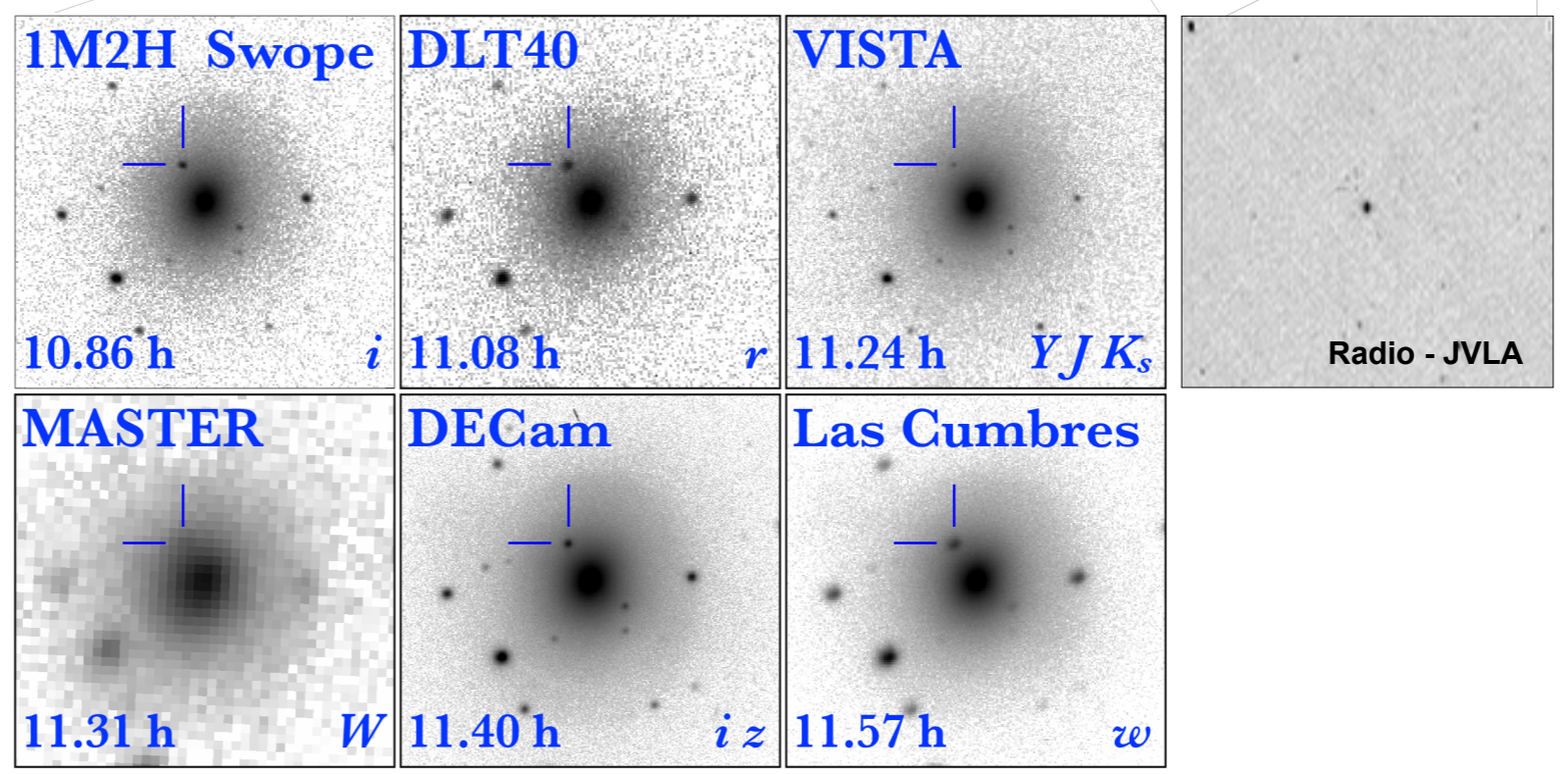
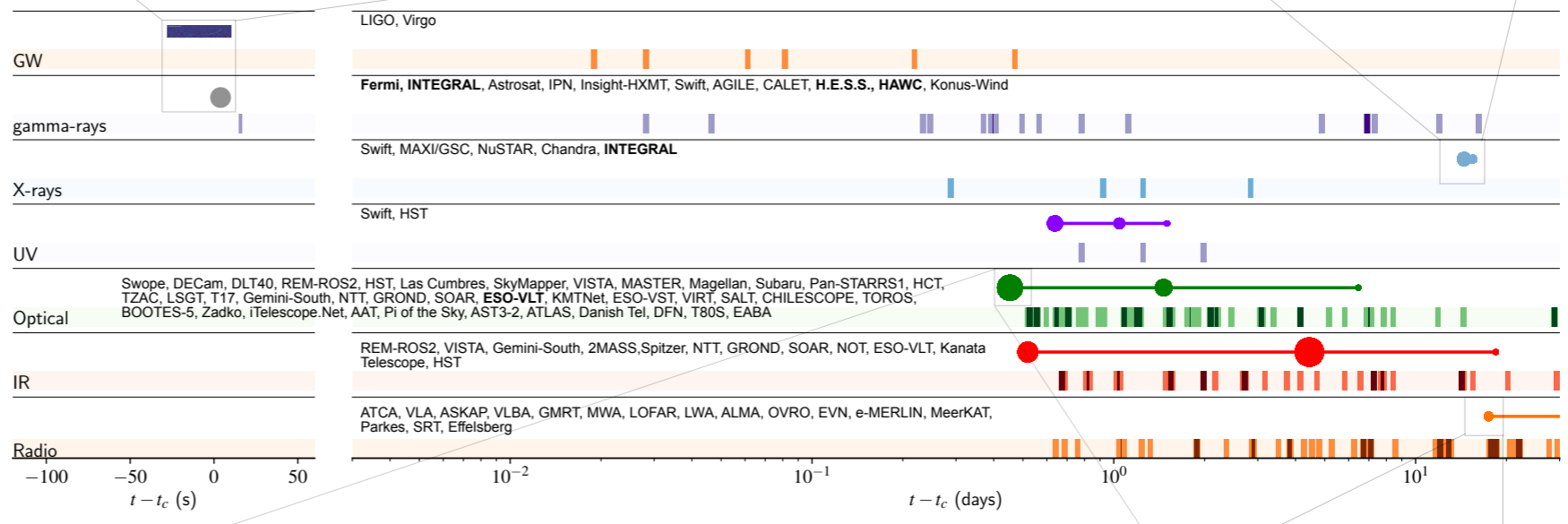
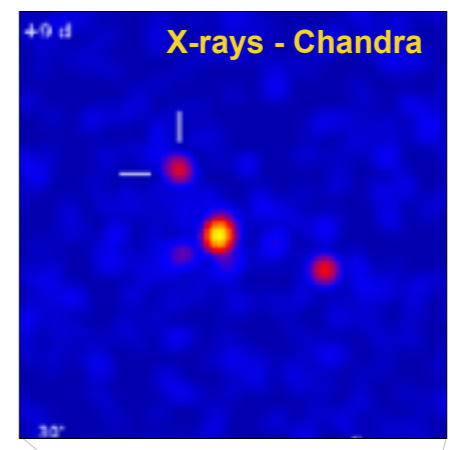
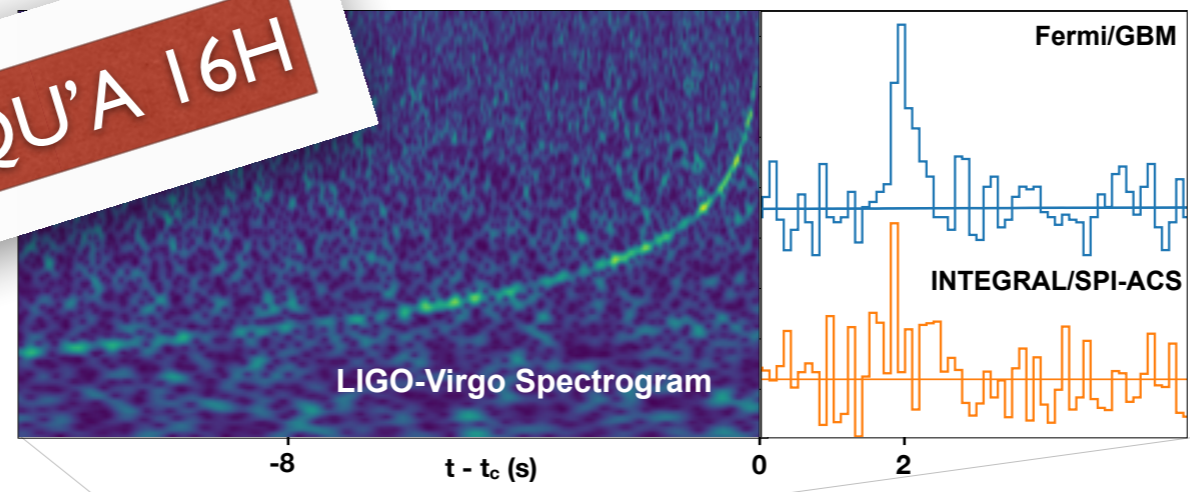
- Événement de très haute énergie dans IceCube (Sept. 22, 2017)
    - alerte transmise automatiquement (délai de quelques secondes)
      - réseau multi-messenger AMON
    - suivi par H.E.S.S., MAGIC, VERITAS, Swift, télescopes optiques, etc.
    - MAGIC: "First detection of TeV gamma-ray in coincidence with a high-energy neutrino"
    - effort commun entre plusieurs observatoires, papier en préparation, ...
- 

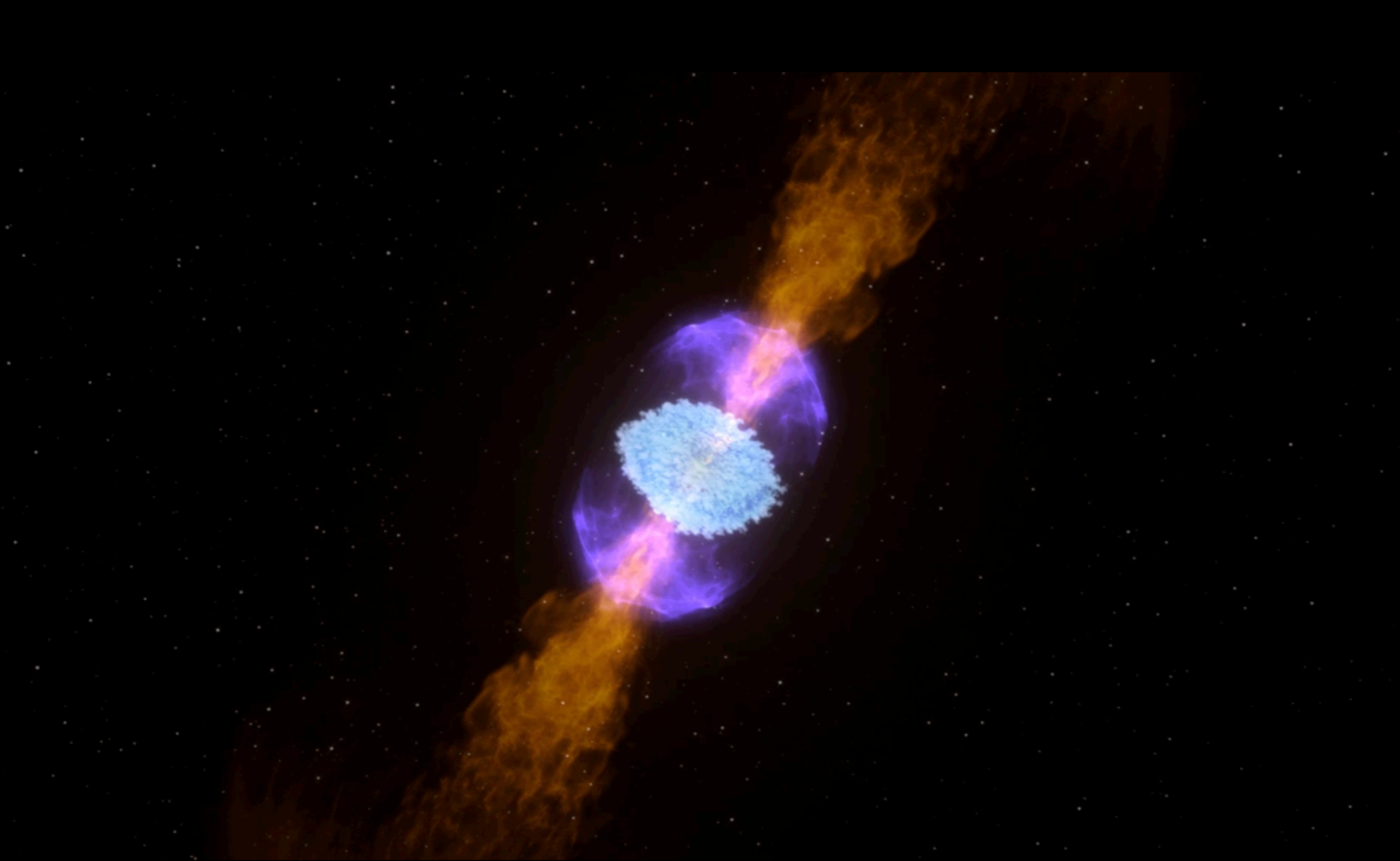
## Connexion ondes gravitationnelles - multi-longueurs d'ondes

- Effondrement d'un système binaire de deux étoiles à neutron (Août 17, 2017)
  - alerte transmise automatiquement (délai de quelques minutes): réseau suivi Virgo/Ligo
  - effort commun entre TOUS les observatoires
    - "Multi-messenger observations of a binary neutron star merger", ApJL
    - La naissance d'un nouveau domaine d'astrophysique (!!)
    - Irfu/DPhP très bien placé (coordination multi-messenger dans H.E.S.S. et CTA,...)
  - H.E.S.S.: " TeV gamma-ray observations of the binary neutron star merger GW170817"

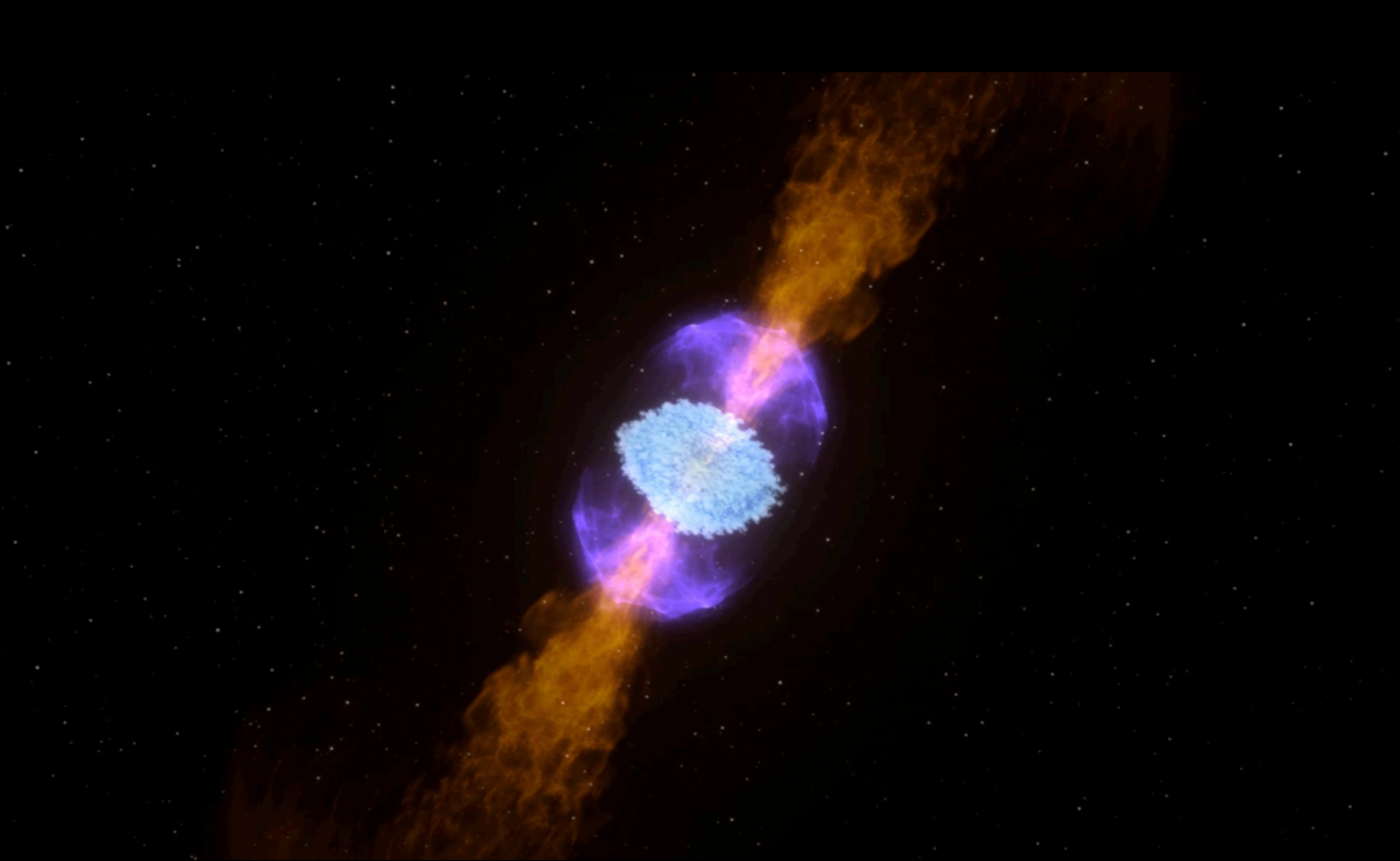


**CONFIDENTIEL JUSQU'À 16H**



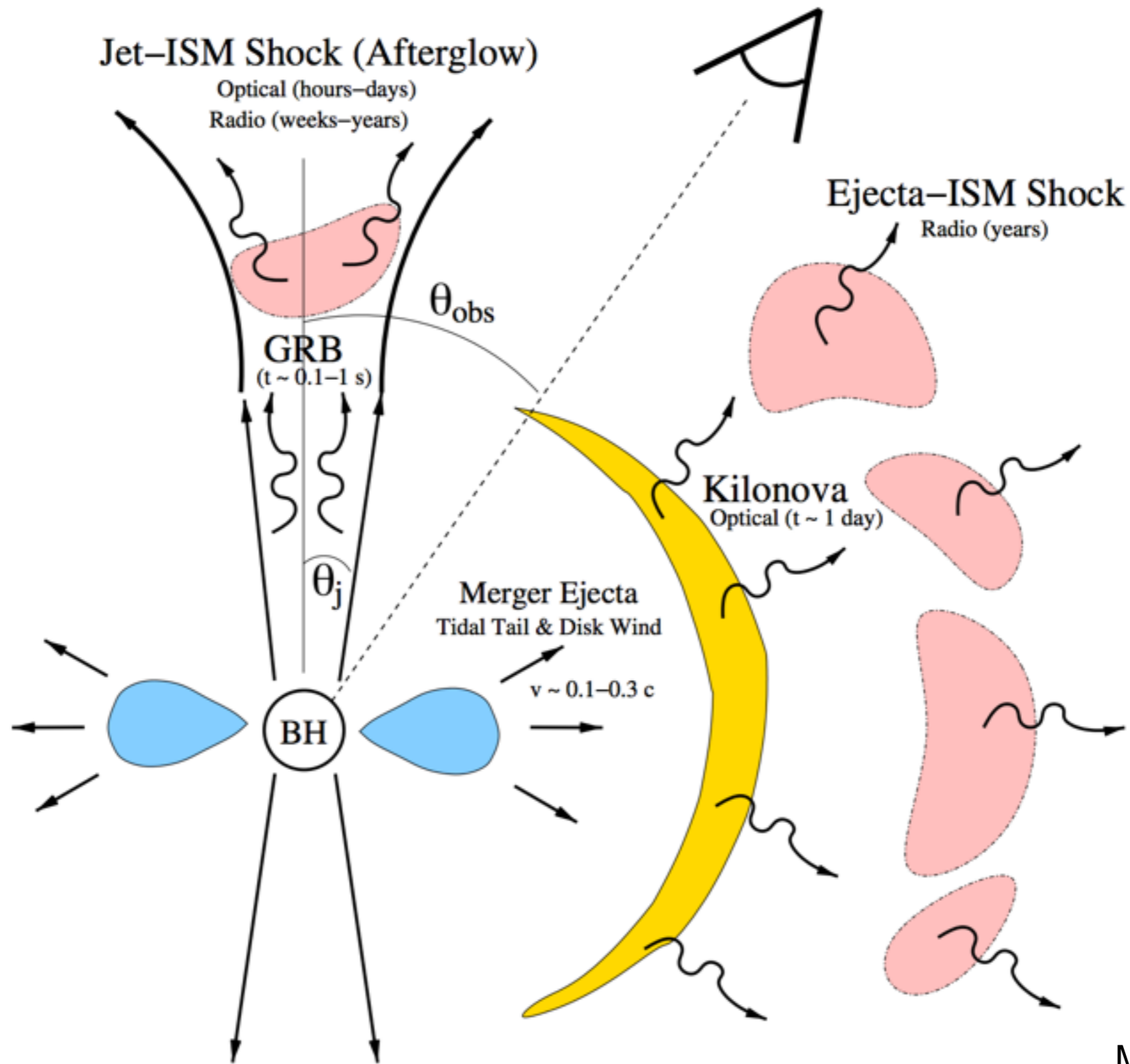


Animation: NASA's Goddard Space Flight Center



Animation: NASA's Goddard Space Flight Center

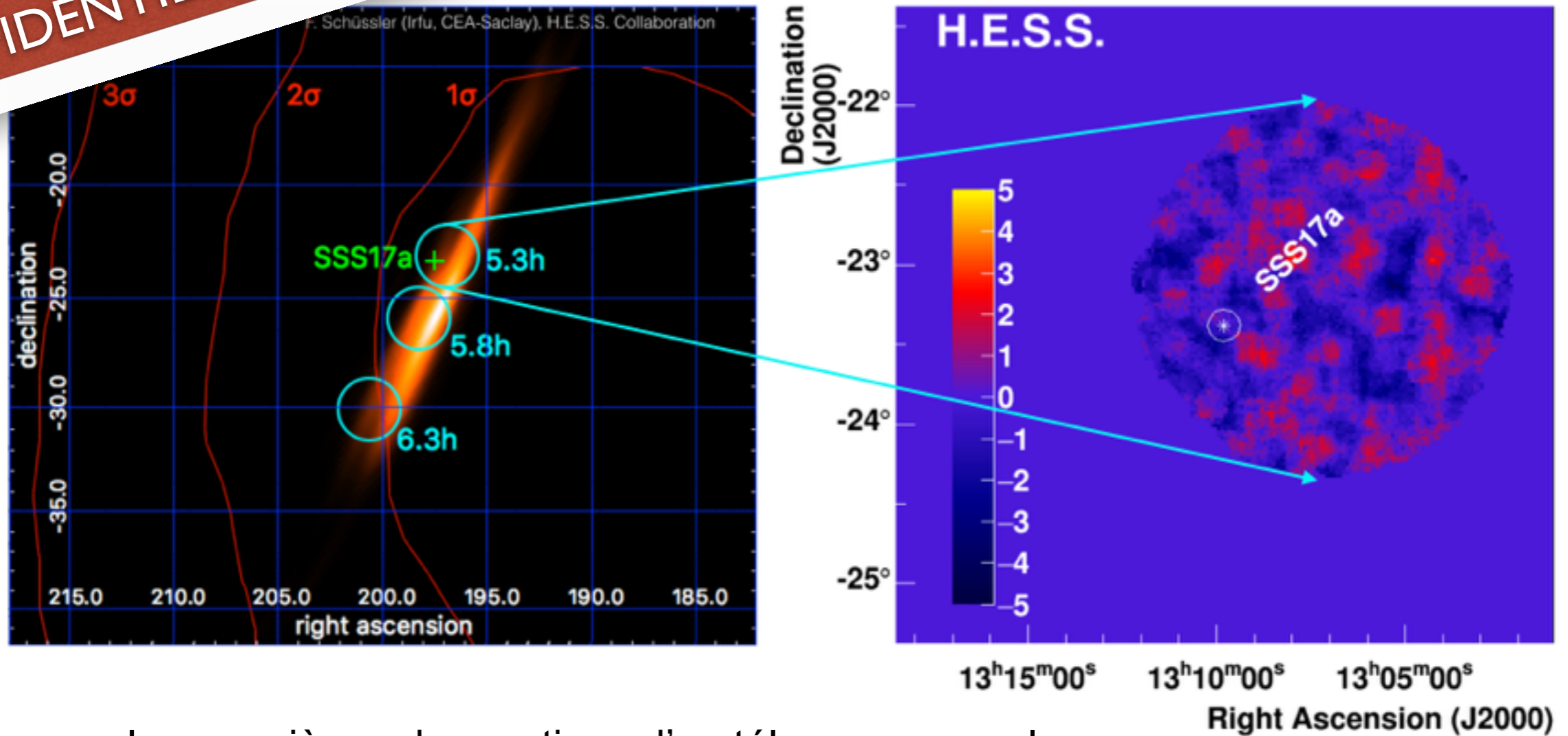
# Gravitational Waves: Multi-messenger connection



Metzger&Berger, 2012

**CONFIDENTIEL JUSQU'À 16H**

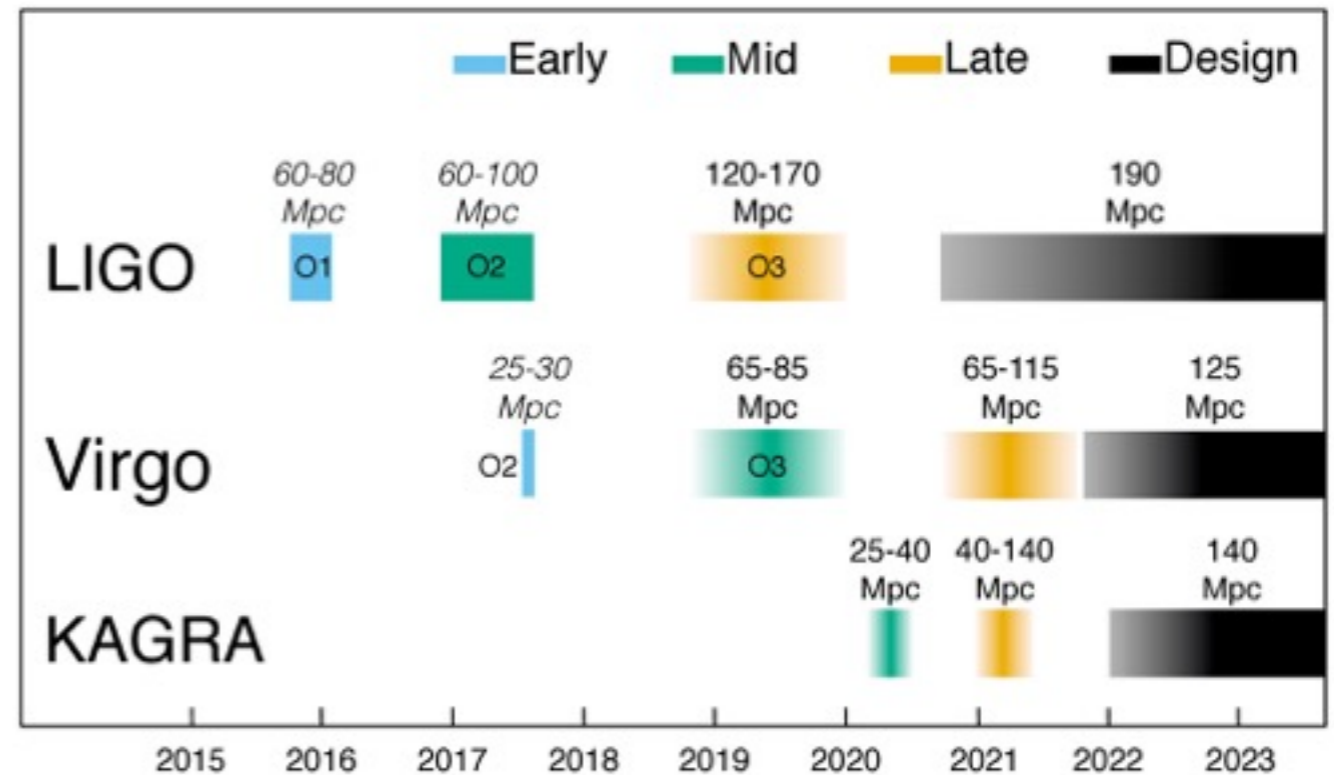
# Observations avec H.E.S.S.



- les premières observations d'un télescope au sol
  - 5.3 heures après l'arrivée de l'onde gravitationnelle
  - 5 minutes après l'annonce de l'analyse Ligo+Virgo (!!)
- campagne d'observations de plusieurs jours
  - meilleures limites sur l'émission non-thermique

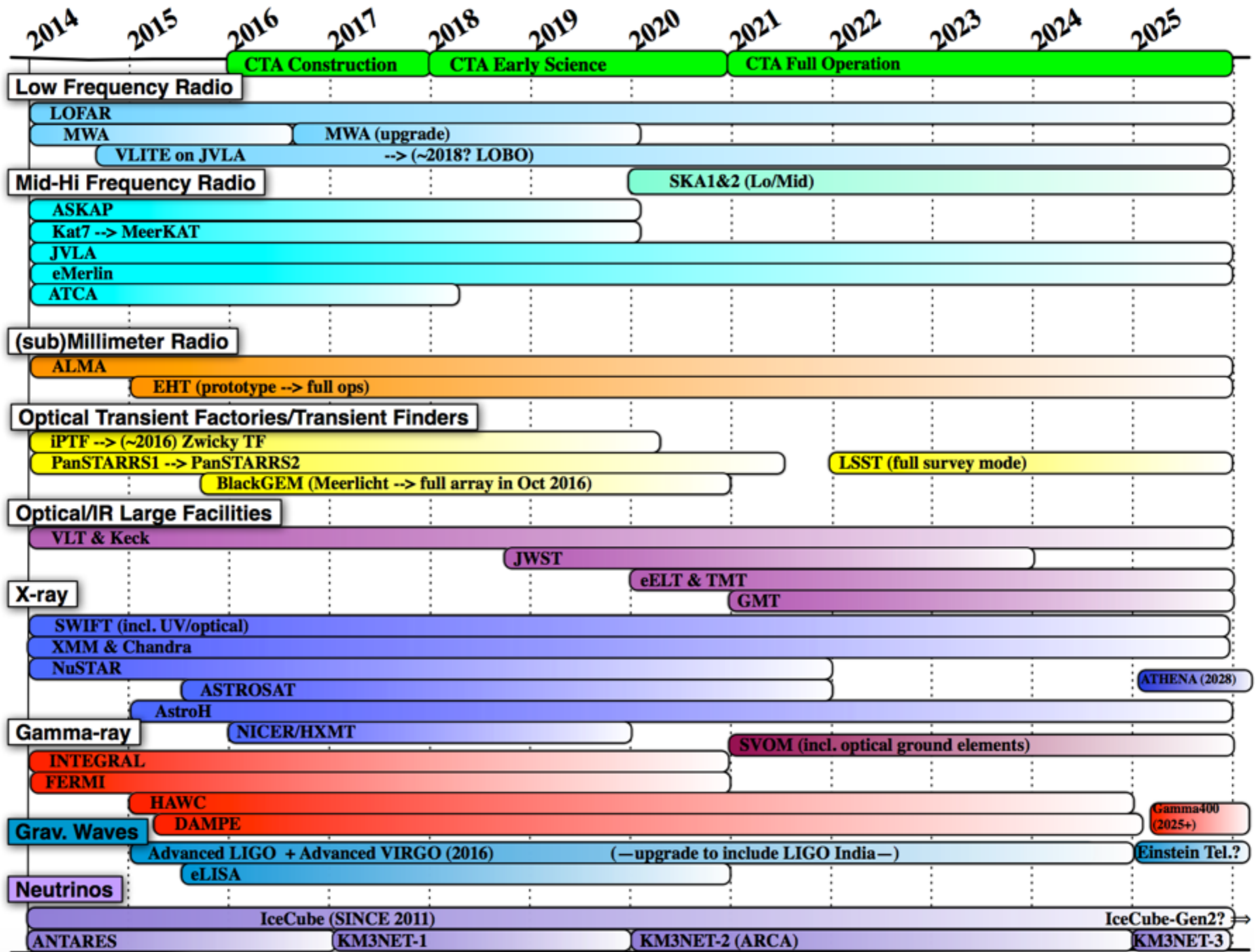
# Possibilités futures: ondes gravitationnelles

- nouvelle fenêtre vers l'univers
  - astrophysique
    - binaires de trous noirs
    - binaires d'étoiles à neutron
    - ...
  - physique fondamentale
    - relativité générale
    - invariance Lorentz
    - ...



Astrophysique multi-messenger:  
collaboration et analyses de données communes

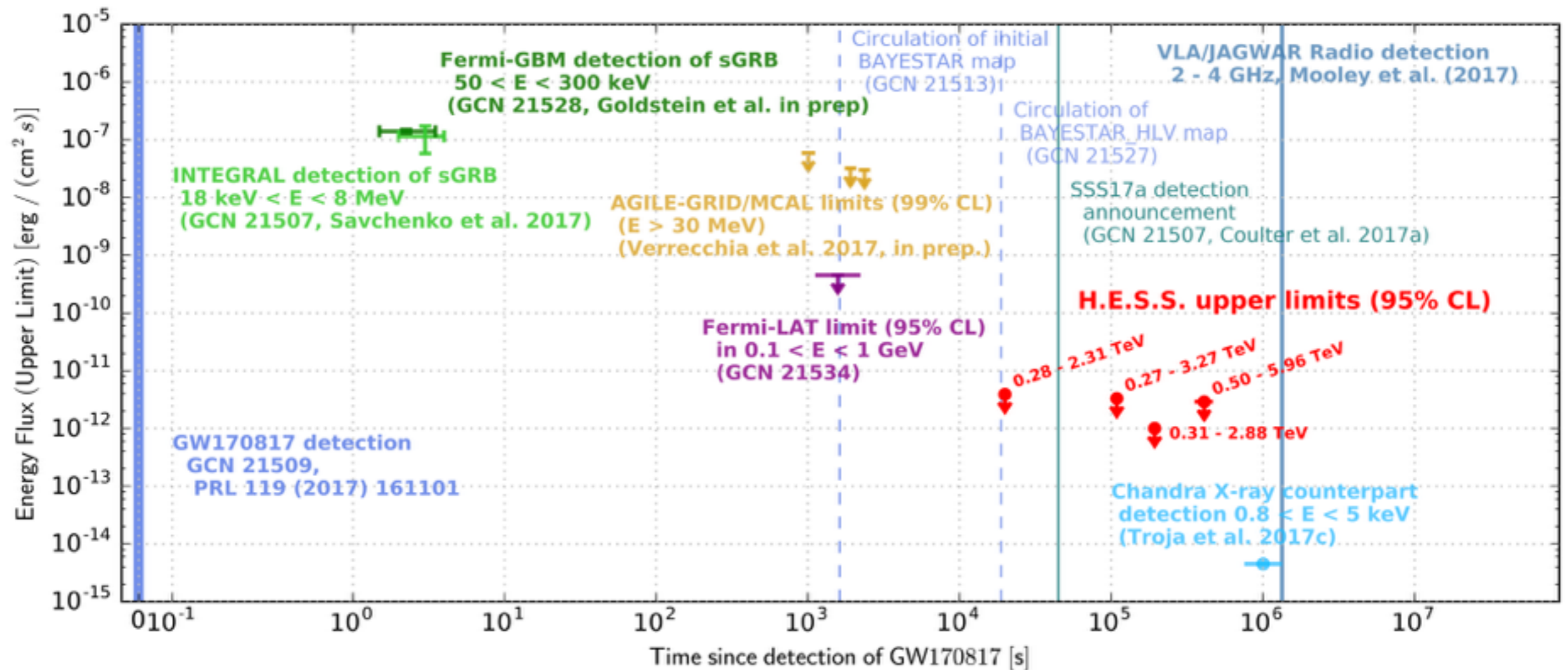
- LISA (horizon >2034)
  - trous noirs super-massifs
  - physique fondamentale (p.e. OG stochastiques issues des transitions de phase de premier ordre - i.e. electroweak ou provenant de physique au delà du modèle standard)



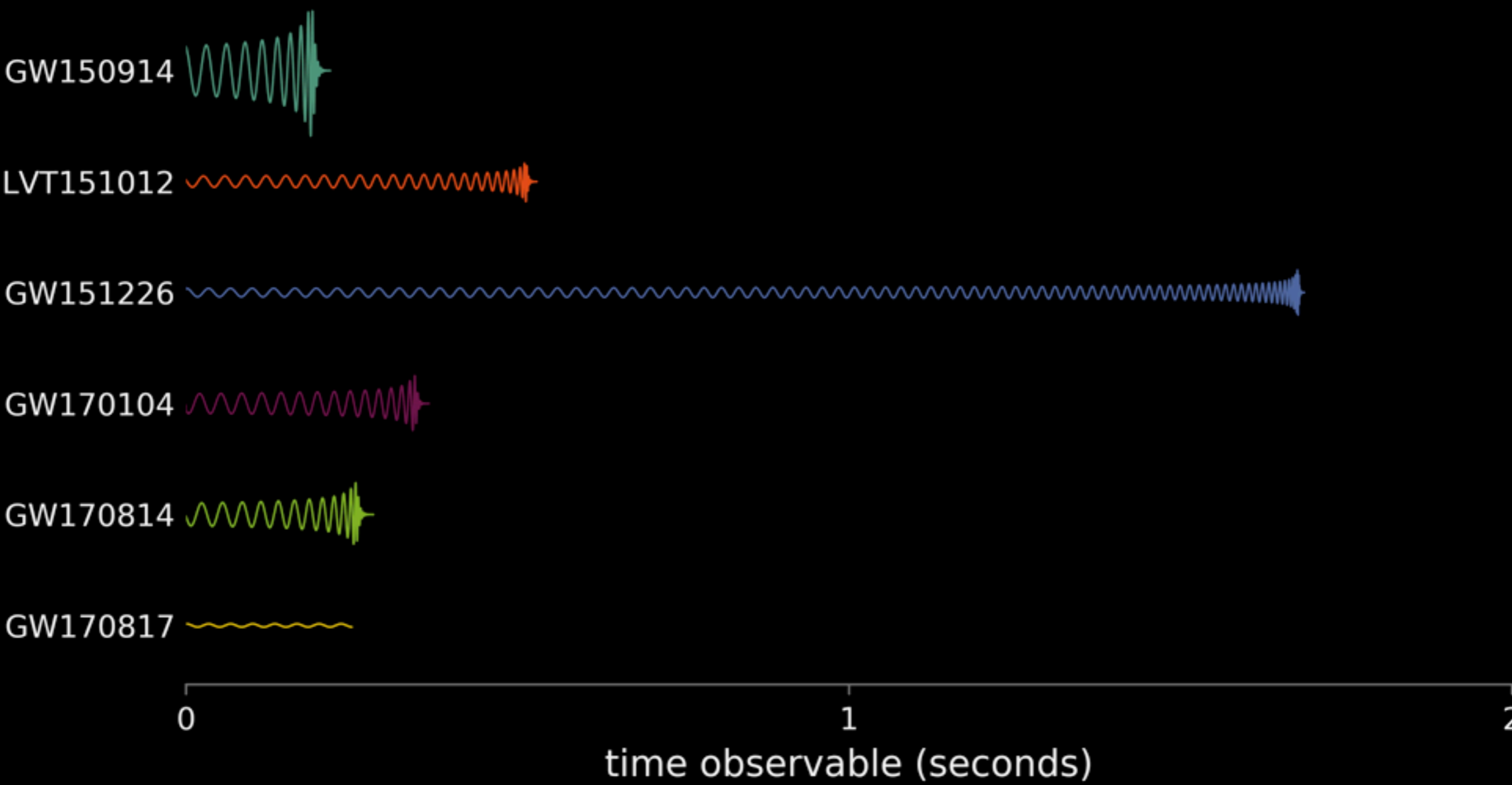


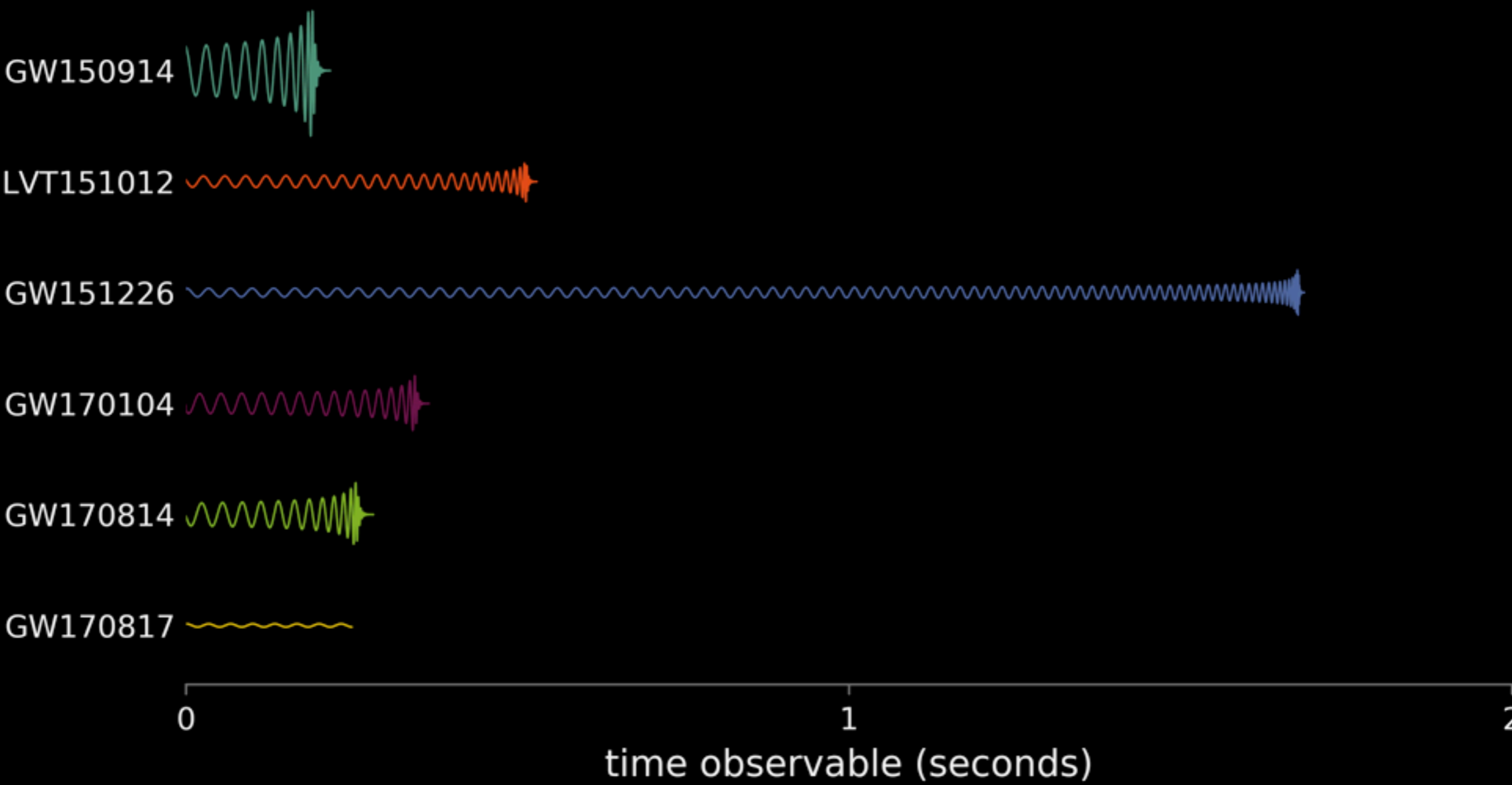


# Observations avec H.E.S.S.



- les premières observations d'un télescope au sol
  - 5.3 heures après l'arrivée de l'onde gravitationnelle
  - 5 minutes après l'annonce de l'analyse Ligo+Virgo (!!)
- campagne d'observations de plusieurs jours
  - meilleures limites sur l'émission non-thermique

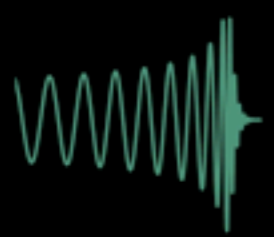




# Masses in the Stellar Graveyard

*in Solar Masses*

GW150914



LVT151012



GW151226



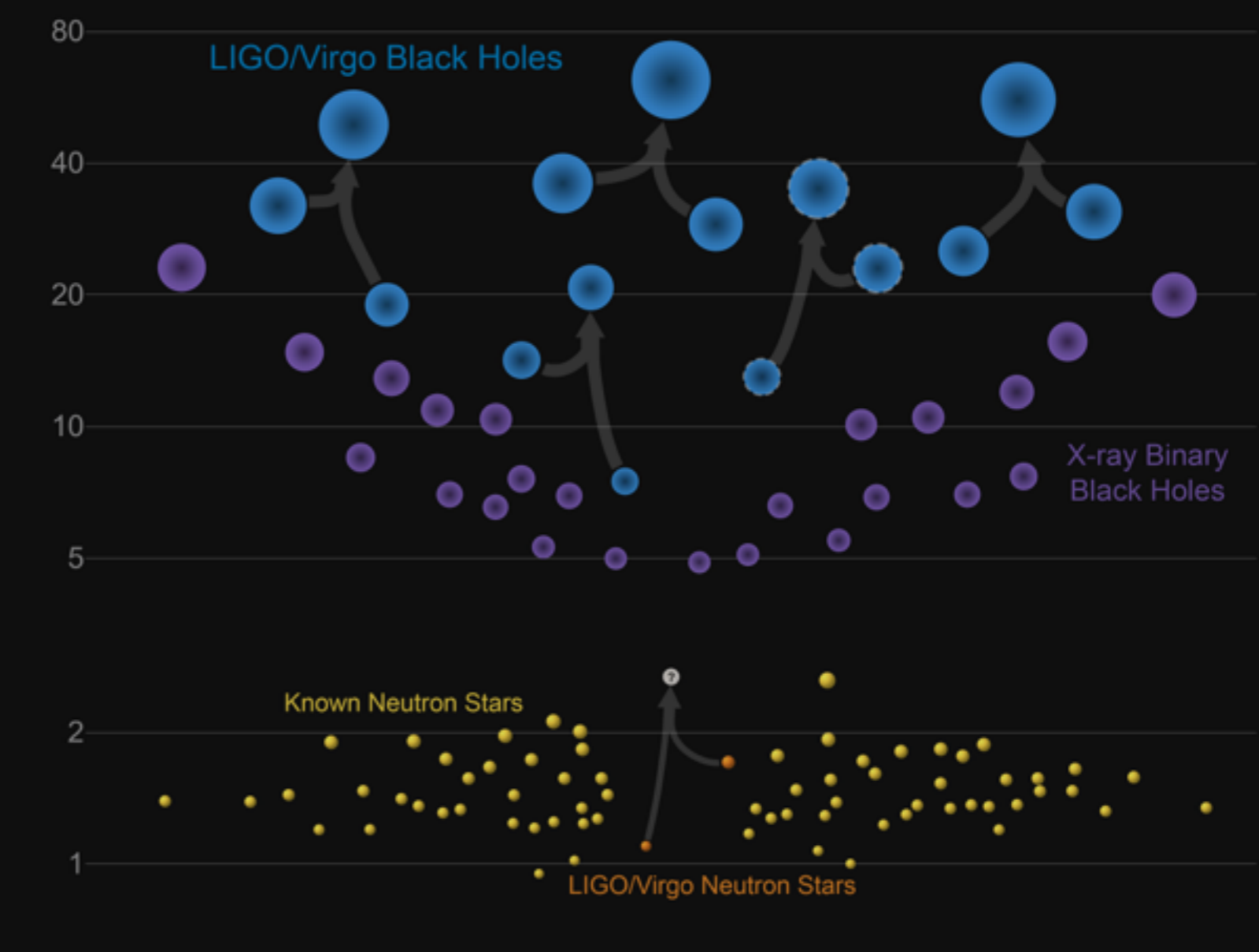
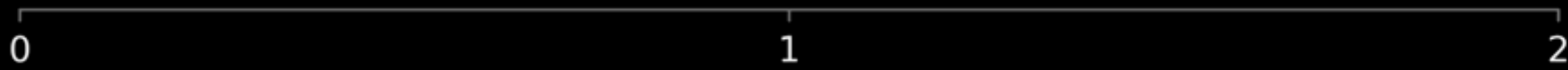
GW170104



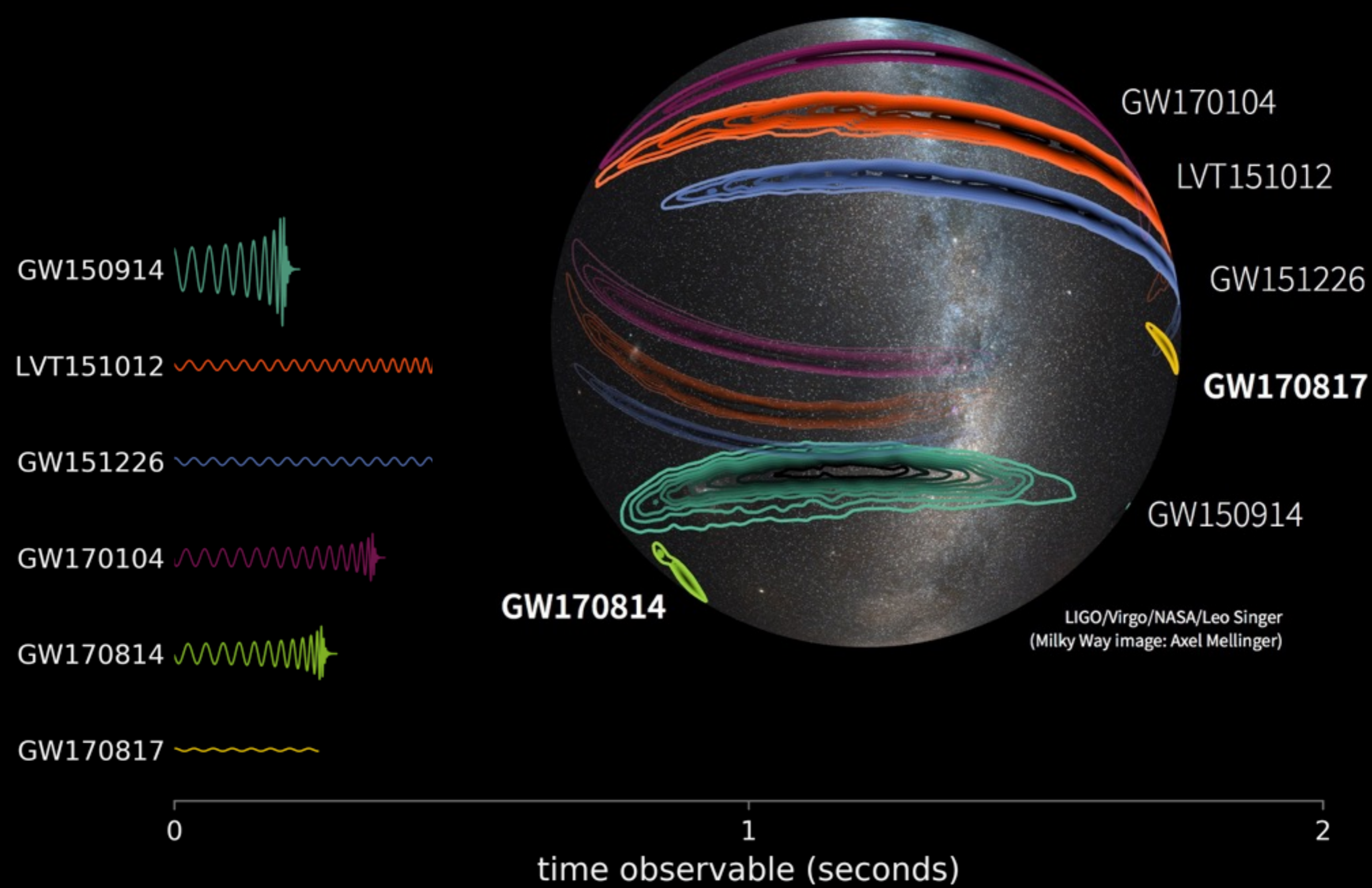
GW170814



GW170817

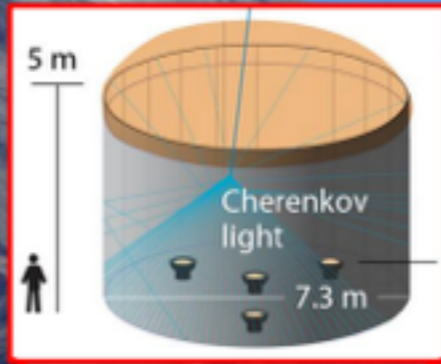


time observable (seconds)



# High Altitude Water Cherenkov Observatory (HAWC)

Citlaltepētli  
Pico de Orizaba  
5610m a.s.l.



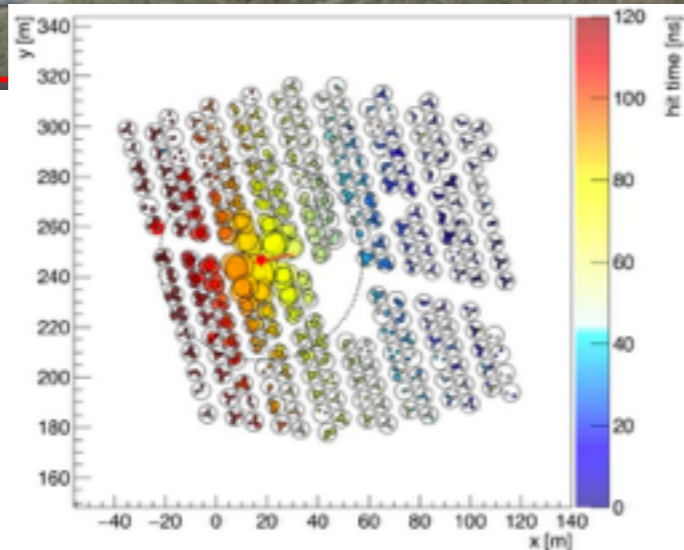
- 22,000 m<sup>2</sup> air shower array
- 300 Water Cherenkov detectors (WCD)
- 180,000 liters of purified water per WCD
- 4 PMTs per WCD (3x 8" from Milagro + 1x 10" high QE)
- Completed March 2015

Large  
Millimeter  
Telescope  
Alfonso Serrano

Tliltepētli  
Sierra Negra  
4582m a.s.l.

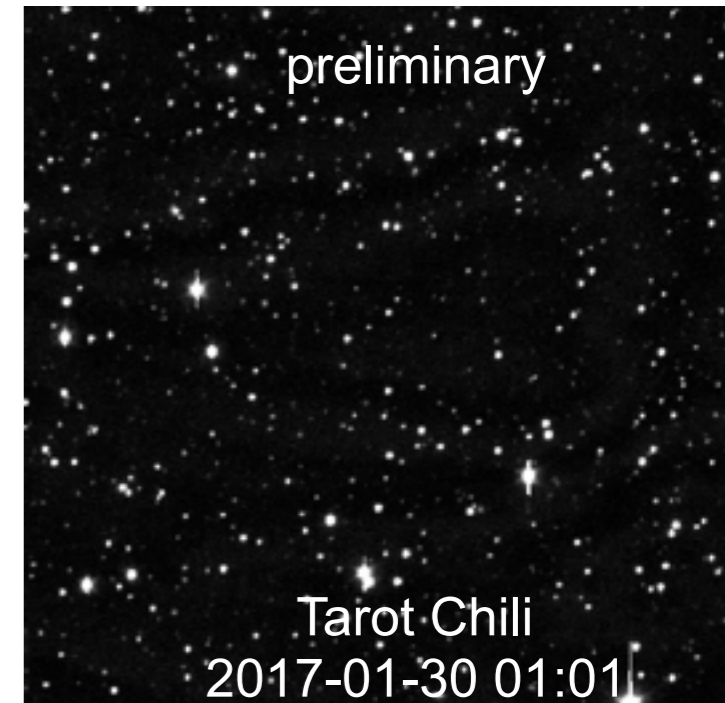
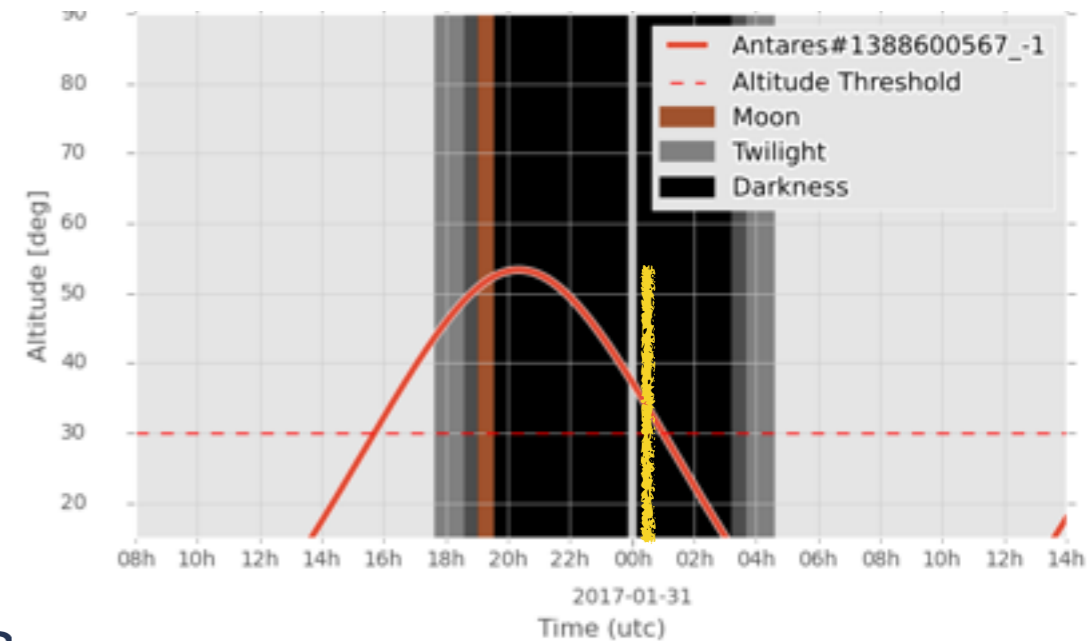
HAWC  
4100 m a.s.l.

R. Lauer (HAWC)



# H.E.S.S. observations of an ANTARES alert

- ANTARES high-energy event alert
  - prompt/automatic reaction via VoAlerter following GRB scheme
    - Neutrino detection: 2017-01-30 00:39:12
    - VoEvent notice: 2017-01-30 00:39:25
    - HESS observations: 2017-01-30 00:39:44
- preliminary H.E.S.S. data analysis
  - no significant gamma-ray emission
- alert also followed by robotic optical telescopes
  - e.g.: TAROT at La Silla



D. Dornic et al., PoS(ICRC2017)985  
FS et al. PoS(ICRC2017)653

