

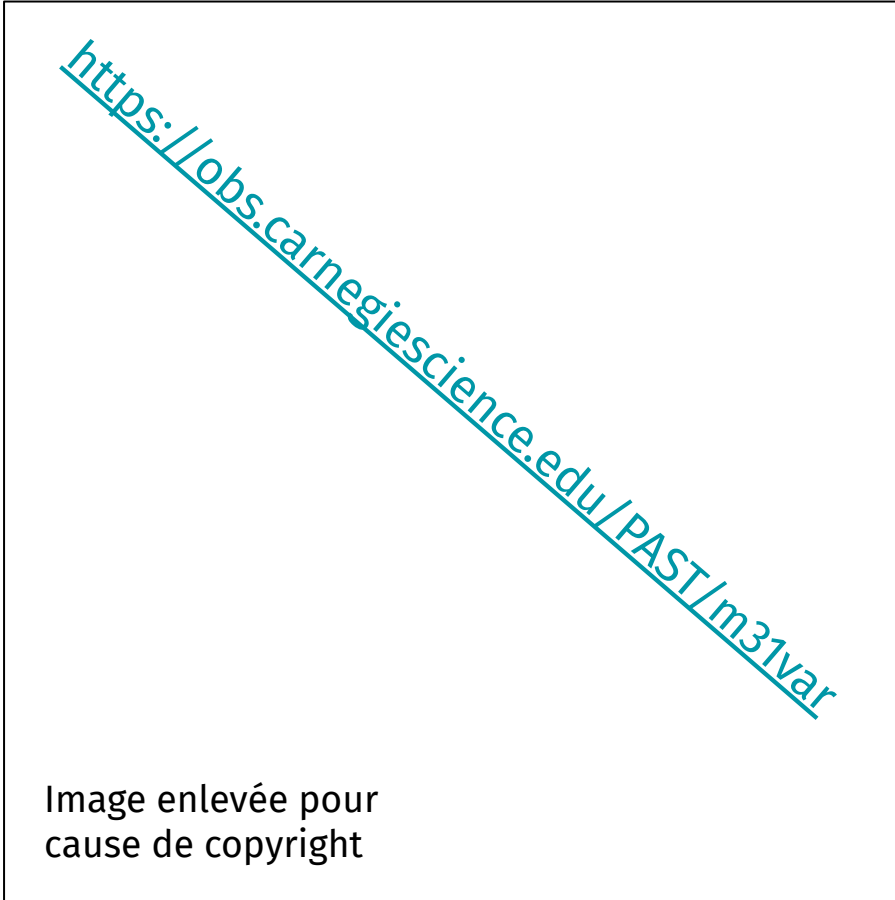
# L'astronomie du 21ème siècle

Godefroy Vannoye – Fort Napoléon – 7 octobre 2023

---



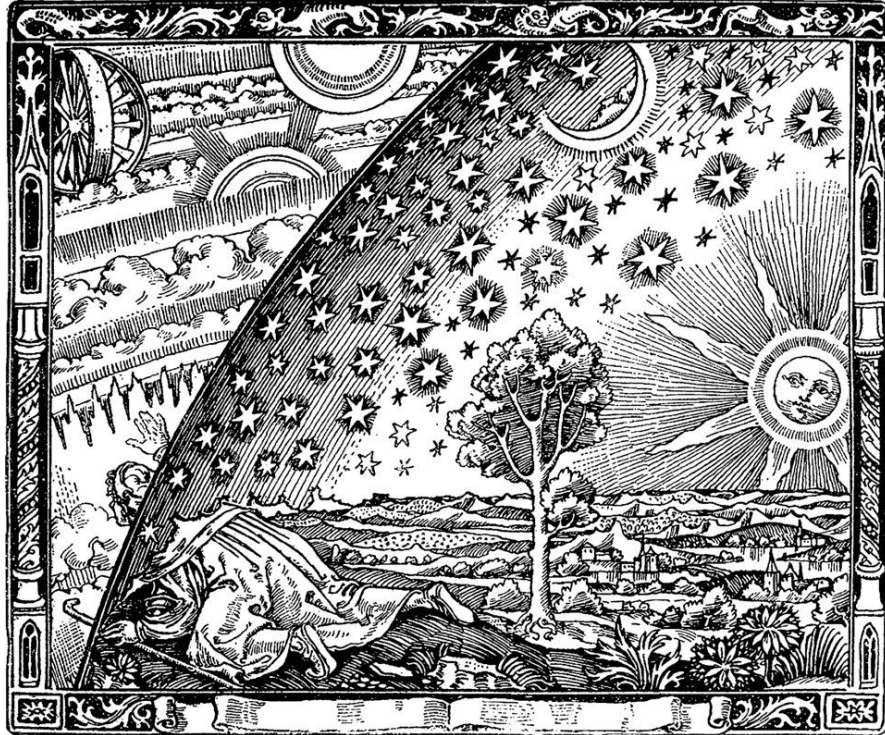
6 octobre 1923



Découverte d'une  
étoile variable  
céphéide dans la  
galaxie d'Andromède  
par Edwin Hubble

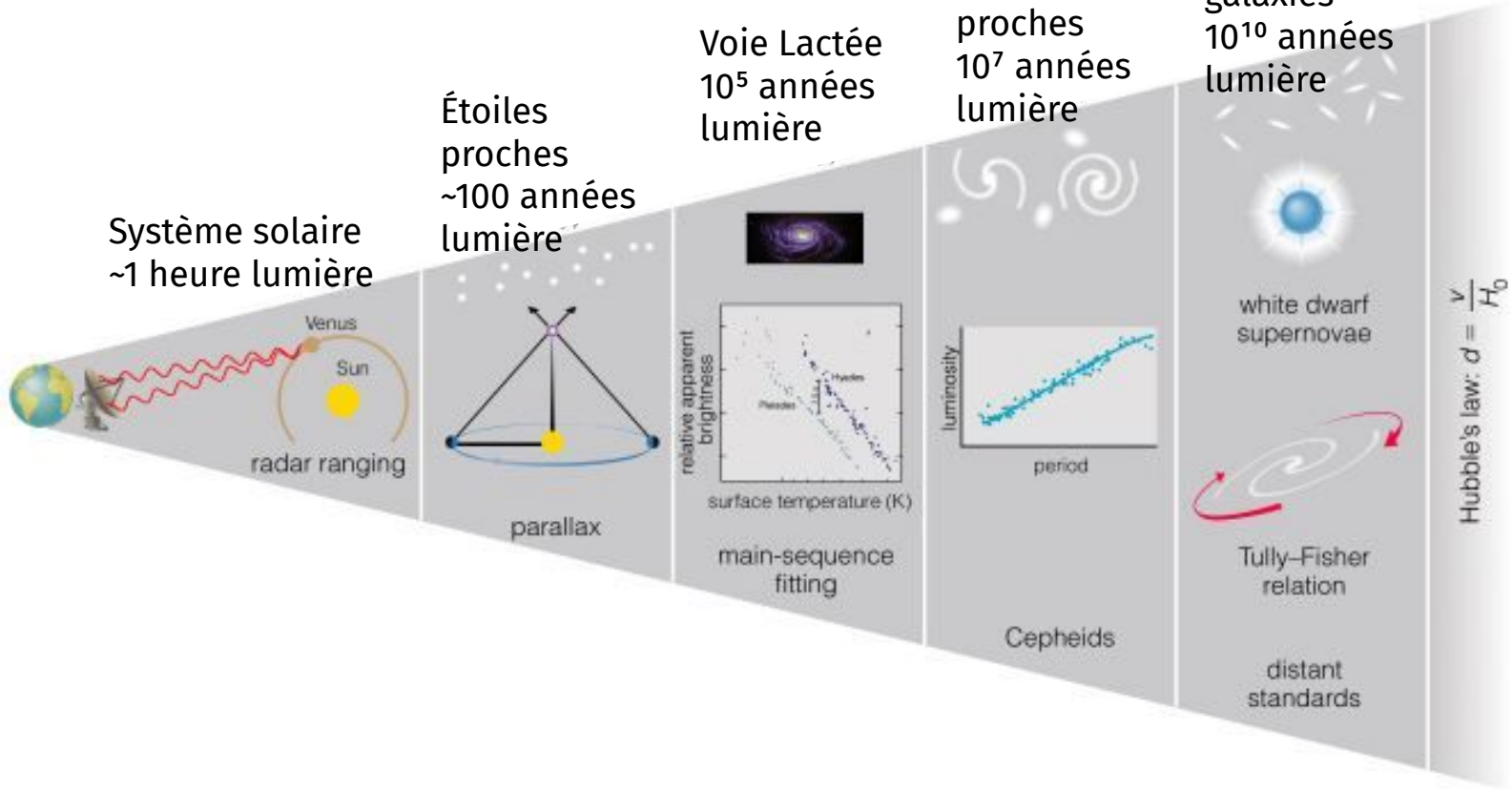
# Quelques bases en astronomie

Astronomie : science de l'observation du ciel afin d'expliquer les objets qui le composent



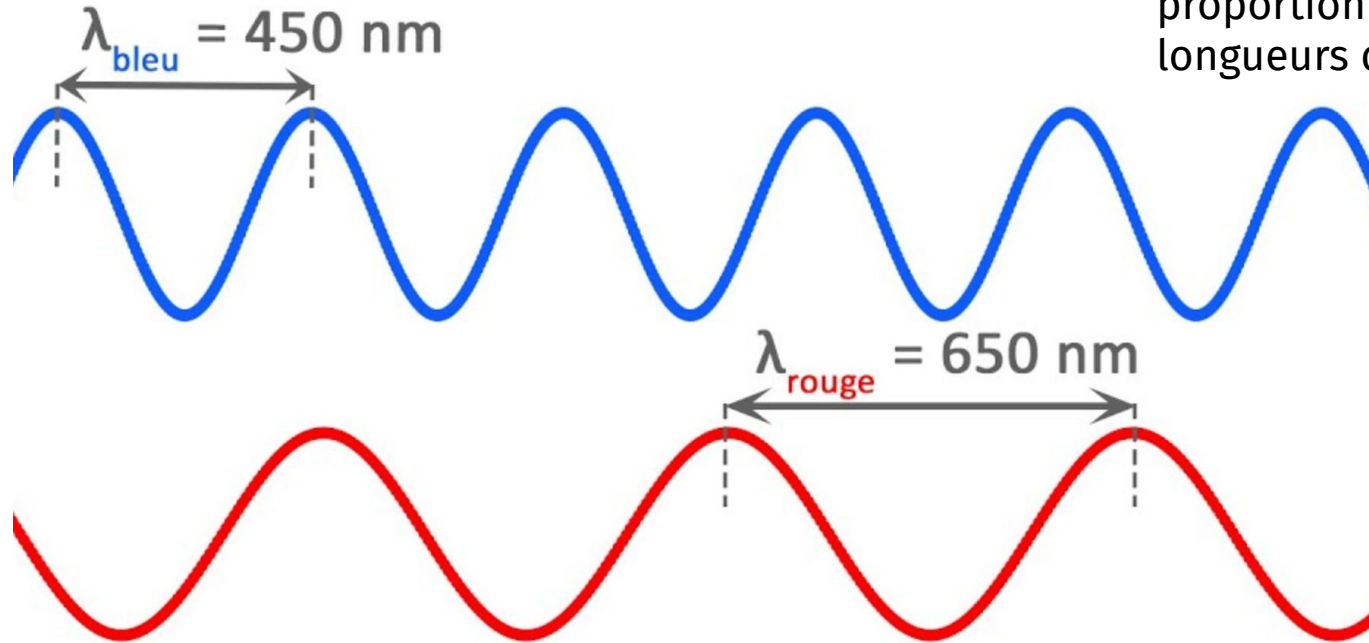
# Quelques bases en astronomie

## Ordres de grandeurs de distance



# Quelques bases en astronomie

## Notion de longueur d'onde de la lumière

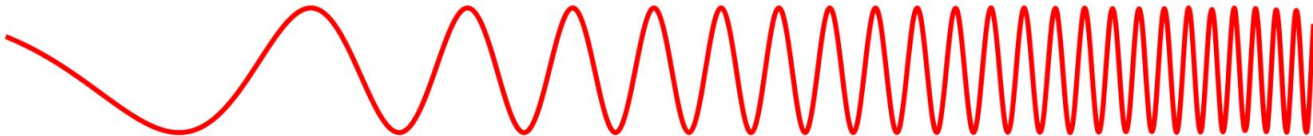


Energie des photons  
proportionnelle aux  
longueurs d'ondes

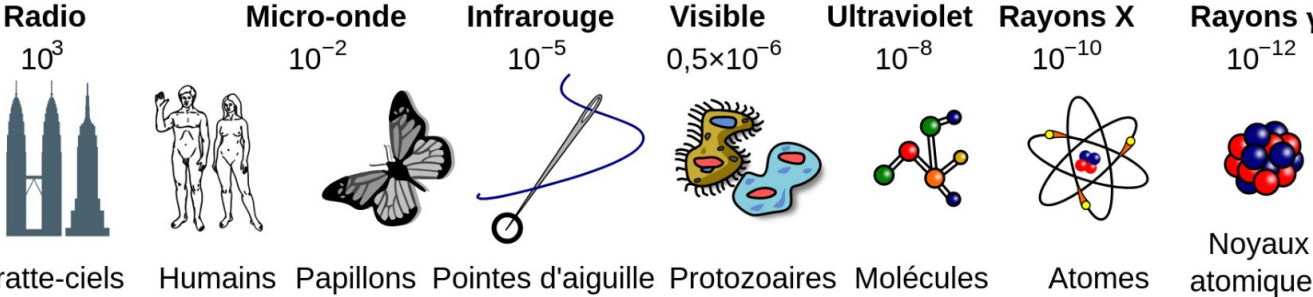
# Quelques bases en astronomie

## Notion de longueur d'onde de la lumière

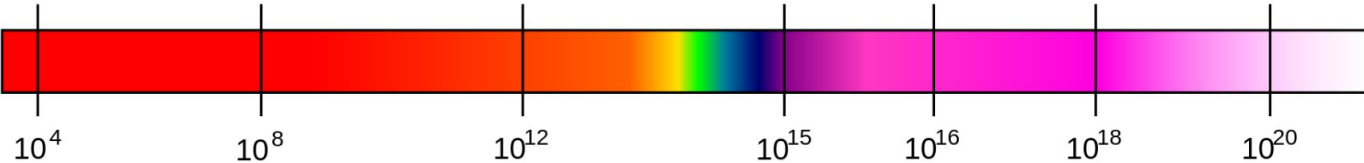
Traverse l'atmosphère terrestre ?



Type de rayonnement  
Longueur d'onde (m)  
Échelle approximative



Fréquence (Hz)



# Quelques bases en astronomie

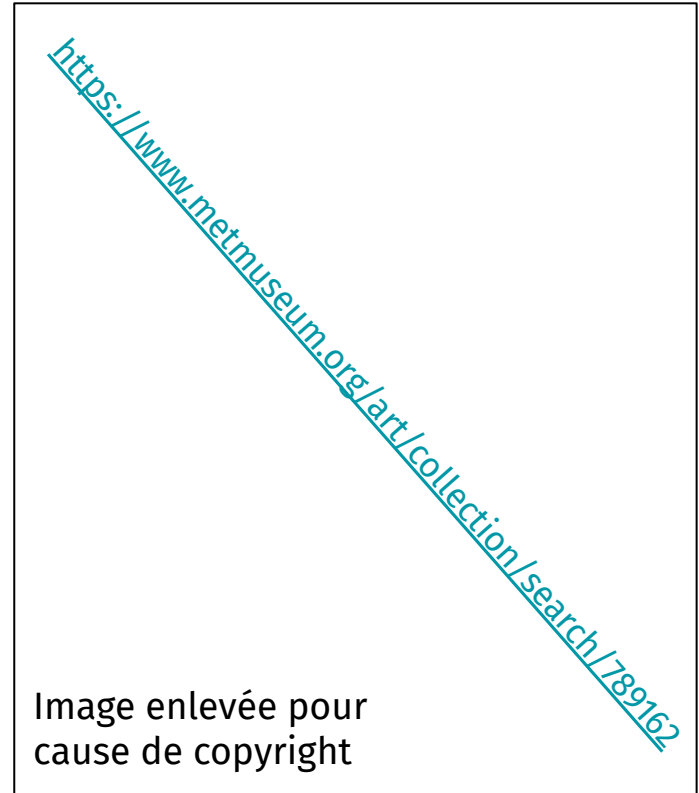
## Les instruments



# Rapide histoire

1840 : première photographie astronomique d'un objet céleste par John William Draper

Fin du 19ème siècle : milliers de photographies longues exposition de planètes, étoiles et galaxies

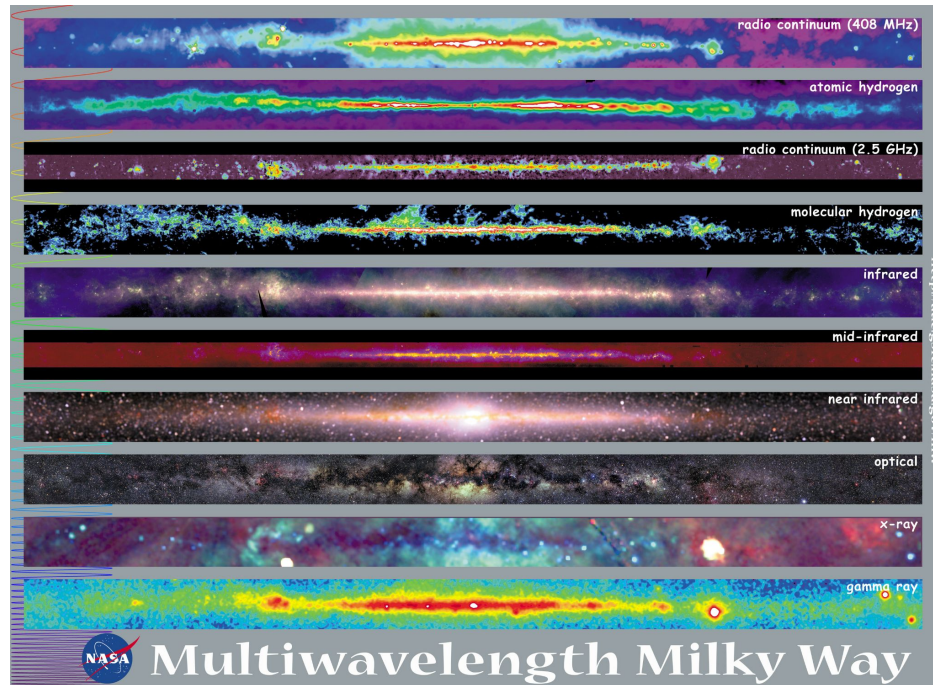




# Rapide histoire

Fin du 19ème siècle : Découverte de la lumière invisible à l'œil

20ème siècle : Astronomie multi-longueur d'onde



# Rapide histoire

19ème et 20ème siècle : Utilisation de la spectroscopie pour la composition et la distance

Source de lumière  
blanche



Dispositif  
spectroscopique



Spectre continu



Raies brillantes en émission



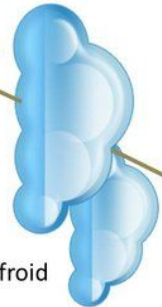
Raies sombres en absorption



Étoile (gaz chaud)

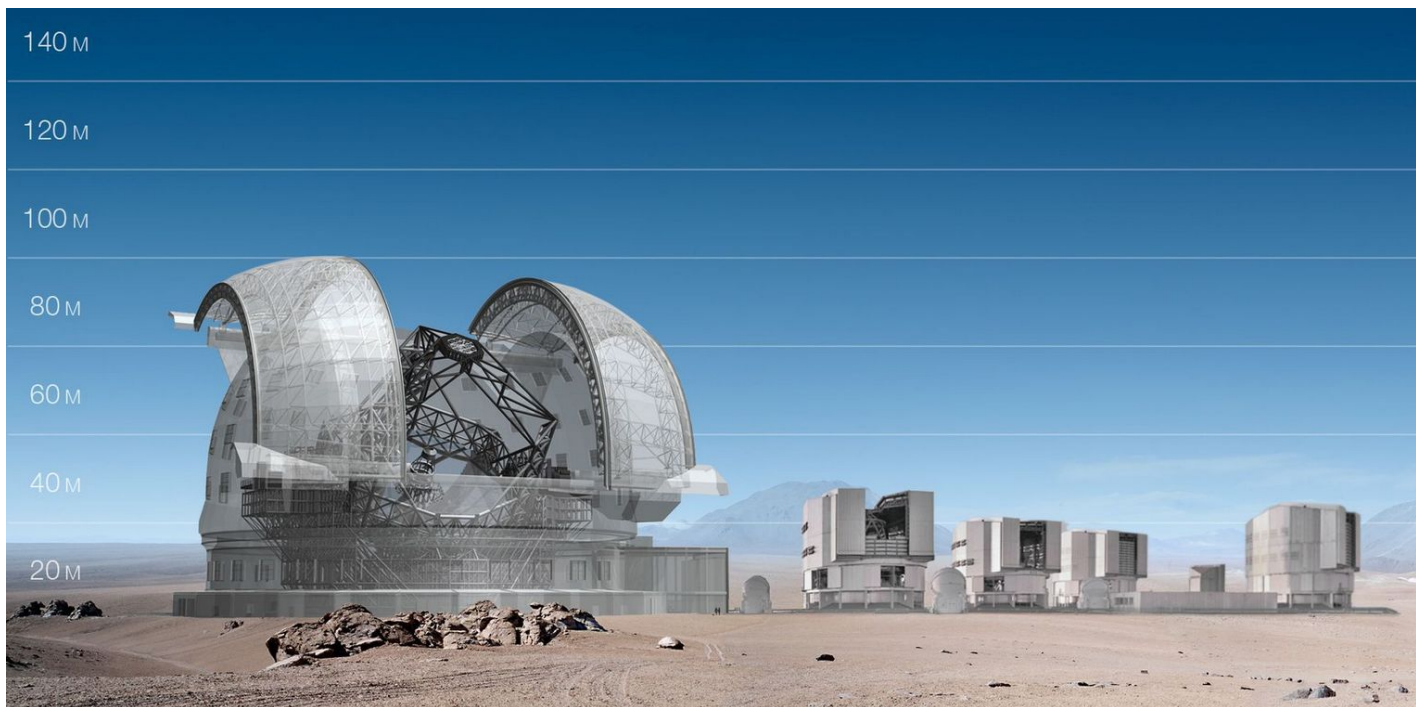


Gaz froid



# Qu'est-ce qui caractérise l'astronomie du 21ème siècle ?

## Projets de plus en plus ambitieux et collaborations internationales

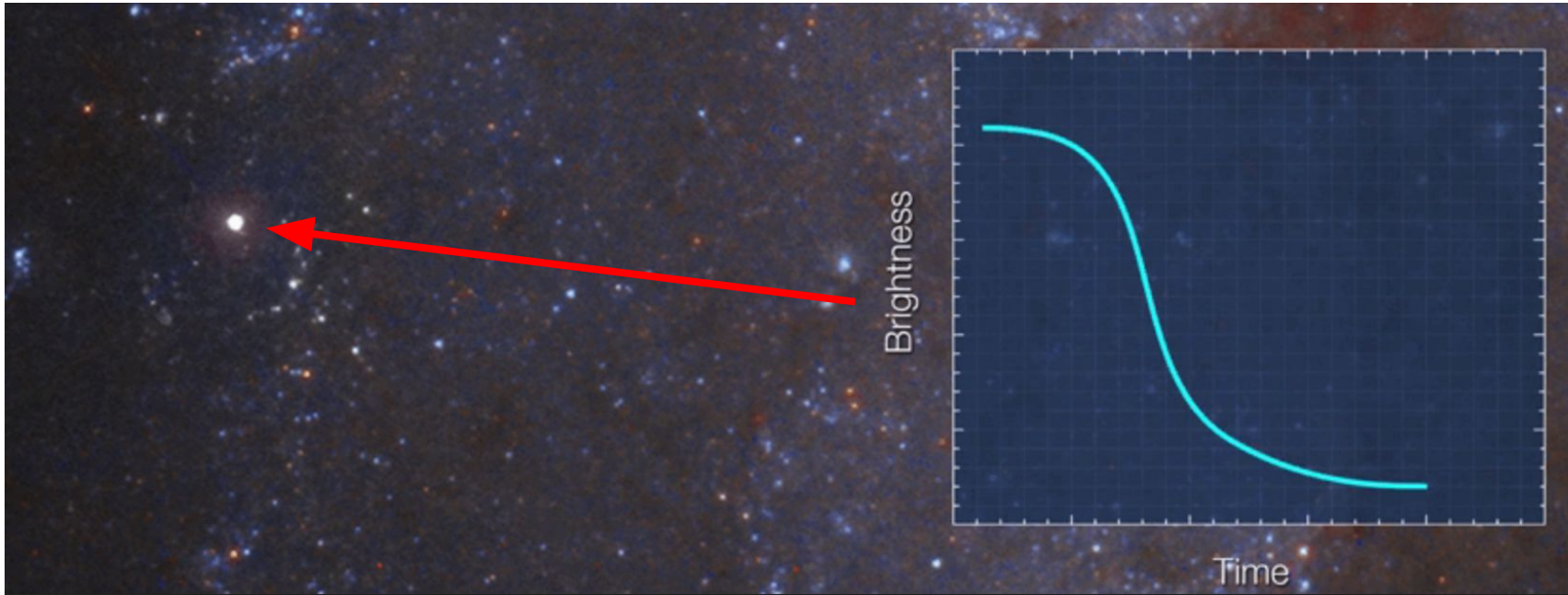


Télescope géant  
européen et Très  
Grand Télescope

# Qu'est-ce qui caractérise l'astronomie du 21ème siècle ?

Projets de plus en plus ambitieux et collaborations internationales

## **Généralisation de l'astronomie des phénomènes transitoires**

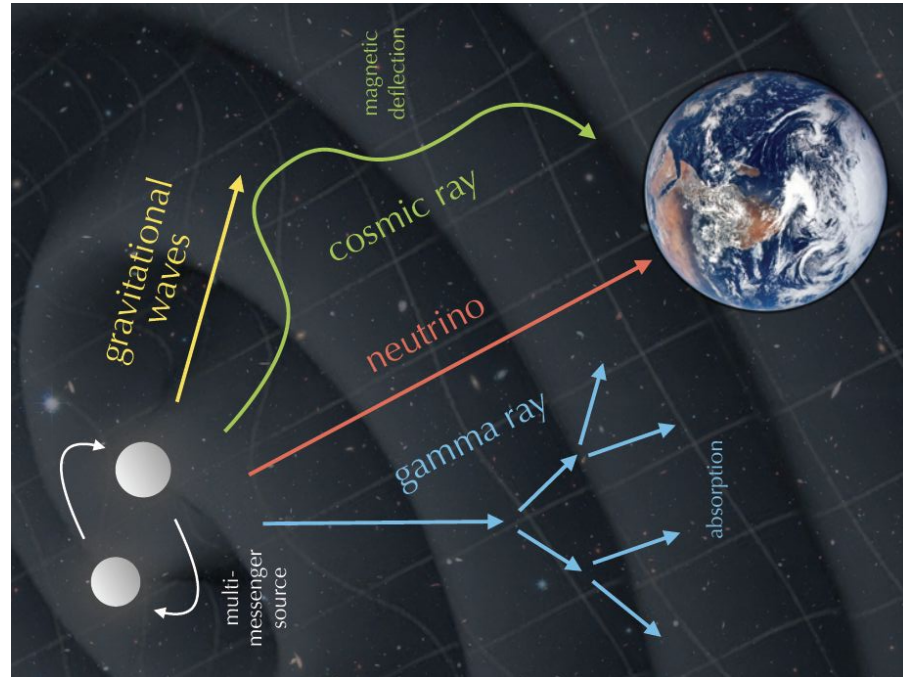


# Qu'est-ce qui caractérise l'astronomie du 21ème siècle ?

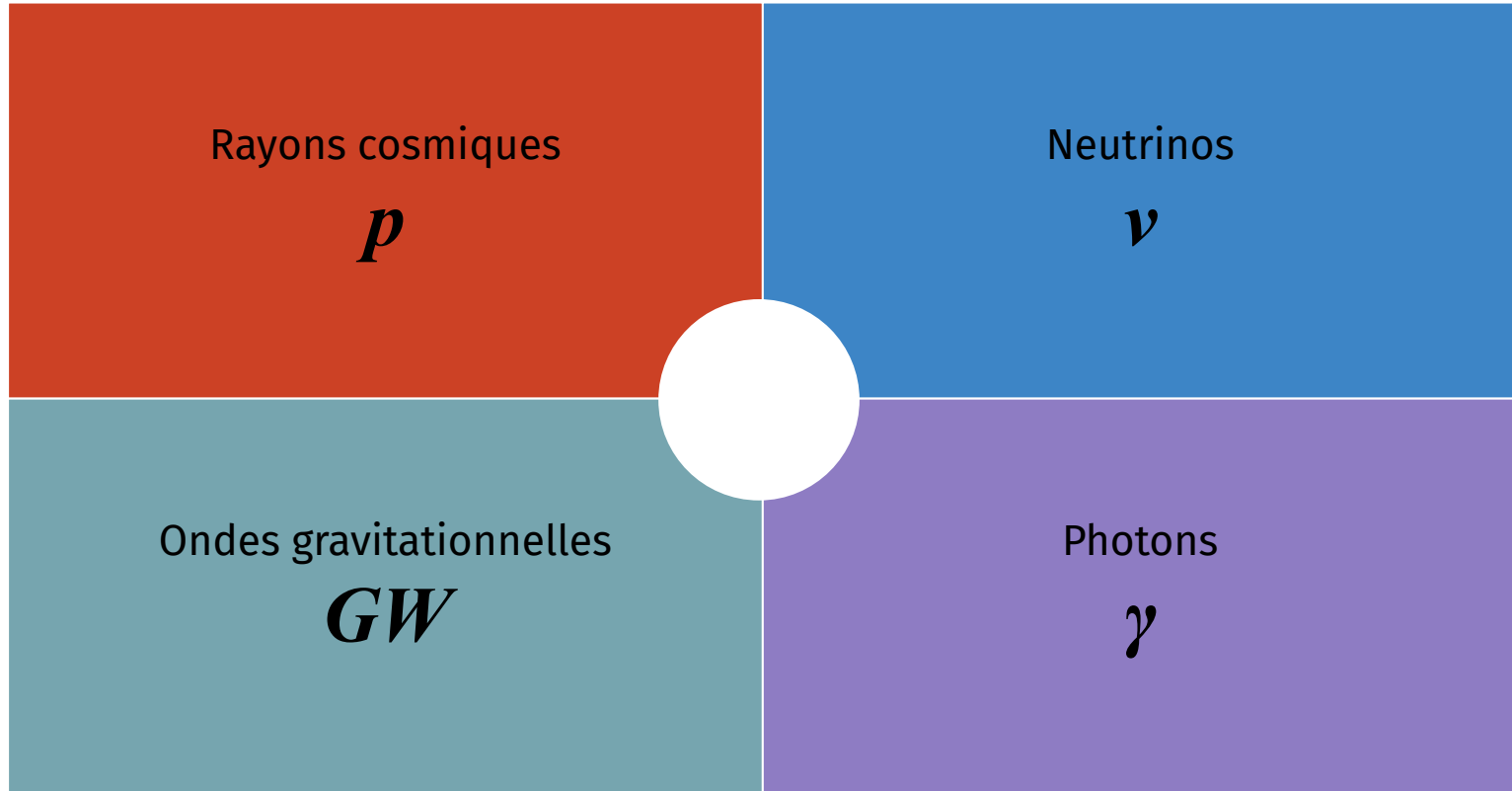
Projets de plus en plus ambitieux et collaborations internationales

Généralisation de l'astronomie des phénomènes transitoires

**Utilisation d'autres  
messagers que la lumière**



# Les différents messagers de l'Univers



# Les neutrinos

Particules neutres, traversent la matière

→ sondent le cœur de la matière



# Détecter les neutrinos

---

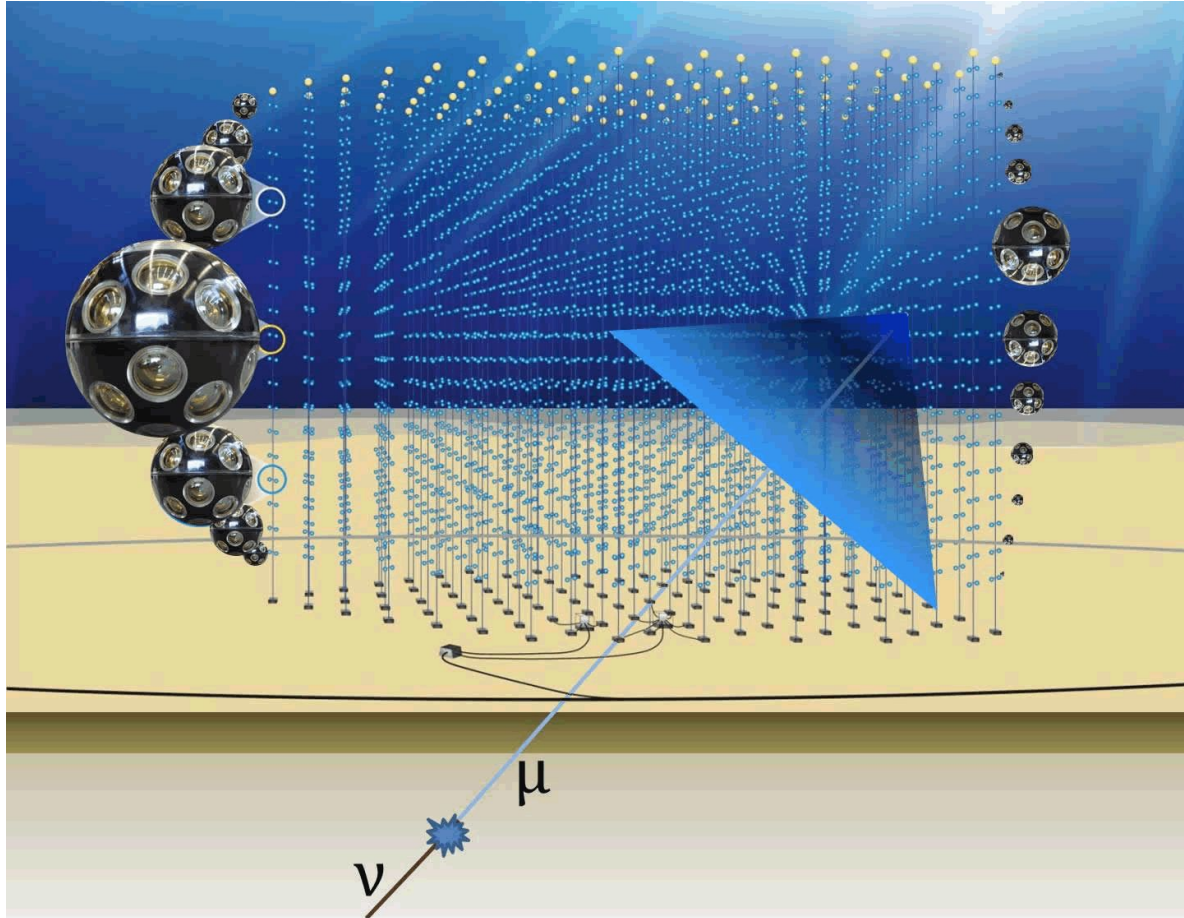


# Détecter les neutrinos

---

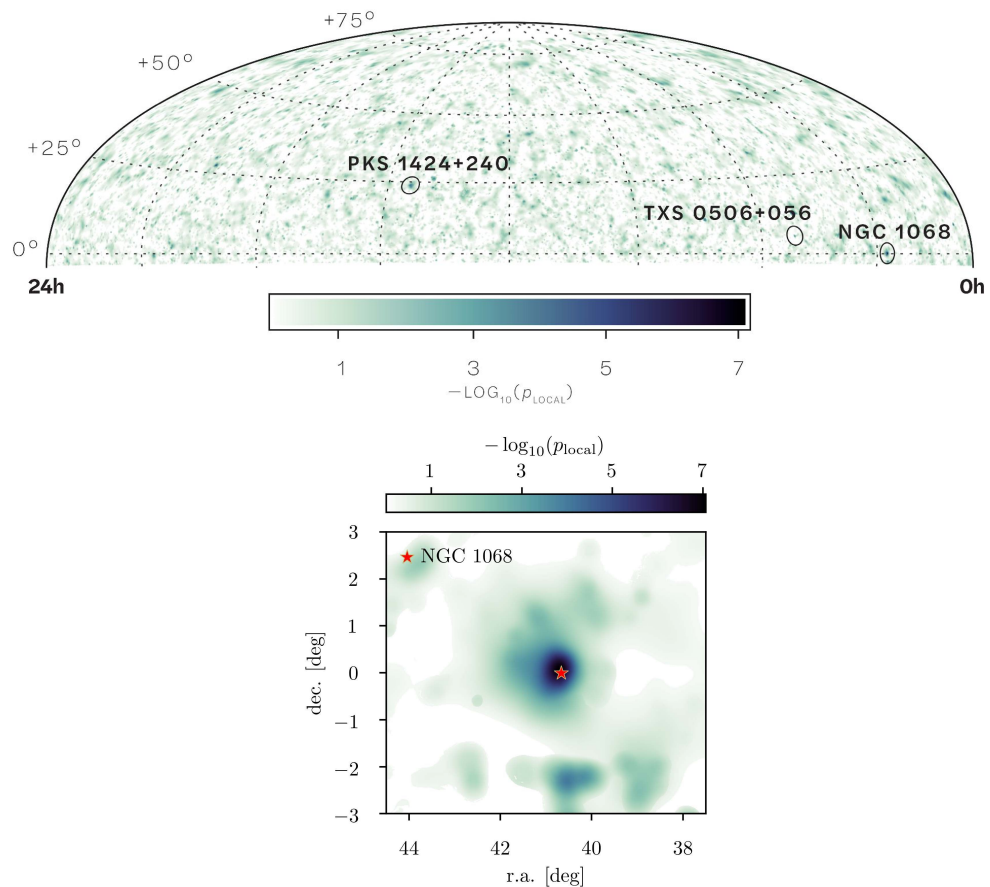
**Vous avez deux heures**

# Détecter les neutrinos

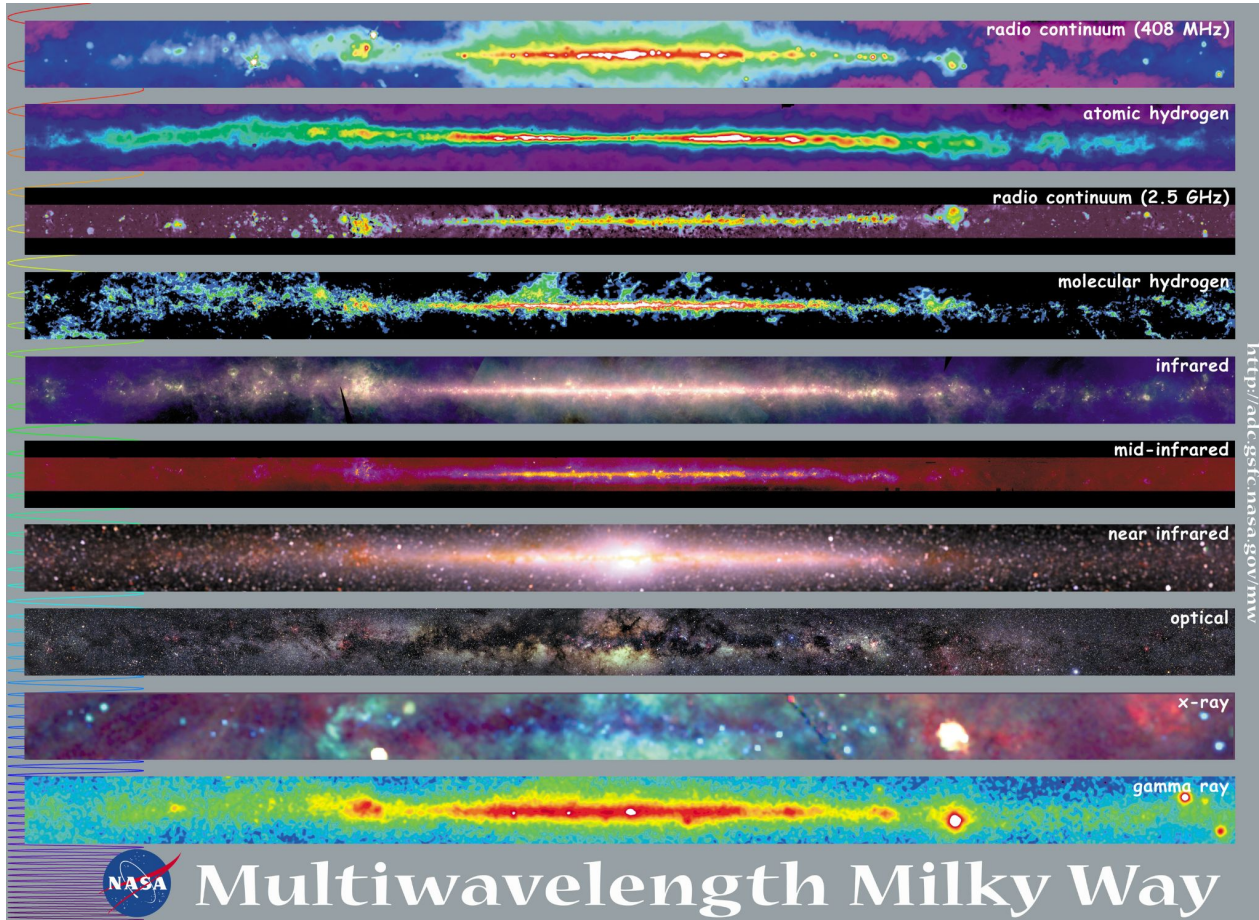


# NGC 1068 / Messier 77

80 neutrinos détectés entre  
2011 et 2022 par IceCube  
(publication 2022)

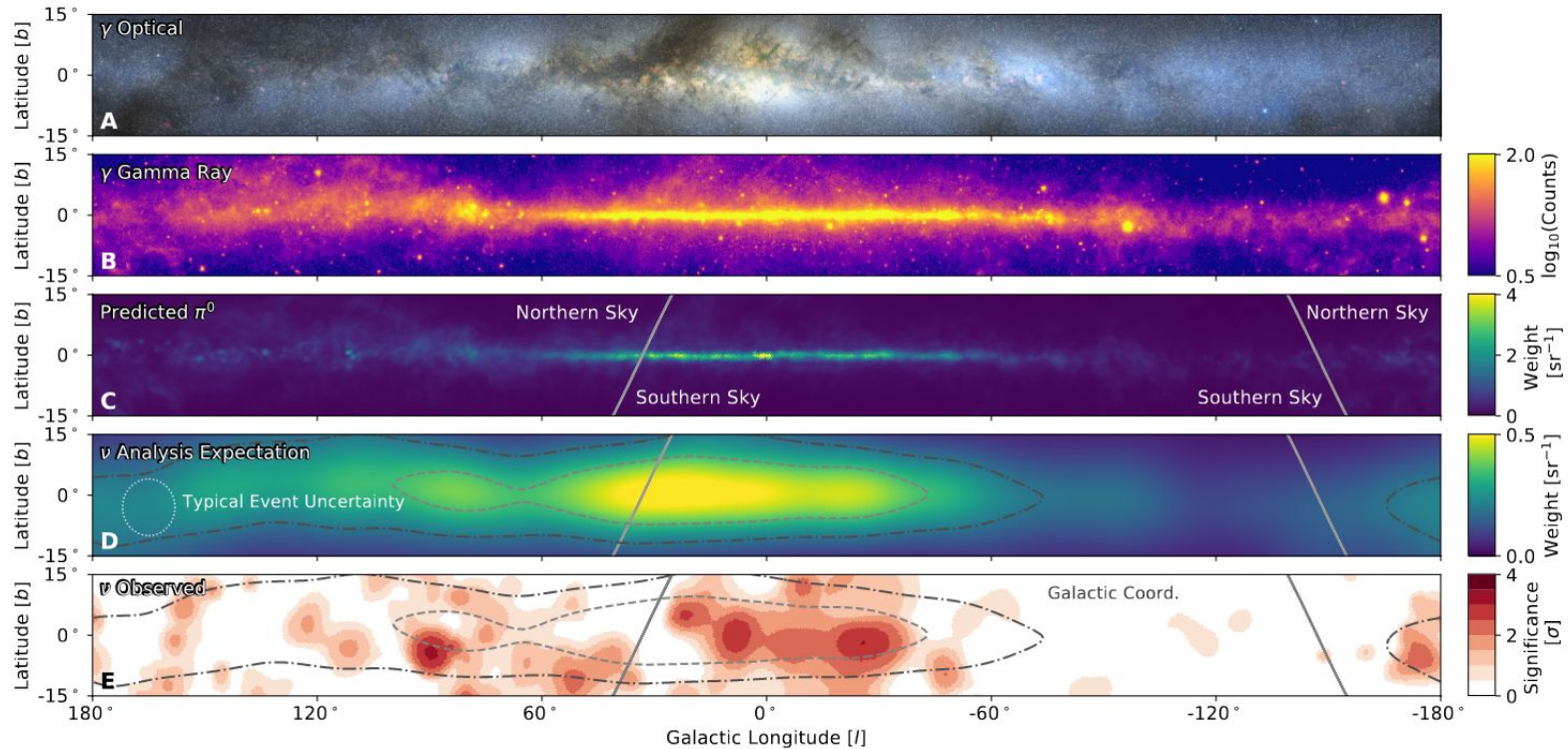


# Plan galactique



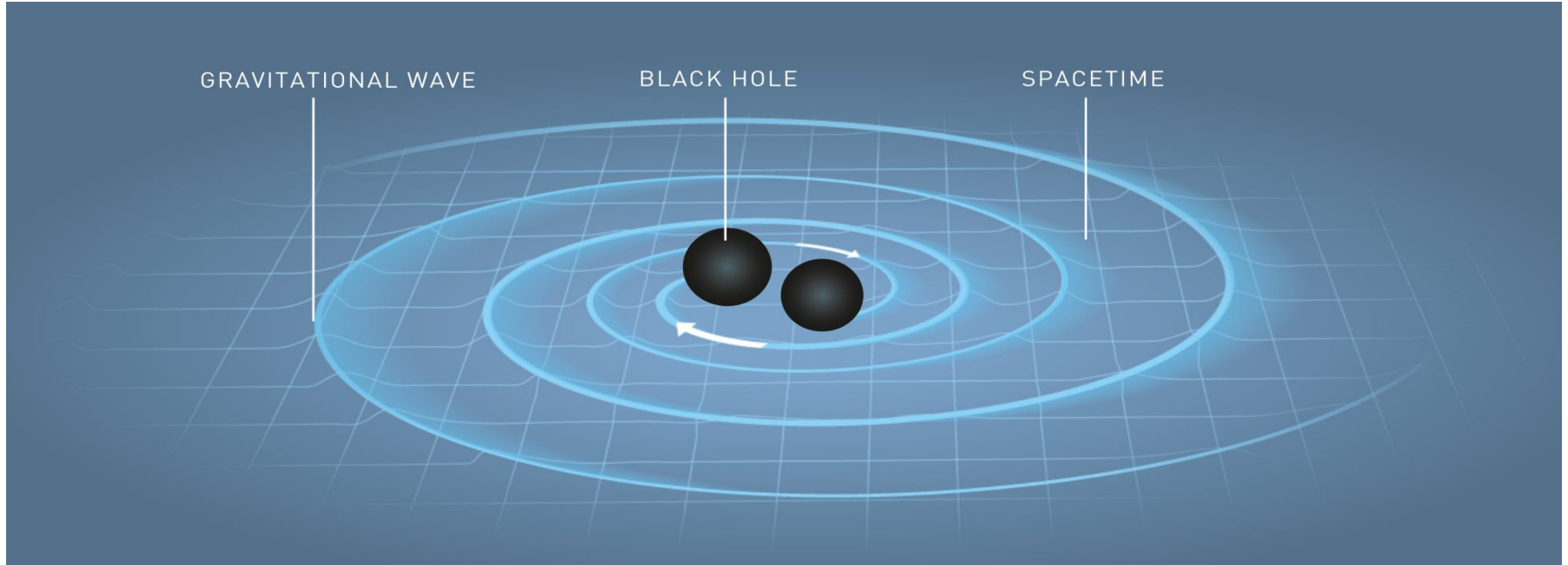
# Plan galactique

Détection par IceCube de neutrinos venant du plan galactique (publi 2023)

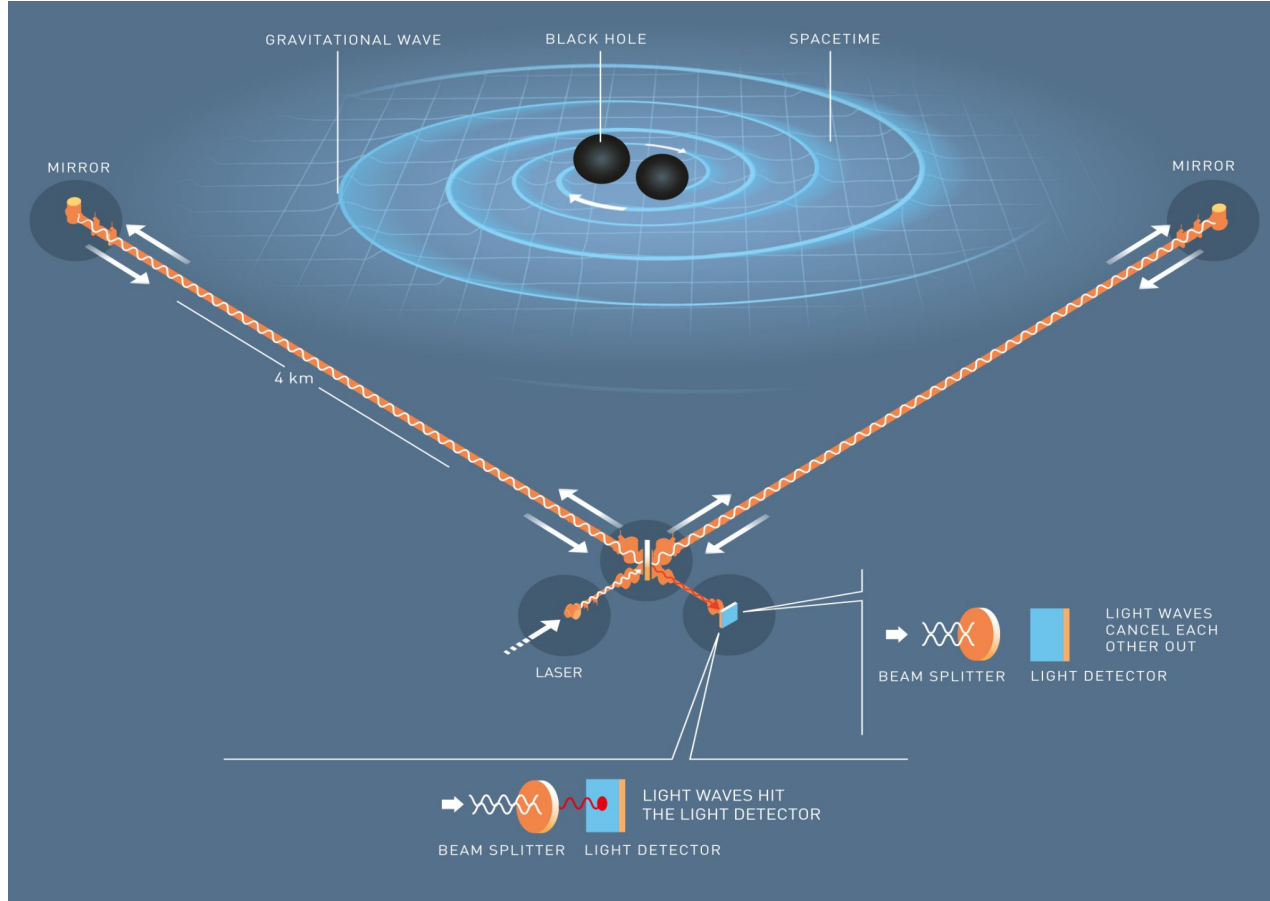


# Les ondes gravitationnelles

Oscillation de la courbure de l'espace temps qui se propage

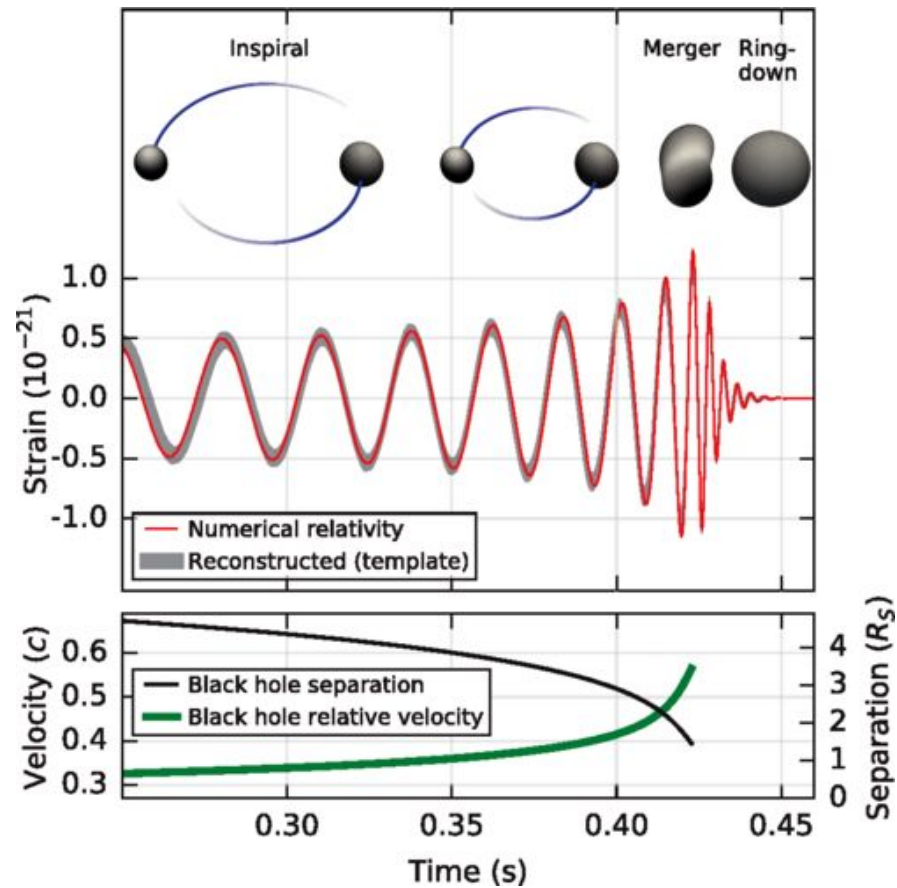


# Détecter les ondes gravitationnelles



3 détecteurs  
principaux :  
LIGO (Nord-Ouest US)  
LIGO (Sud-Est US)  
Virgo (Italie)

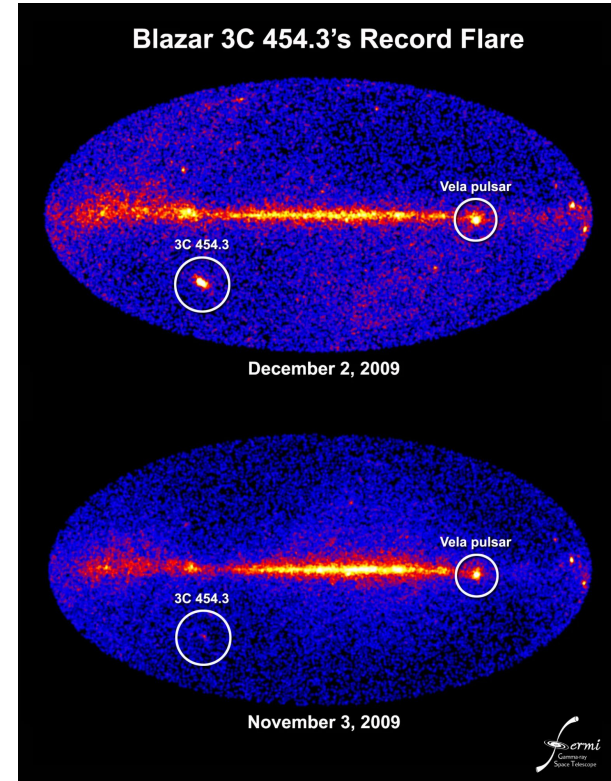
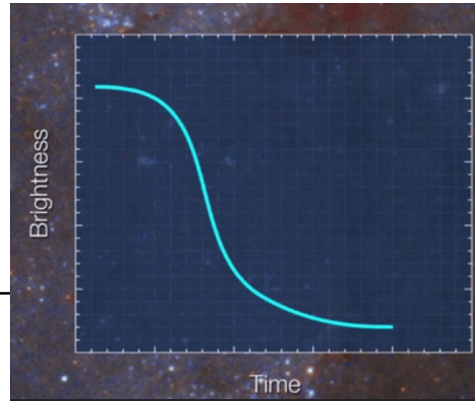
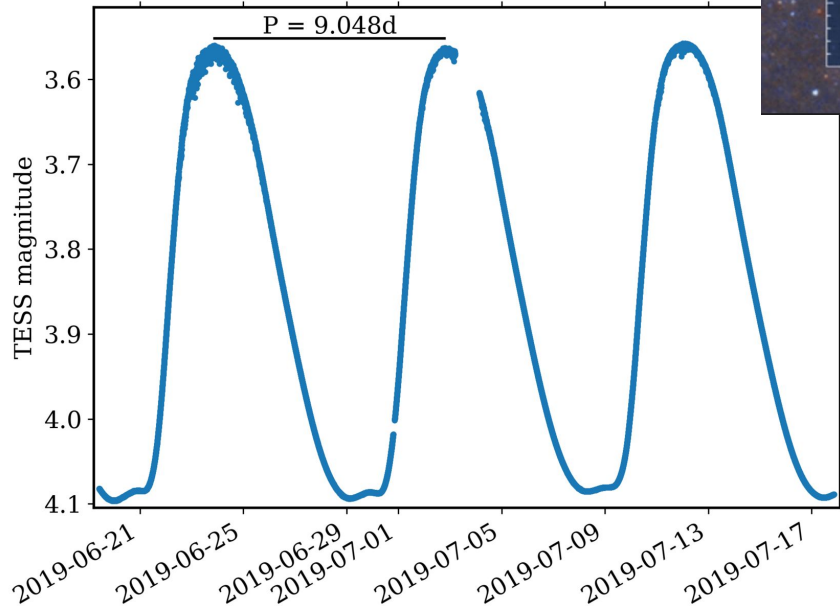
# Première détection GW150914





# Qu'est-ce qu'un phénomène transitoire ?

Objet céleste dont les émissions varient dans le temps



# Quels détecteurs pour des phénomènes transitoires ?

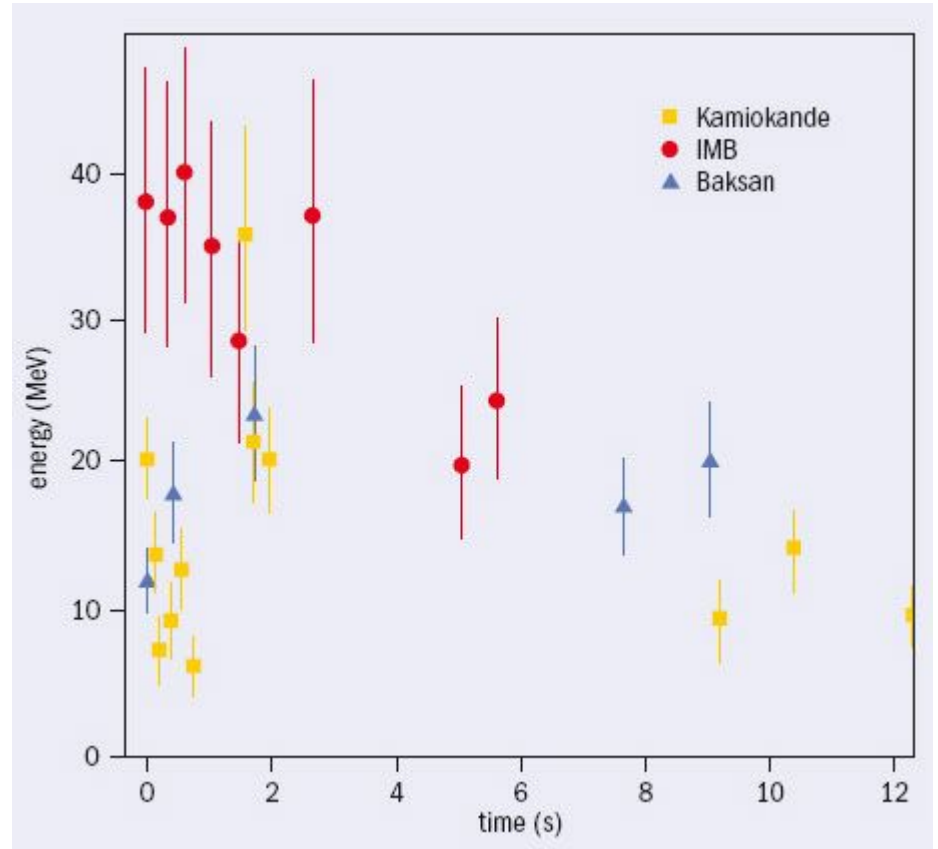


# SN1987A

Supernova à explosion de cœur, le 23 février 1987 dans le Grand Nuage de Magellan

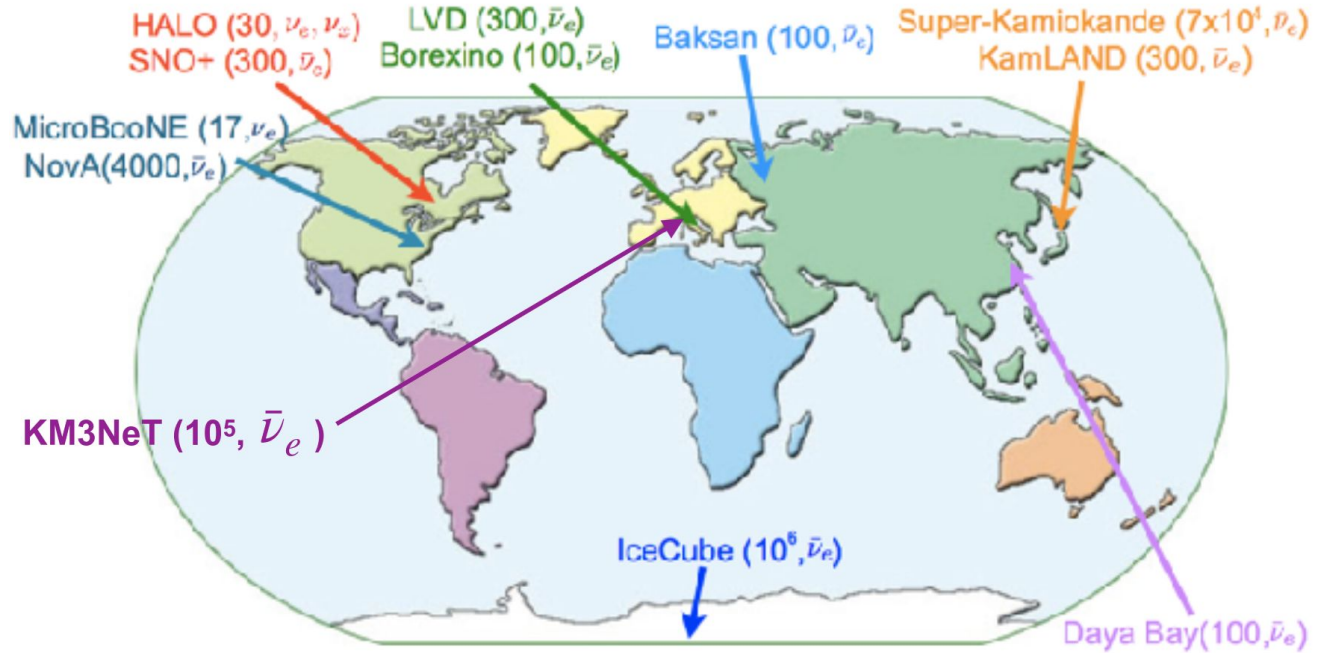


25 neutrinos détectés !!!



# SN1987A – La suite

1.5 supernova galactique par siècle → à quand la prochaine ?



# Août et septembre 2017 : deux événements multi-messager

◀ **août 2017** ▶

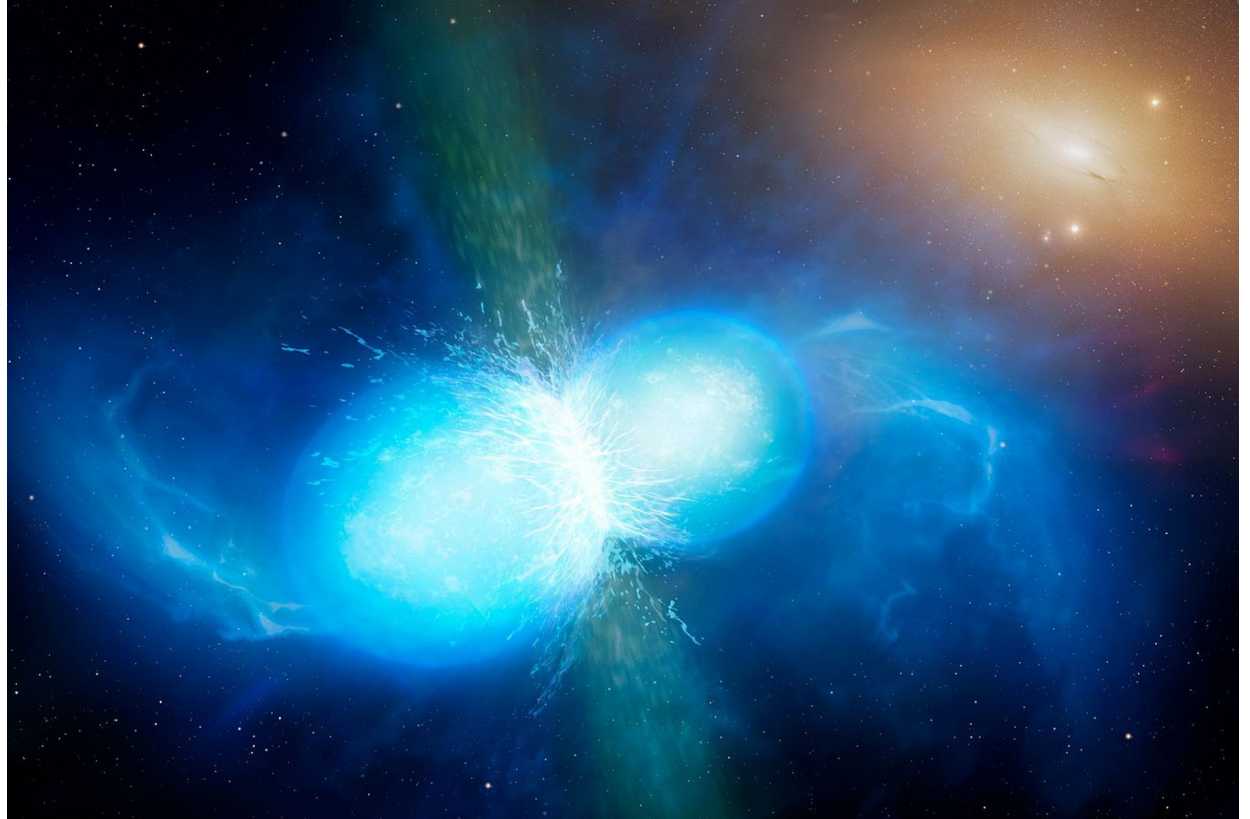
	L	M	M	J	V	S	D
31	31	1	2	3	4	5	6
32	7	8	9	10	11	12	13
33	14	15	16	<b>17</b>	18	19	20
34	21	22	23	24	25	26	27
35	28	29	30	31	1	2	3

◀ **septembre 2017** ▶

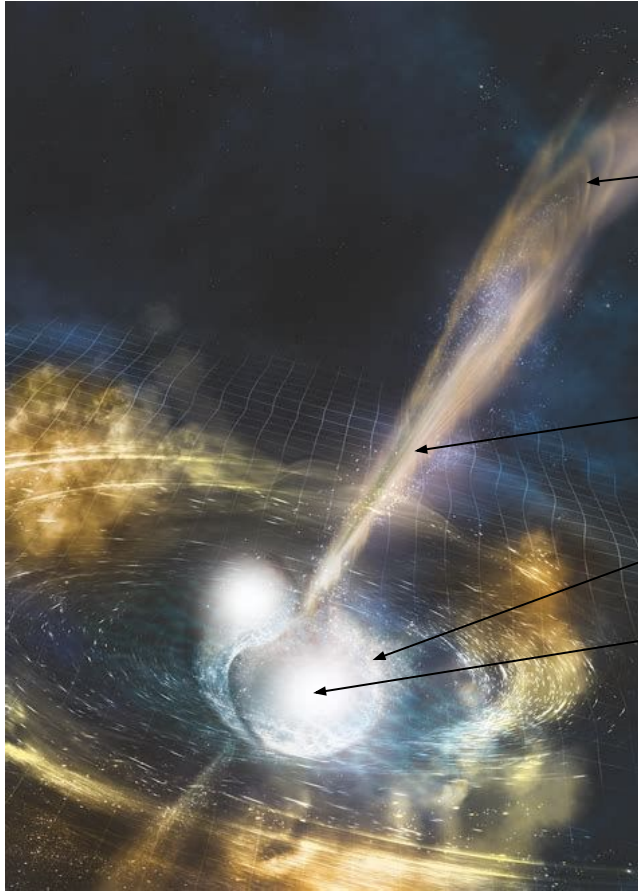
	L	M	M	J	V	S	D
35	28	29	30	31	1	2	3
36	4	5	6	7	8	9	10
37	11	12	13	14	15	16	17
38	18	19	20	21	<b>22</b>	23	24
39	25	26	27	28	29	30	1

# GW170817 – Fusion d'étoiles à neutrons

Première détection  
d'ondes gravitationnelles  
venant d'étoiles à  
neutrons



# GW170817 – Fusion d'étoiles à neutrons



Rémanence de sursaut gamma

Sursaut gamma

Kilonova

Onde gravitationnelle



# GW170817 – Fusion d'étoiles à neutrons

## Fermi

Reported 16 seconds after detection



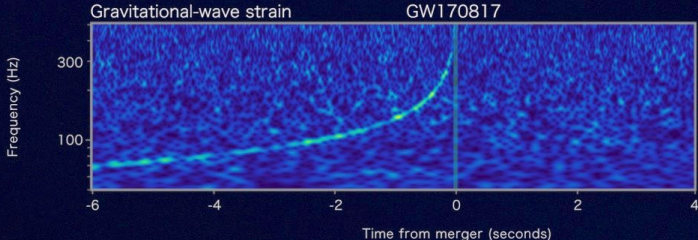
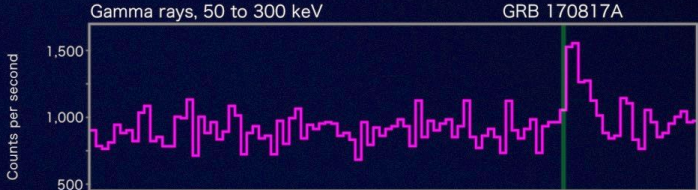
## LIGO-Virgo

Reported 27 minutes after detection

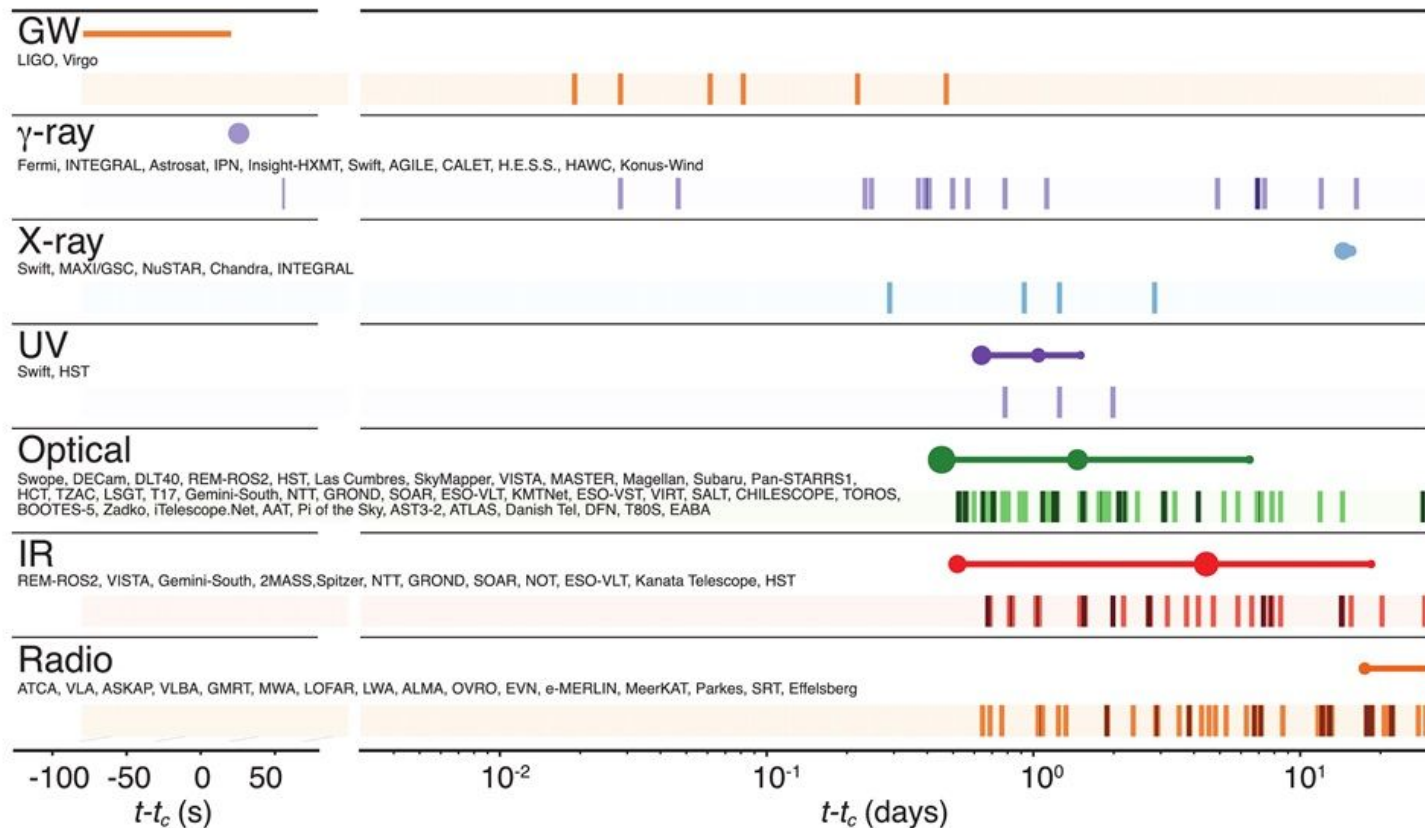


## INTEGRAL

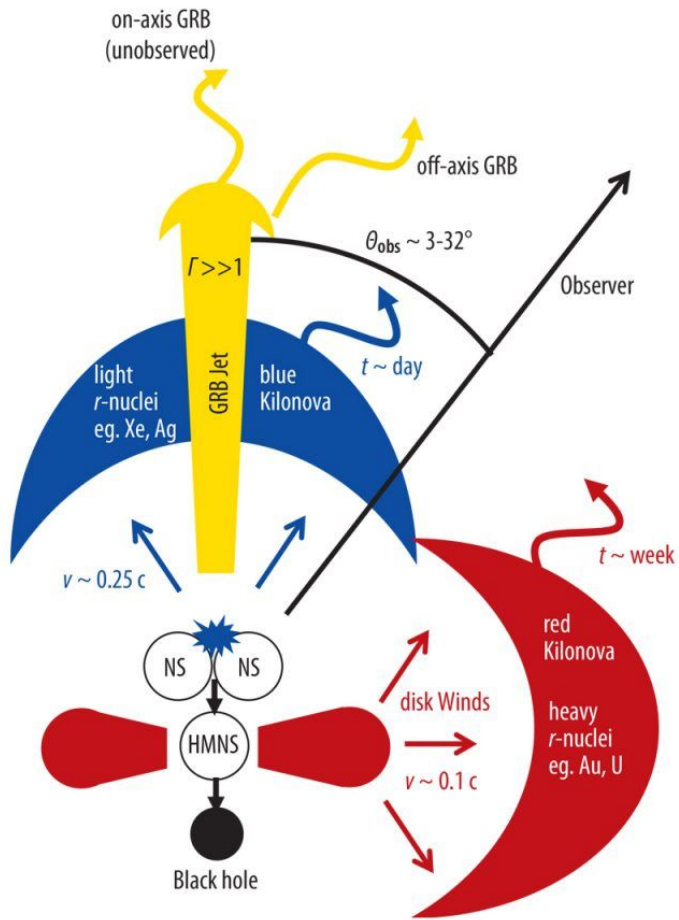
Reported 66 minutes after detection



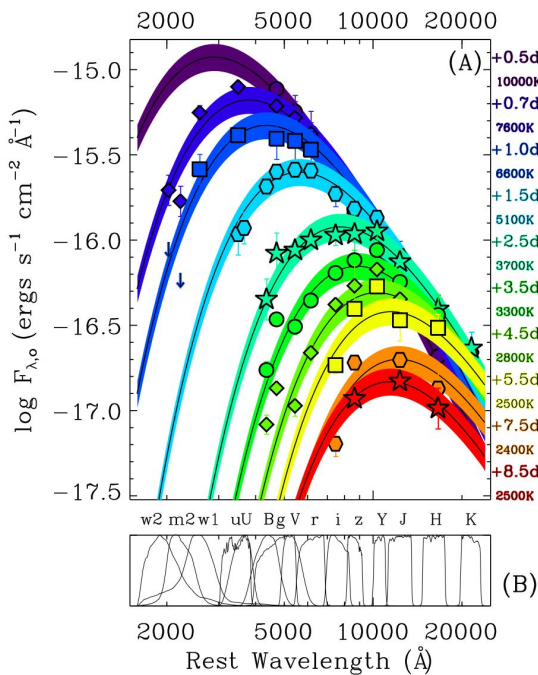
# GW170817 – Fusion d'étoiles à neutrons



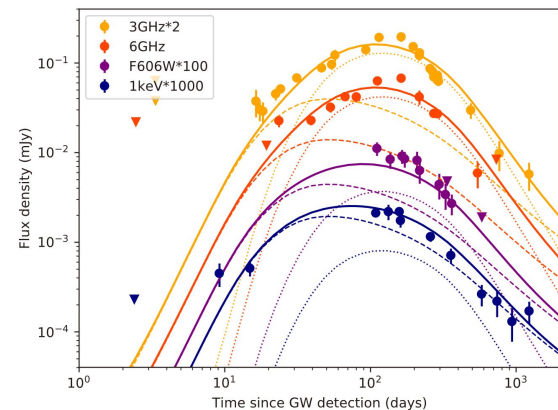
# GW170817 – Fusion d'étoiles à neutrons



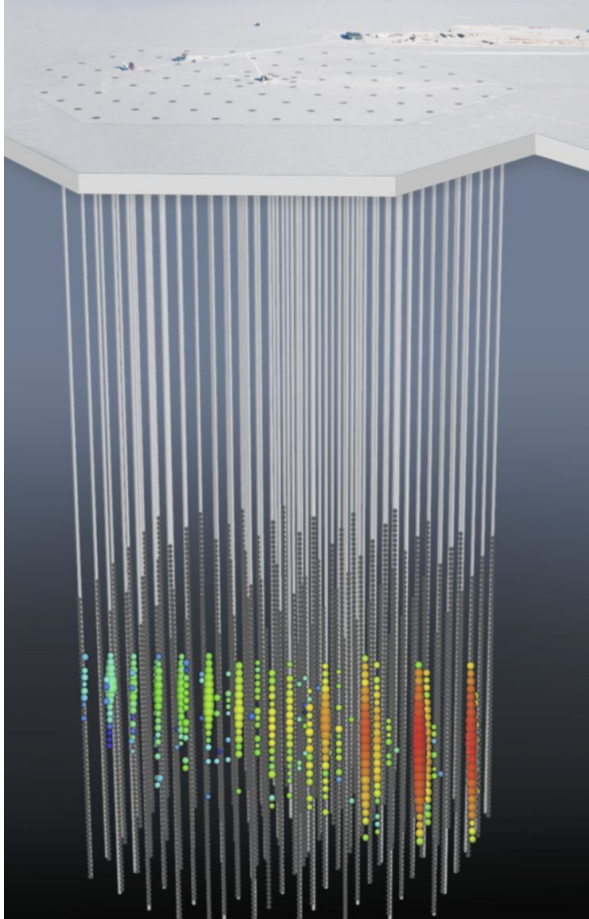
## Processus nucléaires de capture rapide de neutrons (r-process)



## Rémanence de sursaut gamma sur plusieurs mois



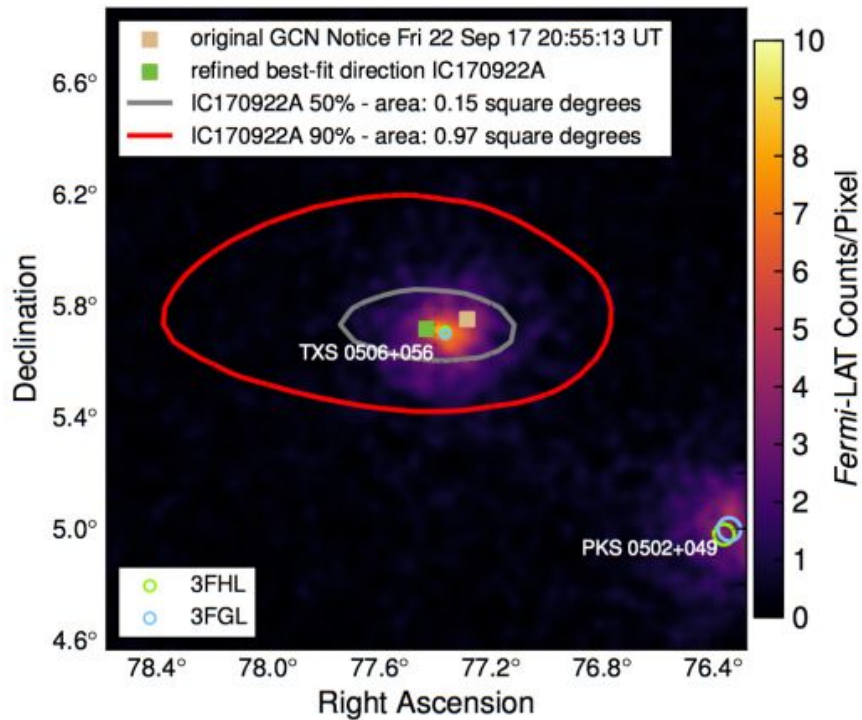
# TXS 0506+056 – Détection d'un neutrino



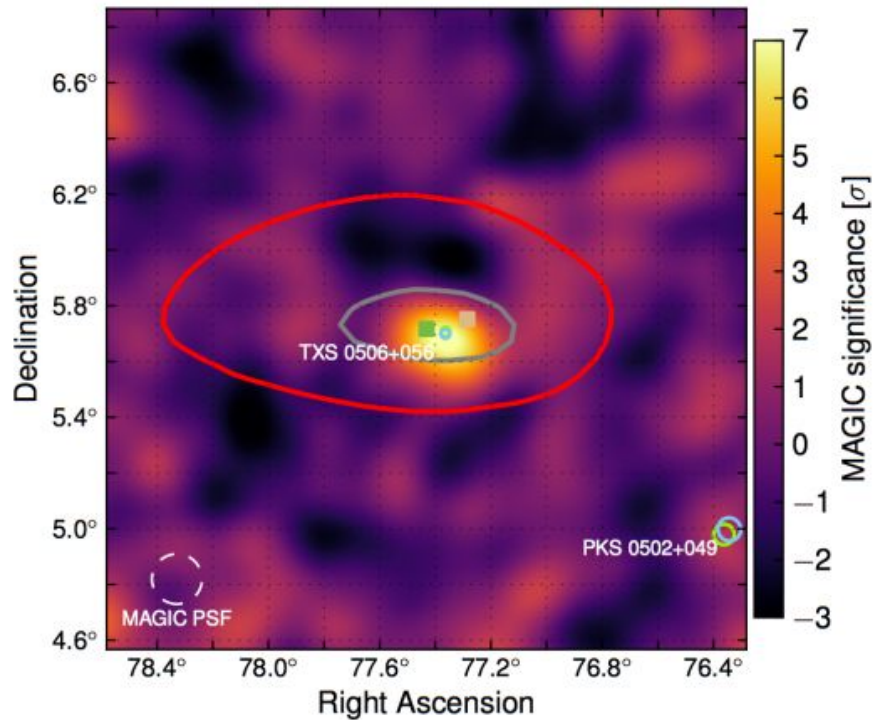
```
////////////////////////////////////  
TITLE:          GCN/AMON NOTICE  
NOTICE_DATE:    Fri 22 Sep 17 20:55:13 UT  
NOTICE_TYPE:    AMON ICECUBE EHE  
RUN_NUM:        130033  
EVENT_NUM:      50579430  
SRC_RA:         77.2853d {+05h 09m 08s} (J2000),  
                77.5221d {+05h 10m 05s} (current),  
                76.6176d {+05h 06m 28s} (1950)  
SRC_DEC:        +5.7517d {+05d 45' 06"} (J2000),  
                +5.7732d {+05d 46' 24"} (current),  
                +5.6888d {+05d 41' 20"} (1950)  
SRC_ERROR:      14.99 [arcmin radius, stat+sys, 50% containment]  
DISCOVERY_DATE: 18018 TJD; 265 DOY; 17/09/22 (yy/mm/dd)  
DISCOVERY_TIME: 75270 SOD {20:54:30.43} UT  
REVISION:       0  
N_EVENTS:       1 [number of neutrinos]  
STREAM:         2  
DELTA_T:        0.0000 [sec]  
SIGMA_T:        0.0000e+00 [dn]  
ENERGY :        1.1998e+02 [TeV]  
SIGNALNESS:     5.6507e-01 [dn]  
CHARGE:         5784.9552 [pe]
```

# TXS 0506+056 – Rayons gamma associés

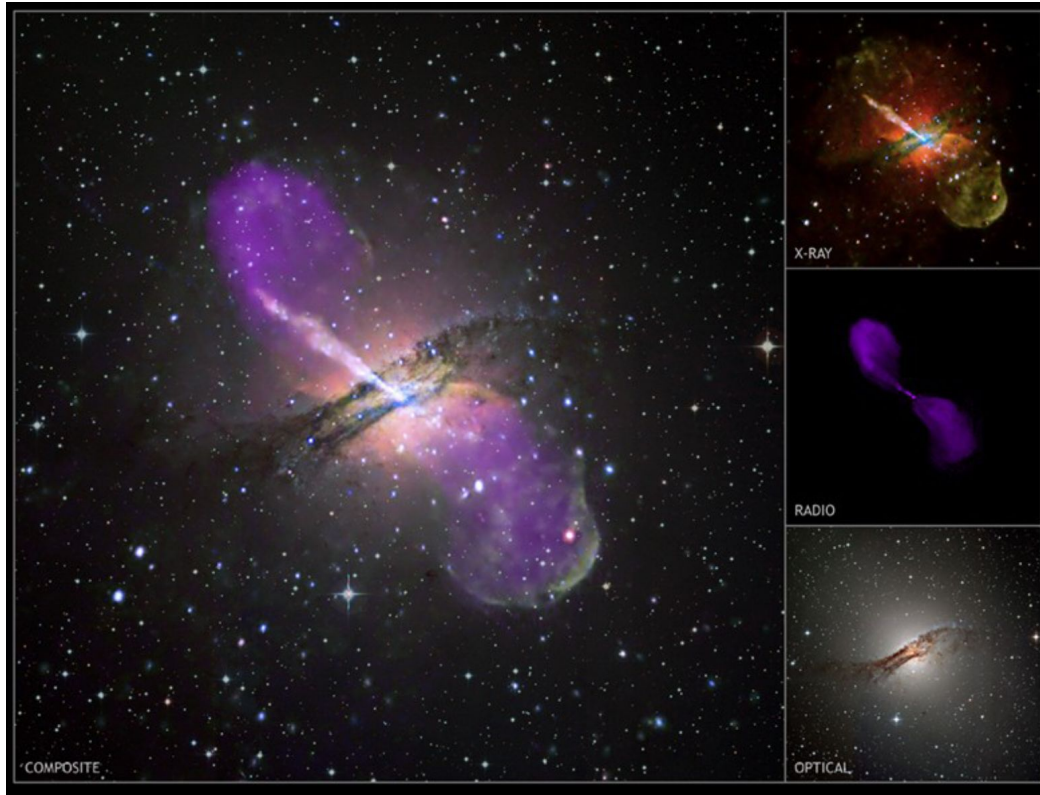
(A)



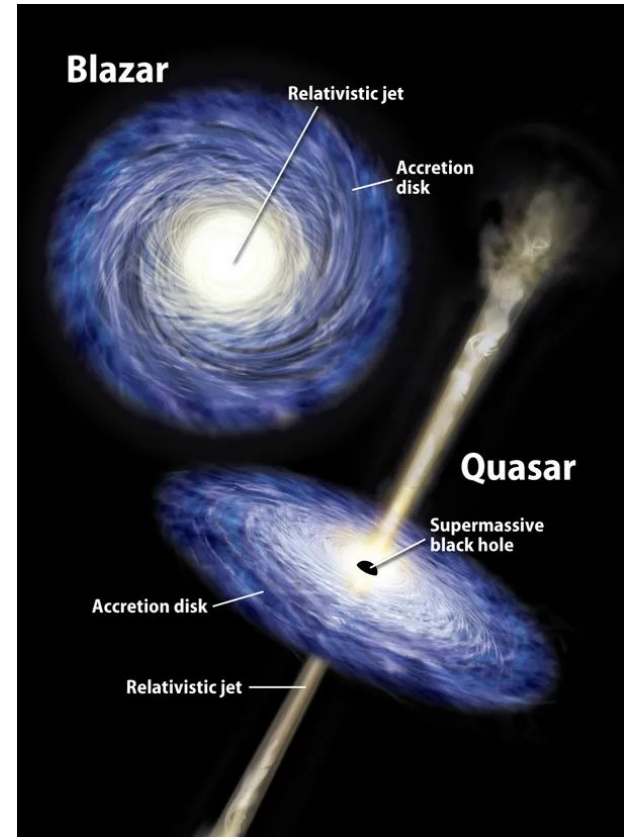
(B)



# TXS 0506+056 – Un blazar



Centaurus A



## Follow-up detections of IC170922 based on public telegrams



**IceCube**

September 22



**Swift**

September 26



**Fermi, ASAS-SN**

September 28



**SALT, Kapteyn**

October 7



**MAGIC**

October 4



**Liverpool, AGILE**

September 29



**Kanata, NuSTAR**

October 12



**VLA**

October 17

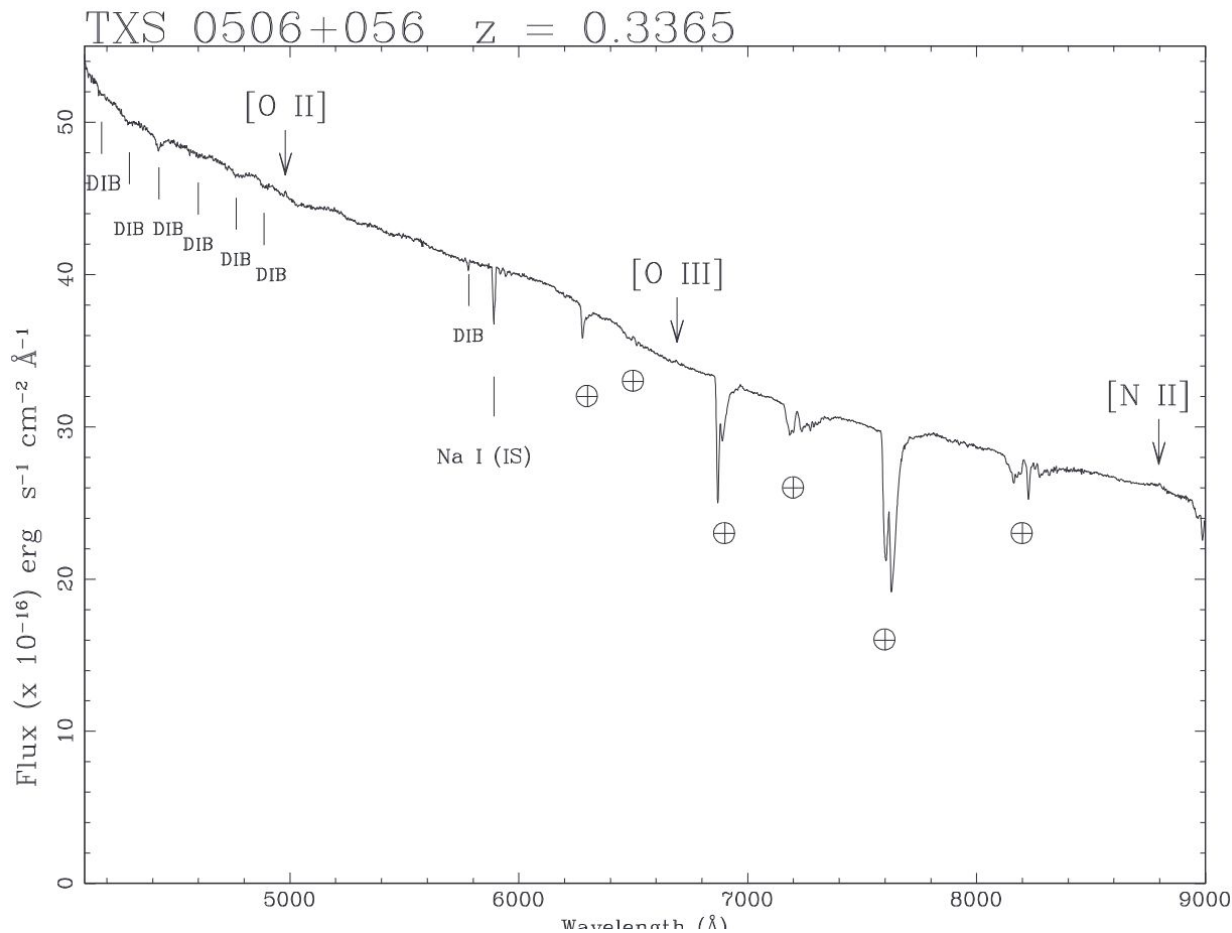


**Subaru**

October 25



# TXS 0506+056 – Spectroscopie pour la distance



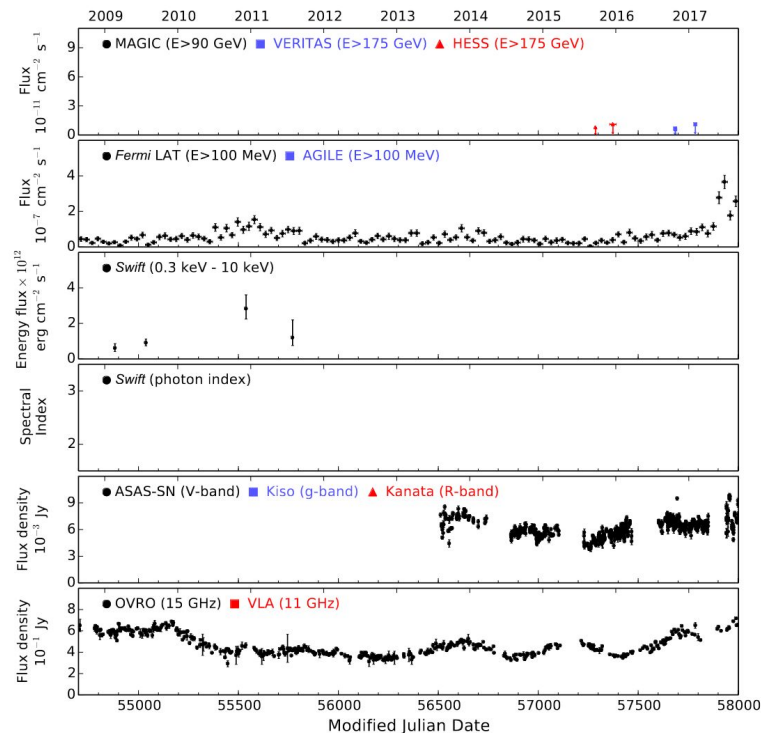
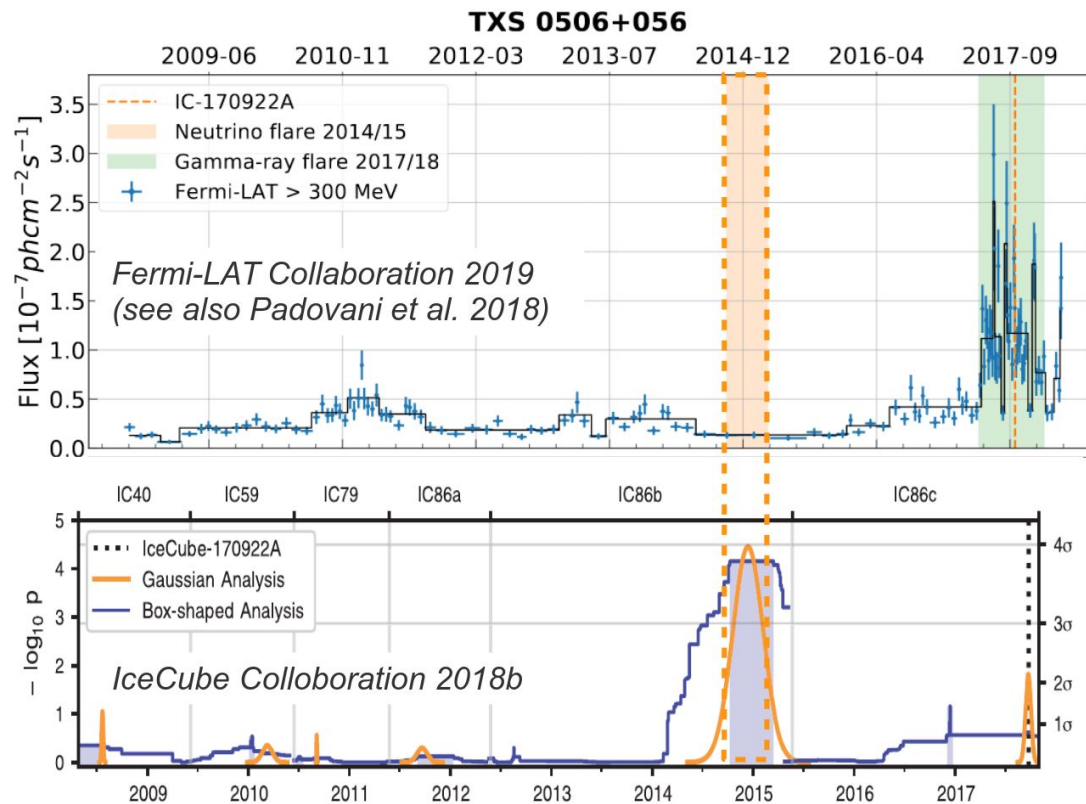
Lien entre décalage vers le rouge et distance

→ objet à  $z = 0.3365$  (5.7 milliards d'années lumière), donc « proche »



# TXS 0506+056 – Plus de neutrinos

19 neutrinos détectés en 2015, mais pas de flares associées



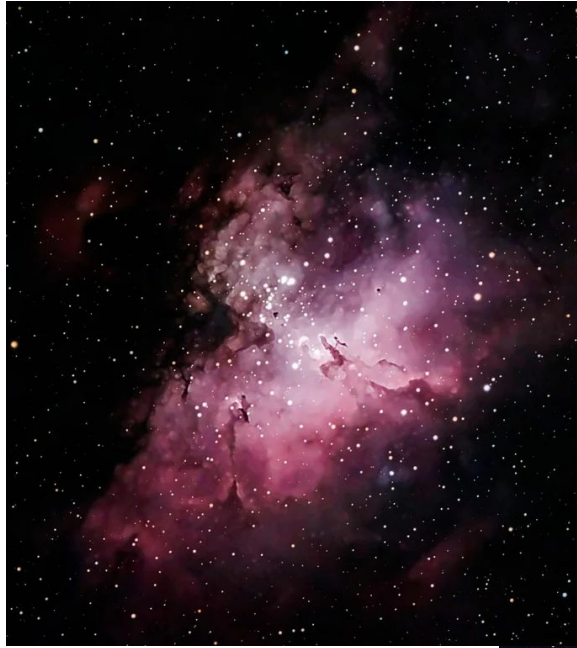
La plus grande collaboration du monde

---

# La plus grande collaboration du monde

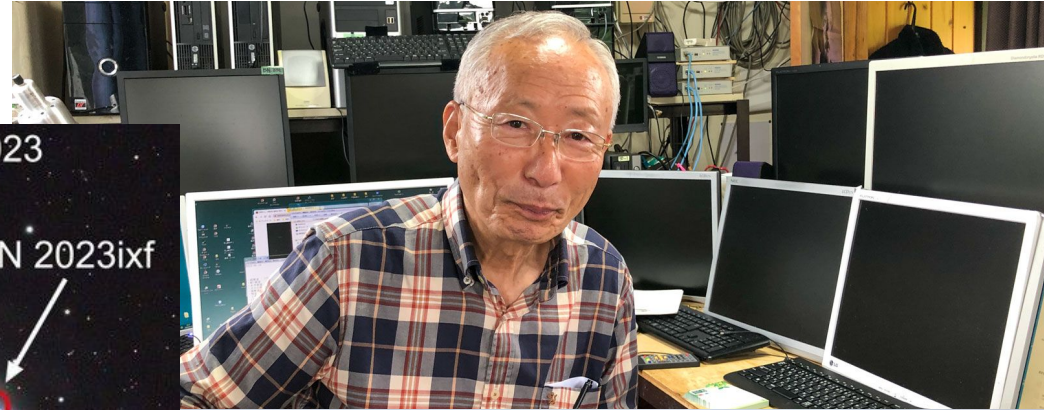
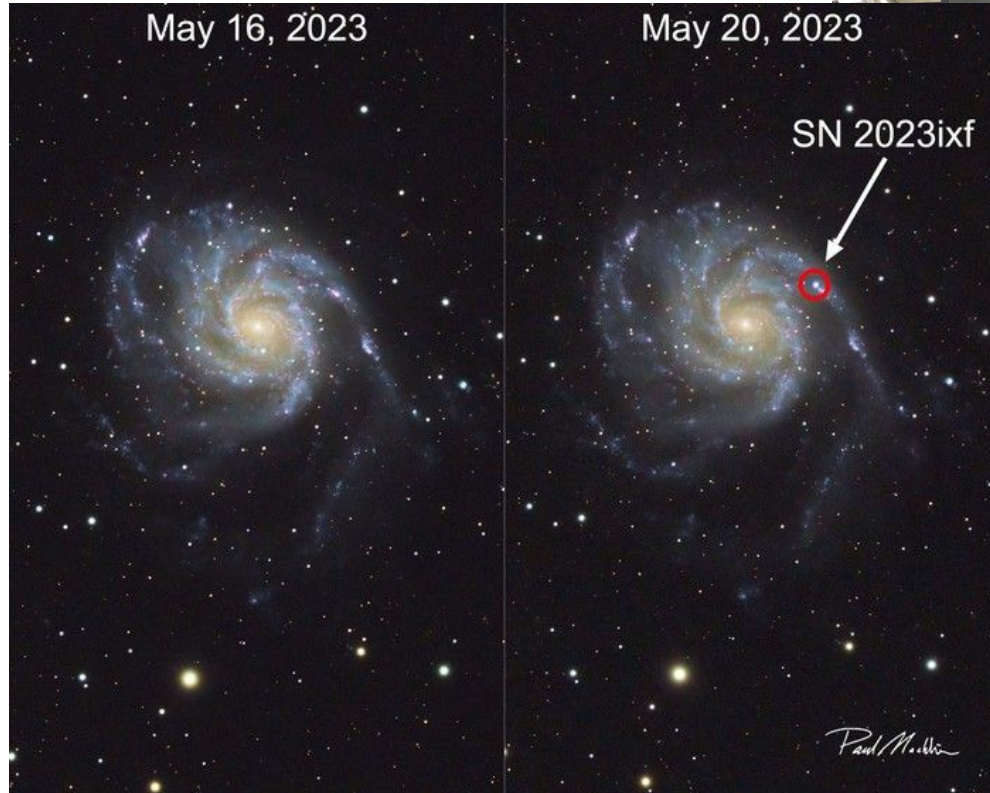


# Qu'est-ce qu'on peut observer avec un petit télescope ?



# SN2023ixf – Découverte de supernova

Dans la galaxie du Moulinet

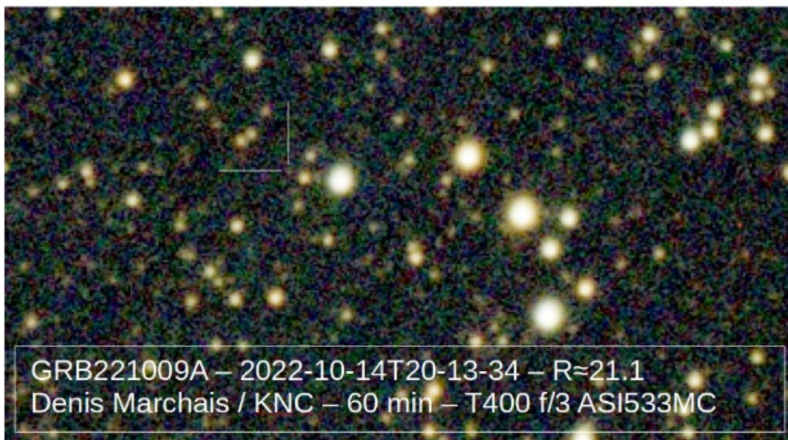
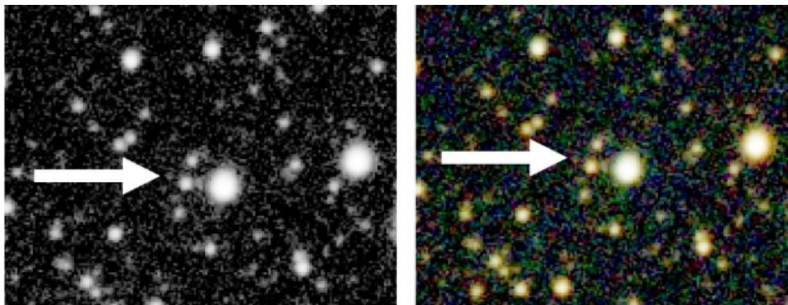
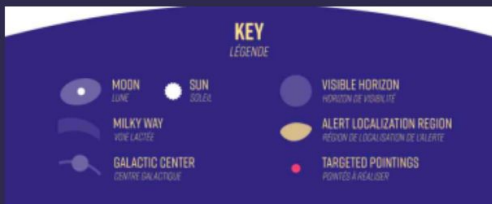


# GRANDMA kilonova catcher

## 3 RECEVEZ VOS ALERTES



- En cas d'alerte : vous recevrez la carte du ciel de la region de l'onde gravitationnelle



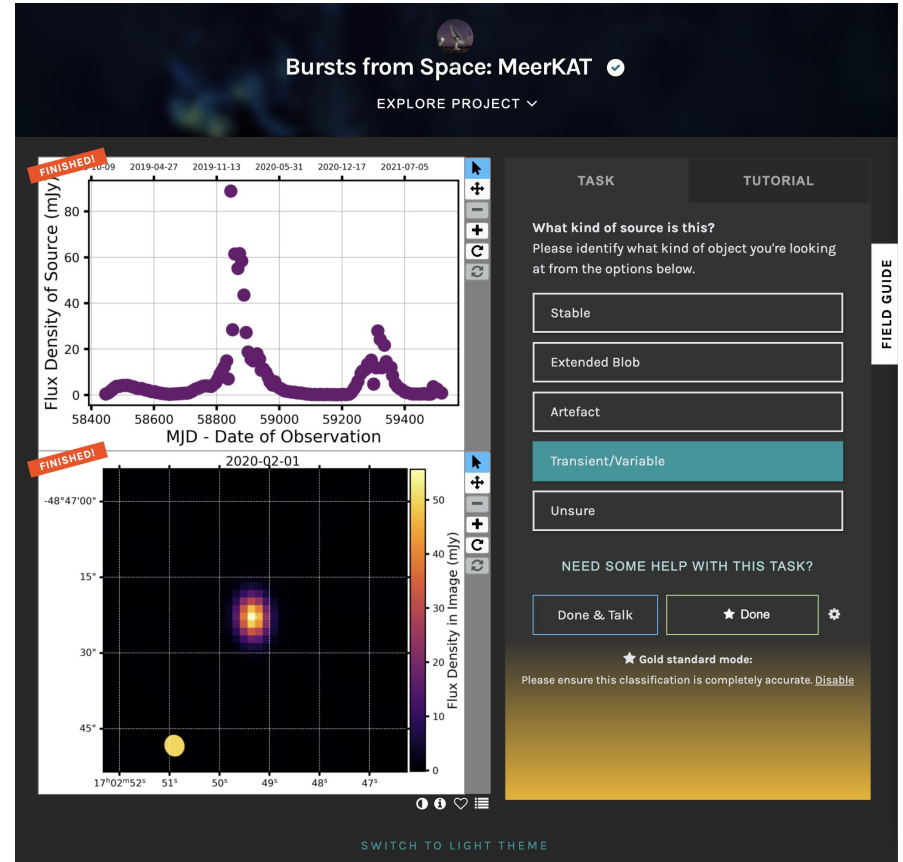
KILONOVACATCHER

# ZOONIVERSE

Portail de science citoyenne, où les internautes aident à la classification d'objets

# Zooniverse and Meerkat

142 observations « intéressantes »  
trouvées → 26 sources





**Merci pour votre attention !**