

Instruments des hautes énergies : bref bilan actuel et perspectives

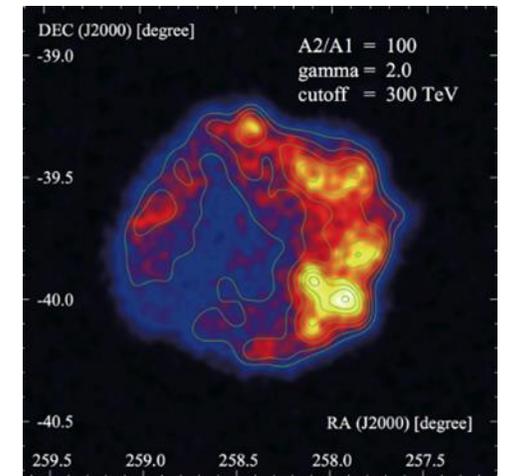


1ère « radiographie »
gamma, 1904

Kick-off meeting de l'API « Hautes Energies »
de l'Observatoire de Paris

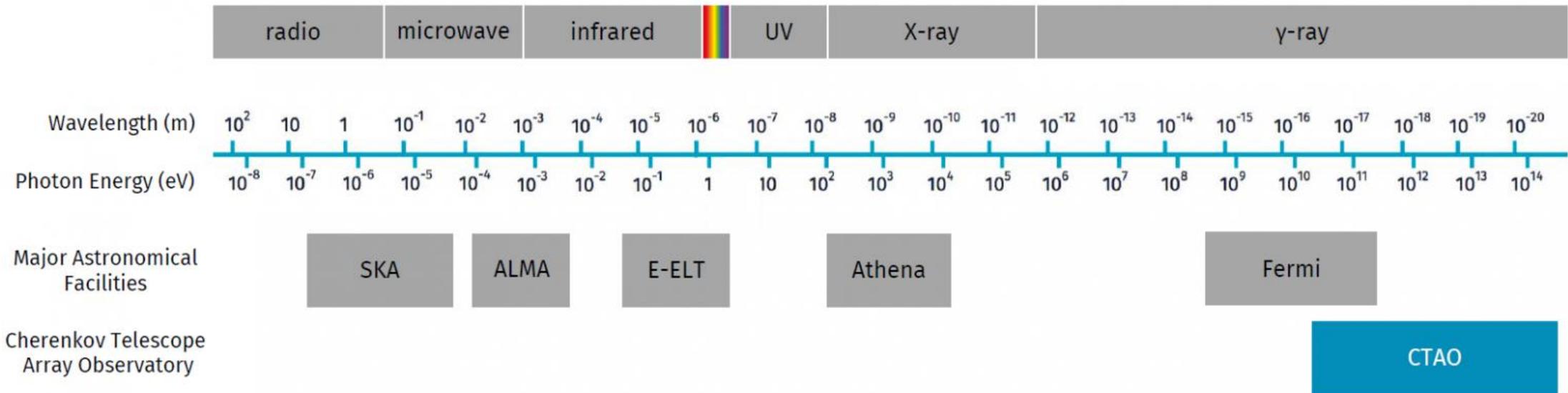
Jean-Laurent Dournaux et Hélène Sol

11 février 2022



Carte gamma actuelle
d'un reste de supernova

Panorama des principaux TGIR des prochaines décennies (2022 - 2050)



Domaine radio :
voir présentation par Cyril Tasse

Tout le domaine MWL sera important
pour les HE, ce qui justifiera des
présentations ultérieures !!

Domaine gamma :
cette présentation

Importance également des TGIR multi-messagers : LIGO-VIRGO, LISA, AUGER, IceCube, KM3NeT, etc

Plan proposé : aperçu de quelques instruments impliquant ou intéressant des équipes de l'OP (liste non-exhaustive)

Instrumentes actuels :

- Fermi (APC, LPENS-PSL, LUTH, autres)
- HESS (APC, LUTH)

Instrumentes à venir :

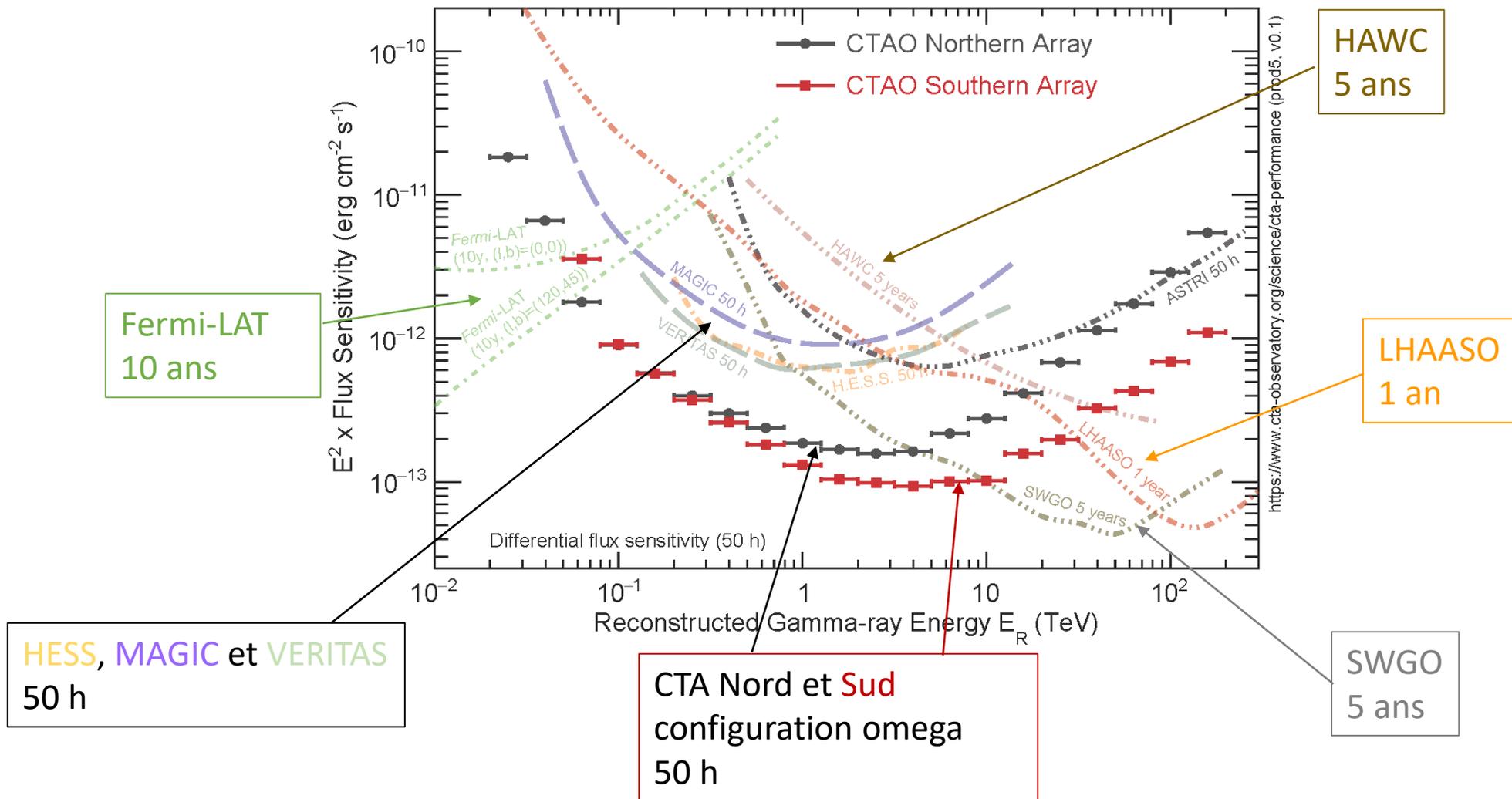
- SVOM (APC, GEPI - CNES, CEA-IRFU, IRAP)
- SWGO (APC, LUTH ?, autres ?)
- CTA (APC, GEPI, LPENS-PSL, LUTH, autres)
- THESEUS (GEPI - CEA-IRFU, LAM, CNES...)

Banc de test et équipements pédagogiques

- pGCT de Meudon (GEPI, LUTH) --- > sera mis à disposition
- Chambre à brouillard (GEPI, LPENS-PSL, LUTH) --- > sera mis à disposition

Discussion

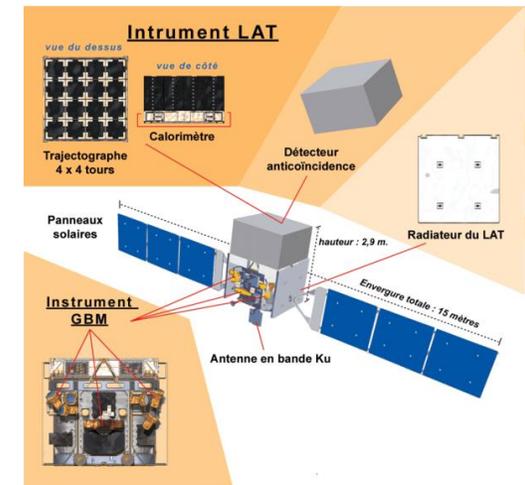
Courbes de sensibilité comparée de divers instruments (effective ou visée)



Satellite Fermi, Gamma-ray Space Telescope

<https://fermi.gsfc.nasa.gov/>

- Surveillance du ciel aux HE depuis août 2008 par les 2 instruments : LAT, le Large Area Telescope, et GBM, le Gamma-ray Burst Monitor.
- Toutes les données gamma sont mises immédiatement à disposition sur le [Fermi Science Support Center](#).
- Découverte de plus de 1000 sources et de nouvelles classes de sources par le LAT (20 MeV - 300 GeV) : SNR, PWN, pulsars, systèmes binaires, novae, AGN, galaxies starburst, galaxies normales, nombreuses sources non-id, nombreux sursauts d'un large échantillon de transients. Découverte des bulles géantes dans notre galaxie. Contraintes sur les accélérateurs cosmiques, sur la DM et sur la physique fondamentale
- Le GBM poursuit ses détections de transients en gamma : magnetars, flares solaires, flashes gamma terrestres et sursauts gamma du keV aux MeV
- Latest news Jan 28, 2022: Third Incremental Release of the Fourth Fermi LAT Source Catalog
- Le « Tenth International Fermi Symposium » se tiendra les 9-15 octobre 2022 à Johannesburg



L'expérience HESS en Namibie

<https://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/>



1989 : 1^{ère} détection (depuis le sol) d'une source cosmique en rayons gamma de très hautes énergies, la nébuleuse du Crabe

2003 : démarrage de l'expérience **HESS**, High Energy Stereoscopic System, en Namibie, et émergence de l'astronomie gamma des très hautes énergies.

Domaine spectral : de quelques dizaines de GeV à dizaines de TeV

Participation OP : équipes scientifiques 'VHE' de l'APC et du LUTH, et contribution du Pôle instrumental à l'installation de HESS 2.

2007 : les collaborations HESS, MAGIC, VERITAS lancent ensemble le projet de nouvelle génération CTA. Soutien de l'Europe



L'expérience HESS en Namibie

<https://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/>



En octobre 2021, extension de la [durée de l'expérience jusqu'au 1^{er} octobre 2024](#), en espérant que CTA prenne alors la relève. Devenir ultérieur de HESS pas encore fixé.

Le consortium HESS exploite l'instrument et publie ses résultats. Mais les [extérieurs à HESS](#) ayant des propositions d'observation ou des programmes coordonnés [peuvent passer par une collaboration](#) avec un des collègues ou une équipe membres de HESS (équipes APC et LUTH pour l'OP, ou autres équipes HESS) pour accéder aux données concernées et participer à leur exploitation et interprétation scientifique.

Voir à ce sujet <https://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/pages/home/proposals/>

Publications sur divers sujets depuis septembre 2021 : SNRs, GW events follow-up, Binaries, Transients, DM search, PeVatrons search ...

- [Evidence for gamma-ray emission from the remnant of Kepler's supernova based on deep H.E.S.S. observations](#)
- [H.E.S.S. follow-up observations of Binary Black Hole Coalescence events during the second and third Gravitational Waves observing runs of Advanced LIGO and Advanced Virgo](#)
- [Observation of the Gamma-Ray Binary HESS J0632+057 with the H.E.S.S., MAGIC, and VERITAS Telescopes](#)
- [LMC N132D: A mature supernova remnant with a power-law gamma-ray spectrum extending beyond 8 TeV](#)
- [Searching for TeV Gamma-Ray Emission from SGR 1935+2154 during Its 2020 X-Ray and Radio Bursting Phase](#)
- [Search for Dark Matter Annihilation Signals from Unidentified Fermi-LAT Objects with H.E.S.S.](#)
- [Evidence of 100 TeV \$\gamma\$ -ray emission from HESS J1702-420: A new PeVatron candidate](#)

Prochain lancement de SVOM

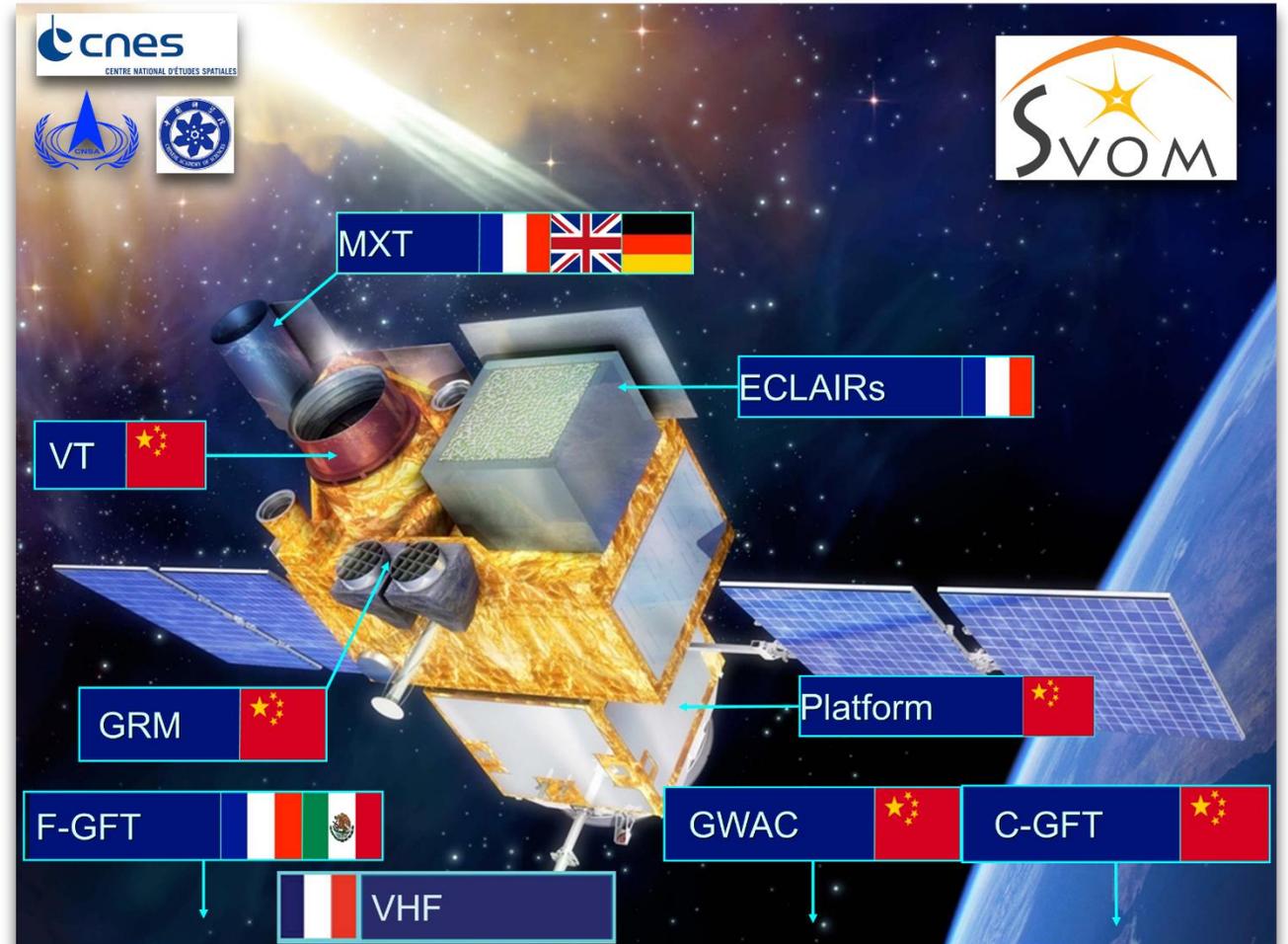
(Space-based multi-band astronomical Variable Objects Monitor)

<https://www.svom.eu/en/portfolio/the-svom-mission/>



- Mission franco-chinoise dédiée à l'observation des sursauts gamma
- PI Français : Bertrand Cordier (CEA)
- Project Scientist Français : Frédéric Daigne (IAP)
- Participation OP : Susanna Vergani (GEPI)

- Composée de 4 instruments principaux dont 2 français (télescopes ECLAIRs et MXT)
- Observations spatiales complétées par un segment sol composé de la caméra GWAC et des télescopes GFTs
- Lancement : mi 2023

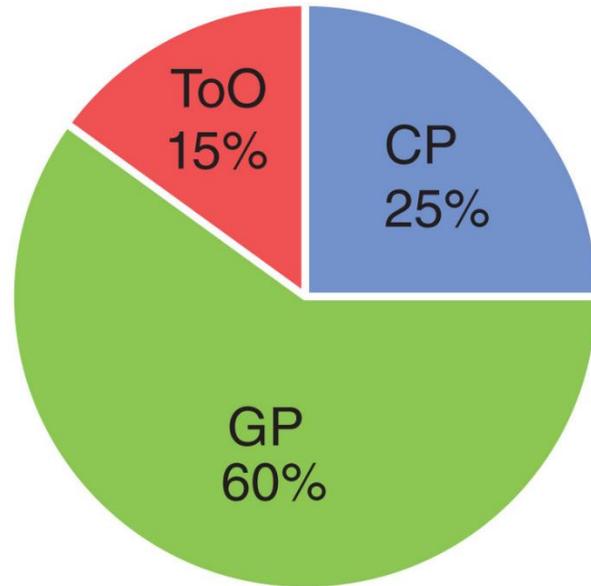


Instruments SVOM (espace & sol)

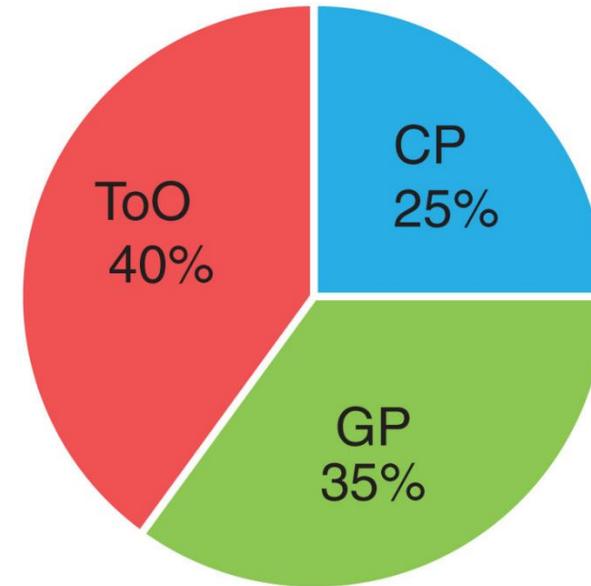
Répartition du temps d'observation



Nominal mission



Extended mission



General Program (GP) : 1st year restricted to SVOM CO-I only
Then open call to the community BUT proposals must include a SVOM CO-I

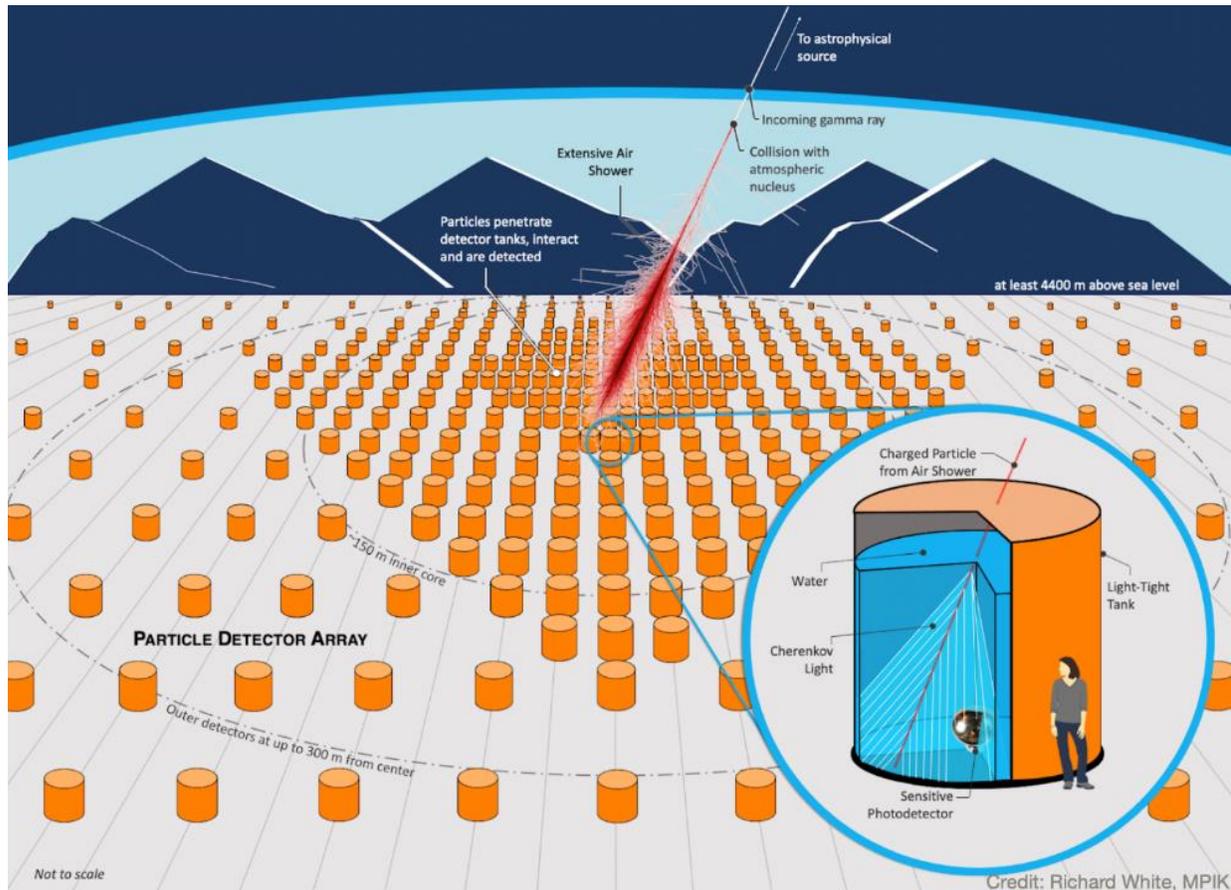
Responsible for GP: Andrea Goldwurn (APC)

ToO program rules not really defined yet

@ S. Vergani

SWGGO, le « Southern Wide Field Gamma-ray Observatory »

<https://www.swgo.org/SWGOWiki/doku.php?id=start>



Instrument grand champ, avec un cycle de fonctionnement proche de 100%, successeur de HAWC et ARGO. Cf le nouveau LHAASO.

Sera très complémentaire à CTA-sud.

Concept principal :

- Détection de particules au sol, en priorité avec des “water Cherenkov detector units”
- Installé en Amérique du Sud entre 10° et 30 ° de latitude sud, sur une surface bien plus grande que HAWC et avec une meilleure sensibilité
- Altitude : plus de 4400 m
- Cycle proche de 100%, sur un champ de vue de l'ordre du stéradian
- Domaine d'énergie de centaines de GeV à centaines de TeV

SWGGO, le « Southern Wide Field Gamma-ray Observatory »

<https://www.swgo.org/SWGOWiki/doku.php?id=start>

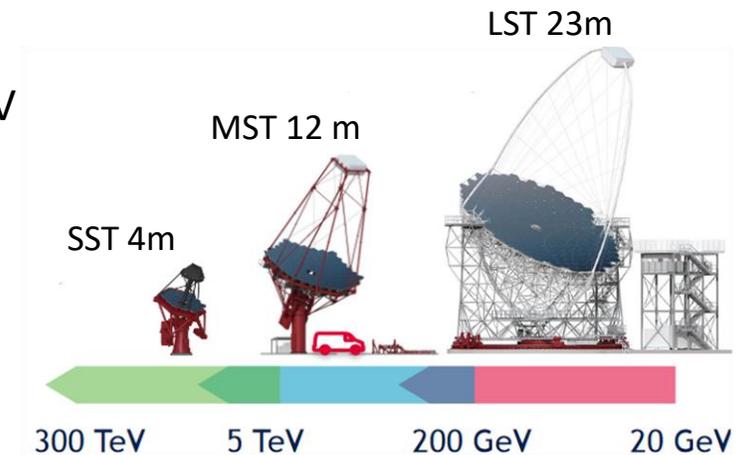


- Spokesperson : Jim Hinton (MPIK, Heidelberg)
- Co-spokespersons depuis mars 2021: Petra Huentemeyer (Michigan Technological University) et Ulisses Barres de Almeida (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Brésil)
- Accord signé en **juillet 2019** par 39 (54) instituts pour une collaboration internationale de R&D en vue du SWGGO, pour développer en 3 ans une proposition d'implémentation et les choix technologiques. Neuf (13) pays impliqués : Allemagne, Argentine, Brésil, (Chili), (Corée du sud), Italie, Mexique, (Pérou), Portugal, République tchèque, Portugal, UK et US.
- Environ 30 scientifiques « supporters » de 10 autres pays : Australie, Bolivie, Costa Rica, Espagne, France, Japon, Pologne, Slovénie, Suisse, Turquie
- Beaucoup de membres de CTA sont déjà impliqués. Mais peu de français et leur contribution est plutôt individuelle (hormis CEA) : ont signé le science case en 2019 (<https://arxiv.org/abs/1902.08429>) *Brun, Cristofari, Glicenstein, Lenain, Lefaucheur, Schussler ...*
- **Discuter une implication possible de l'INSU et de l'OP** : G. Perrin avait suggéré courant 2021 de mettre cette question sur la table lors de la prochaine prospective

CTA, projet mondial de nouvelle génération en astronomie gamma au sol, aux très hautes énergies : de 20 GeV à 300 TeV

<https://www.cta-observatory.org/>

- Successeur des expériences HESS, MAGIC et VERITAS au Tera-electronVolt
- **Saut en sensibilité** ($\nearrow \times 10$) : de quelques centaines à plusieurs milliers de sources
- Elargissement du domaine spectral : des gammas spatiaux jusqu'aux centaines de TeV
- Amélioration des résolutions angulaire, spectrale, temporelle
- Grand champ de vue ($\nearrow 8$ degrés)
- Observatoire en rayons gamma **ouvert à la communauté**
- Plusieurs dizaines de télescopes Cherenkov imageurs de **3 tailles différentes** répartis sur **deux sites** : La Palma/Canaries et Chili-Paranal/ESO
- **Grande flexibilité** de modes observationnels : pointé, « survey », « monitoring », alerte, campagne MWL, réseau complet ou sous-réseaux ...
- Actuellement 25 pays engagés dans le lancement de la 1^{ère} phase de construction (configuration alpha), après vote du projet et du « cost-book » par les représentants gouvernementaux (BGR) le **24 juin 2021**
Premiers partenaires actuels : Allemagne-Italie, France, Espagne ...
Le Project Office (CTAO) est à Bologne, et le Data Center principal sera à Berlin.



Les objectifs scientifiques de CTA

Origin and role of relativistic particles

Sites and mechanisms of CR acceleration

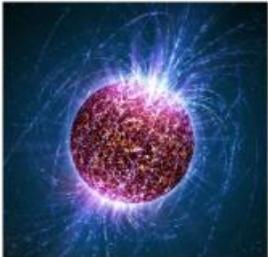


CR propagation/feedback in star-forming systems



Probing extreme environments

Processes close to neutron stars and black holes

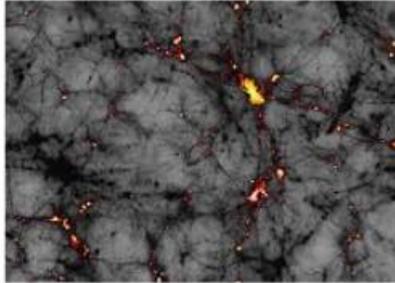


Relativistic jets, winds, and explosions

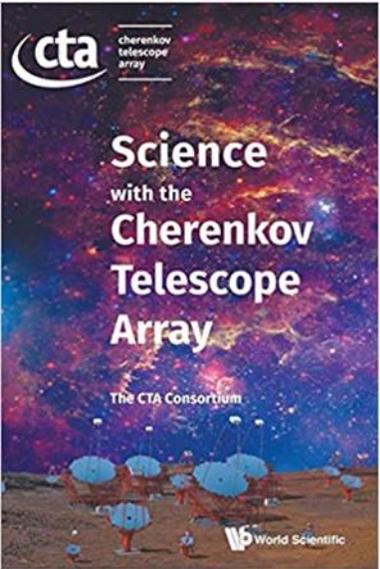
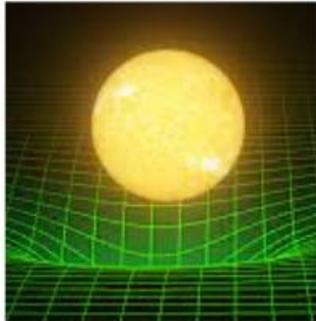


Frontiers of Physics

Nature and distribution of dark matter



Lorentz-invariance violation



Livre publié en 2019. Quelques exemplaires sont disponibles à Meudon !

@CTA

Contributions de l'Observatoire de Paris à CTA

Implication dès les origines du projet (2006+) – L'OP bénéficie d'une bonne visibilité en astrophysique au sein de CTA

- Soutien régulier du CNRS-INSU (CSAA) et du CS de l'OP - Soutien des laboratoires impliqués
- Action Fédératrice du CS « Préparation à CTA » touchant une communauté d'environ 80 personnes, impliquant jusqu'ici principalement le LUTH et le GEPI avec l'APC, et aussi le LPENS/LERMA.
- Financement TGIR (obtenu en 2017)

- **Sciences** (*équipes APC, GEPI, LERMA, LPENS-PSL, LUTH, Nançay-Orléans, ...*)

Bon positionnement actuel sur les thèmes : blazars et noyaux actifs de galaxies, sursauts gamma, supernovae et restes de SN, pulsars, PeVatrons, rayons cosmiques, centre galactique ...

Cf. Science with the CTA, Key Science Projects (KSP), publié par World Scientific, 2019



- **Données** (*voir présentation de Bruno Khélifi, Catherine Boisson, et Mathieu Servillat*)

Participation significative au Science User Support System (SUSS). Soutien européen avec ASTERICS puis ESCAPE

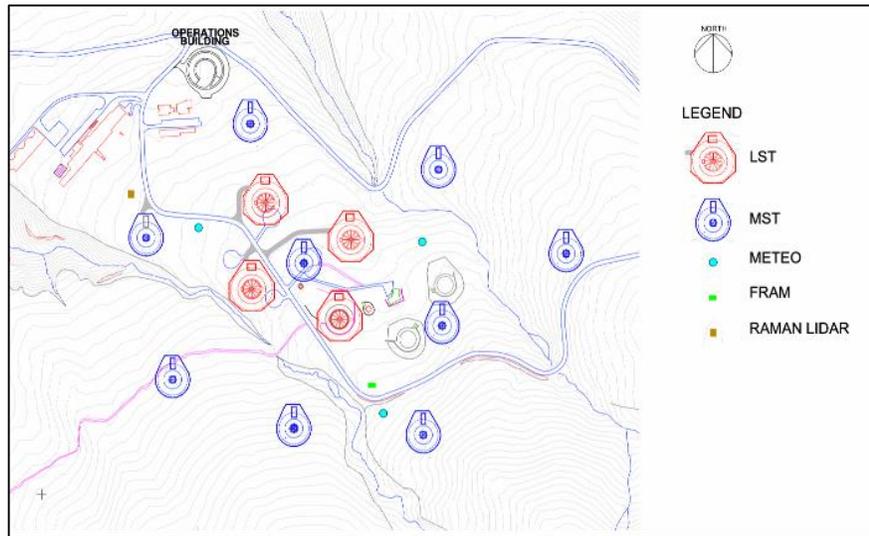
- **Télescopes SST de 4 mètres** (*contacts : Emma Rébert et H. Sol, et équipes du pôle instrumental et du LUTH*)

Participation à la construction du réseau des CTA-SST, suite à l'élaboration d'un prototype de télescope gamma opérationnel à Meudon (pGCT) : études mécaniques en cours, AIT, production industrielle

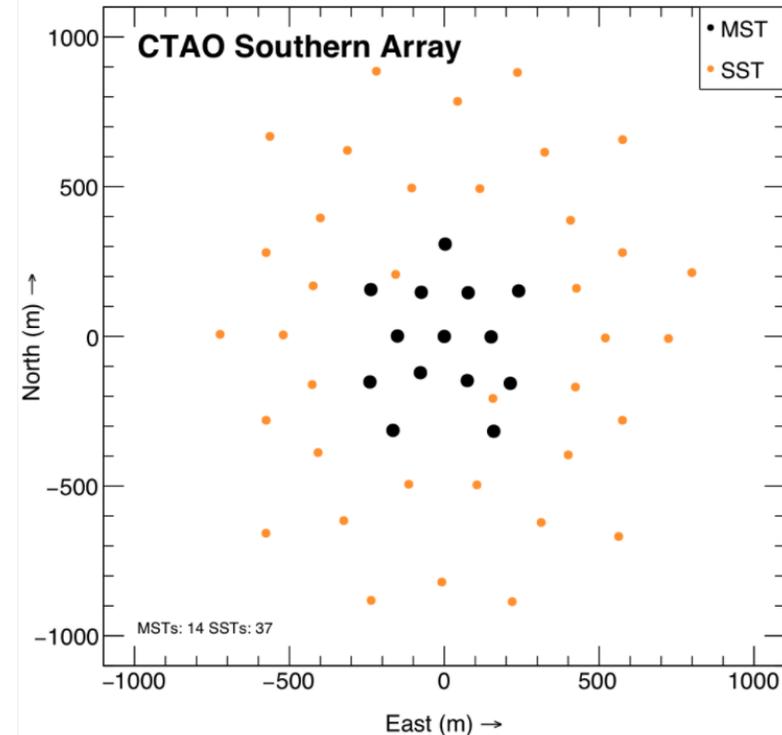
La France est le 2^{ème} partenaire du consortium international « CTA-SST » sous responsabilité italienne (INAF), par sa contribution aux structures de télescopes de 4 mètres.

1^{ère} phase de construction (financée) : configuration « alpha »

Site nord : 4 LST + 9 MST



Site sud : 14 MST + 37 SST



Contributions françaises TGIR :

- Caméras MST NectarCAM (nord) : CEA, IN2P3, INSU
- Contribution APC : **Distribution d'horloge de haute précision (système central ↔ caméras)**
- LST (nord) : LAPP-IN2P3

+ miroirs (CEA)

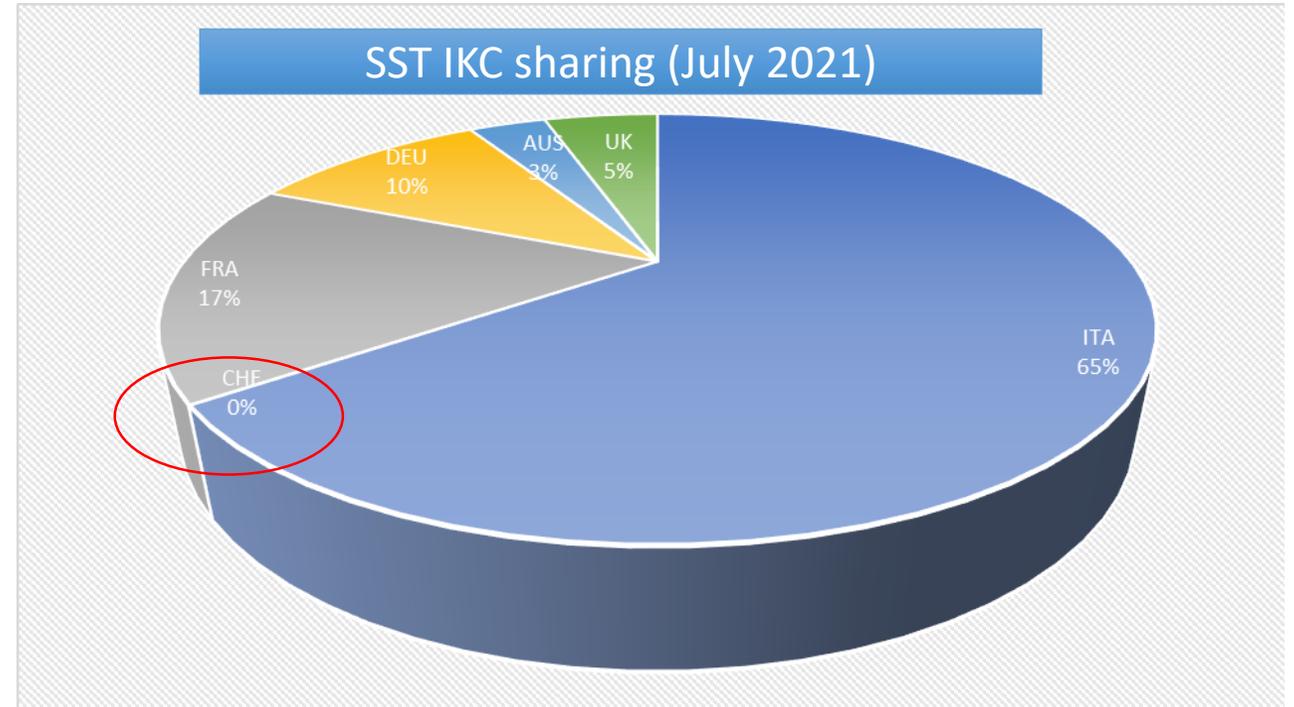
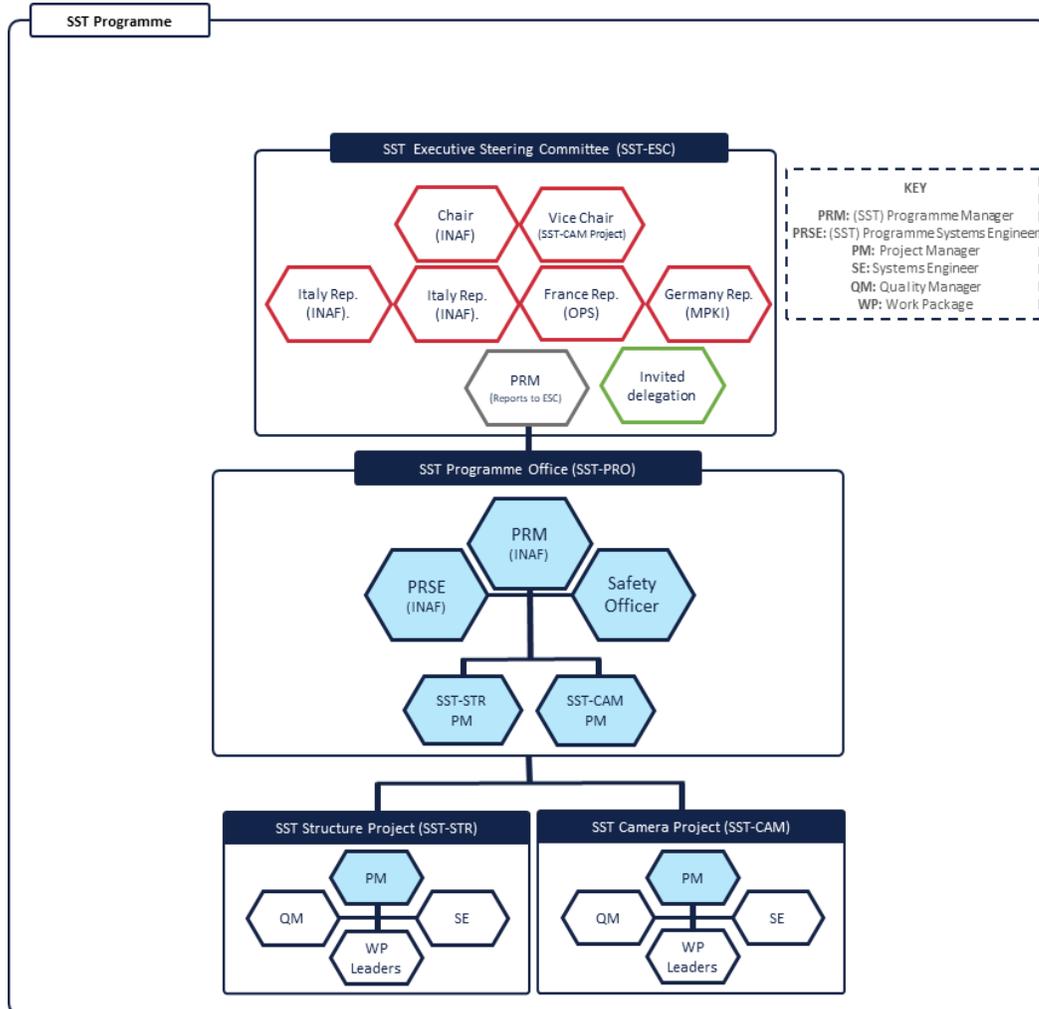
+ **données et sciences** (presque tous labos impliqués)

- Télescopes **CTA-SST** (sud) : INSU et Obs.Paris

Télescopes CTA-SST

- **37 SST**, Small Sized Telescopes de 4 mètres, sont prévus pour le site chilien en configuration alpha.
- Les travaux d'infrastructures générales ont démarré sur le site chilien. La structure juridique actuelle est une GmbH et la création d'un ERIC (structure juridique européenne) devrait aboutir fin 2022/début 2023.
- **L'INAF (Italie) est le coordinateur international du sous-réseau de CTA-SST**, en collaboration avec plusieurs partenaires : France (INSU/OP), Allemagne, Royaume-Uni, Japon, Pays-Bas, Brésil, Australie, Suisse, Afrique du Sud.
- Participation française au CTA-SST, suite à l'élaboration du pGCT, projet porté par l'OP et l'INSU, avec le soutien de l'IdF (SESAME et DIM-ACAV). Compagnie française principalement impliquée Alsym (maintenant Alsymex) du groupe ALCEN.
- Echanges nombreux et constructifs avec les équipes Italiennes depuis juin 2021. L'équipe de Meudon retravaille actuellement le **concept de la structure porteuse du miroir primaire et de toute l'optique** (M1 dish) qui est très massif (4 tonnes) et pourrait être allégé.
- Selon la Money Matrix transmise en 2021 : nous prévoyons la **fabrication de 12 structures mécaniques** de télescopes complètes **et leur Assemblage, Intégration et Tests (AIT)** - Budget TGIR dédié de 6.3 M€.

Organisation interne pour les CTA-SST et répartition de la contribution financière par pays



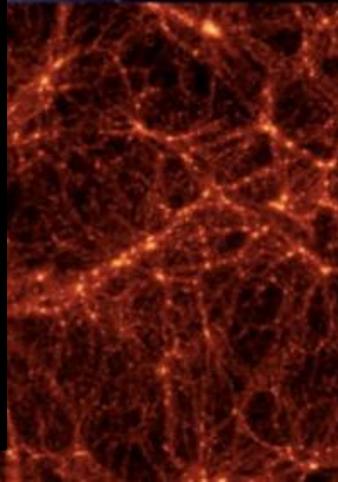
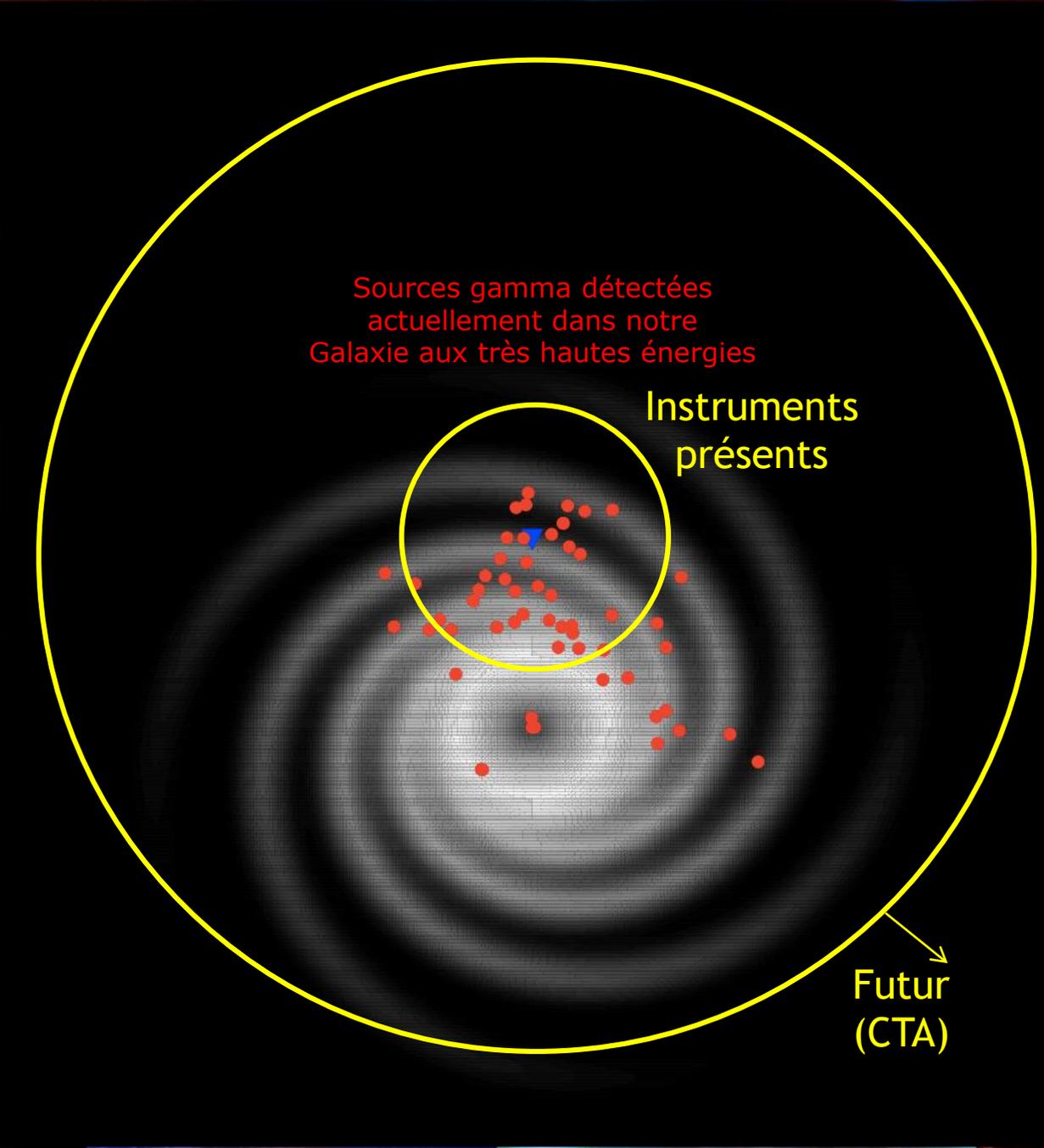
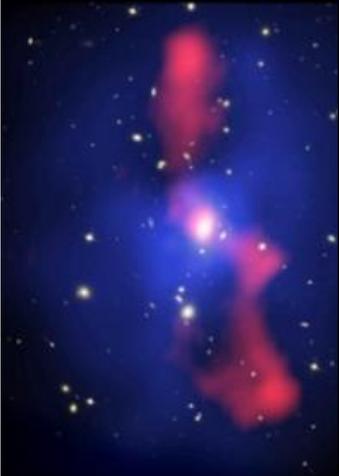
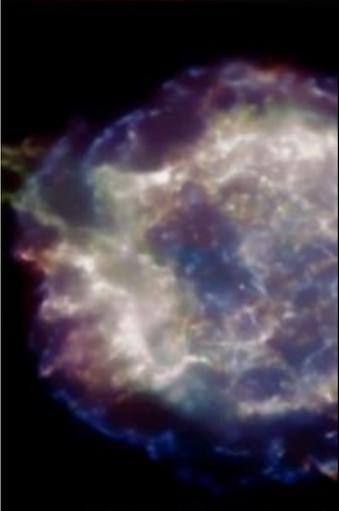
Pourcentages sujets à quelques évolutions. Cela définit notre % d'In-Kind-Contribution, qui sera relié au temps d'observation « offert » en priorité aux équipes françaises.

Configuration « omega » visée à terme :

Site nord : 4 LST + 15 MST

Site sud : 4 LST + 25 MST + **70 SST**





Le satellite THESEUS, un projet pour l'univers transitoire

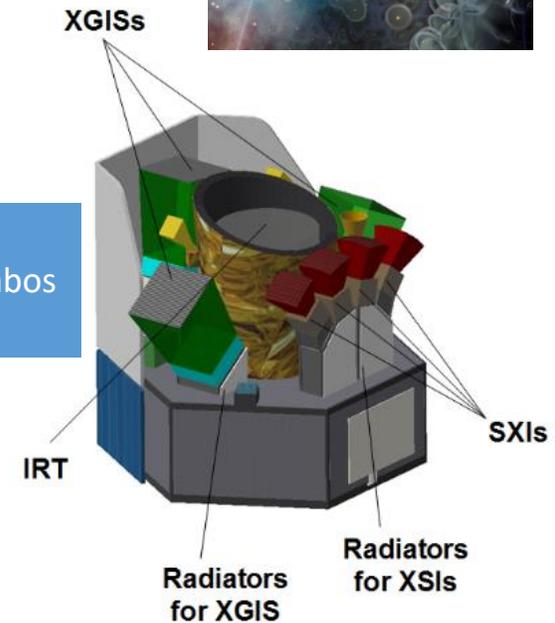
'Transient High Energy Sky and Early Universe Surveyor'



Trois instruments opérant en simultané :

- Deux instruments HE :
 - SXI, soft X-ray imager (0.3-5 keV)
 - XGIS, X and Gamma Imager and Spectrometer (2 keV-10 MeV)
 - Et l'IRT, télescope infrarouge (0.7-1.8 microns)
- Les SXI et XGIS à grand champ détecteront les transients et le satellite se réorientera pour placer la source découverte dans le champ de l'IRT pour caractériser les divers transients : GRB, multi-messagers, AGNs, étoiles éruptives, TDE tidal disruption events, FRBs, FELTs extragalactic fast evolving luminous transients, etc
 - Exploration de l'univers à grands redshifts
 - Tests des effets de LIV et de gravité quantique
 - Sélectionné par l'ESA pour une étude d'assessment, pour lancement éventuel en 2032. Durée de fonctionnement: 4 ans, prolongeable. Il y aura un 'guest observer programme'.

Mission THESEUS. Source
https://irfu.cea.fr/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast_technique.php?id_ast=4505



Le satellite THESEUS, un projet pour l'univers transitoire

'Transient High Energy Sky and Early Universe Surveyor'



Multi-thématiques, MWL, multi-messagers, réseaux d'alerte, monitoring et surveys, nombreuses synergies

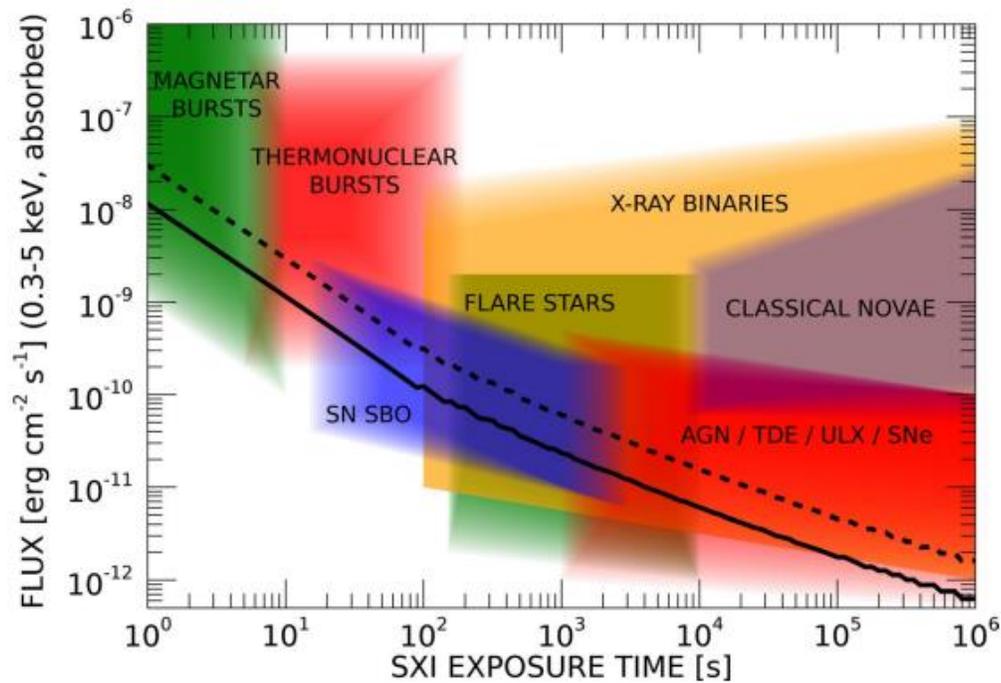
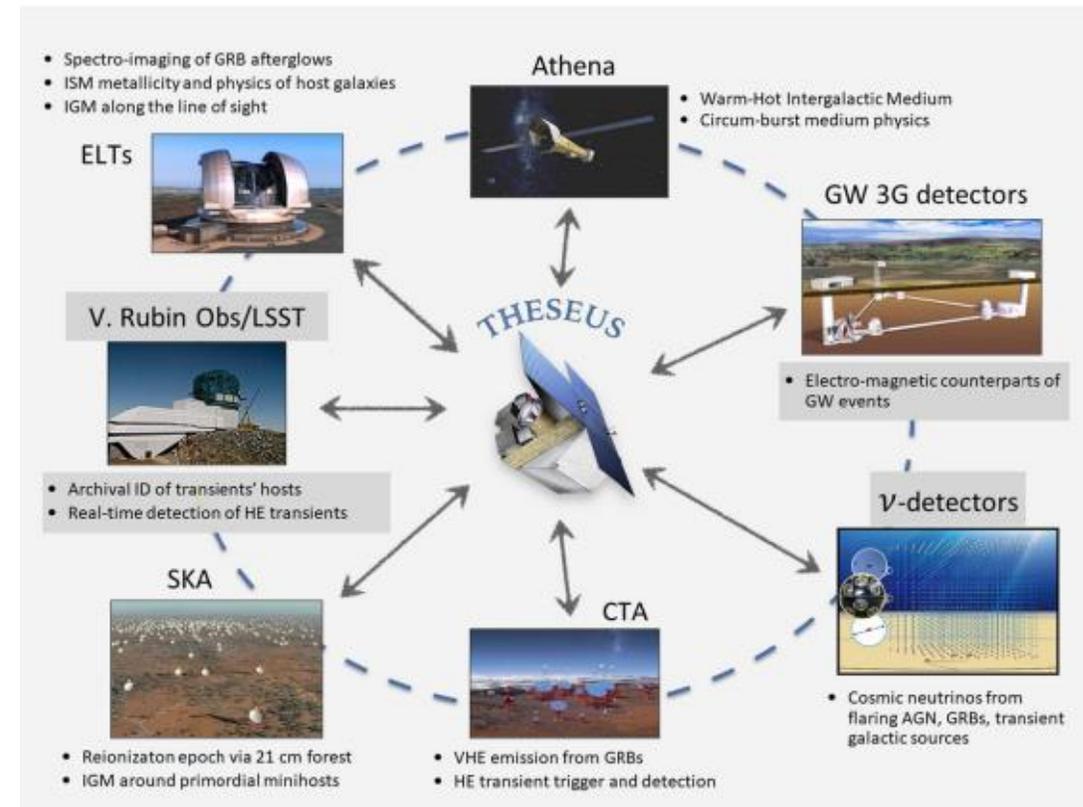


Fig. 1 SXI sensitivity as a function of exposure time for sources with an absorbed power law spectrum with photon index $\Gamma=2$ and $N_H=5 \times 10^{20}$ (solid line) or $N_H=10^{22} \text{ cm}^{-2}$ (dashed line). Both curves refer to absorbed source fluxes (0.3-5 keV) with a 95% probability to exceed a detection threshold of 3σ (see Appendix for details). Approximate regions of the fluxes and variability time scales expected from different classes of sources are also indicated



Banc de test et équipements pédagogiques

- Statut du pGCT de Meudon, prototype de télescope gamma (Gamma-ray Cherenkov Telescope)
- Projet de chambre à brouillard à destination des étudiants et du grand public

Première lumière Cherenkov en novembre 2015

- 2/6 panneaux M1, caméra CHEC prototype.
- Cf. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2016.05.059>

Équipement en miroirs métalliques de qualité :

- Installation de 2 nouveaux segments de miroir primaire en 2019 et 2020.
- Réception de 2 autres en sept. 2021 et des 2 derniers segments en fev-mars 2022.
→ Nouvel M1 complet très bientôt
- Commande d'un nouvel M2 suivant le même processus de fabrication que les segments du M1, avec réception prévue en avril 2022.

Performances optiques déjà grandement améliorées : PSF ~ **6,8mm** avec les nouveaux M1, conforme aux attentes

Avec le nouvel M2, la PSF devrait atteindre **3mm**, adaptée à des caméras à pixels fins (SiPM) de 2ème génération.

Autres actions en cours

- Négociations en cours pour équiper de façon permanente le pGCT d'une caméra CHEC prototype
- Projet de demande de financement à l'API HE pour le montage du nouvel M2 et la fabrication d'un support caméra
- Mise à disposition dès que possible (banc de test, observations, outil pédagogique)

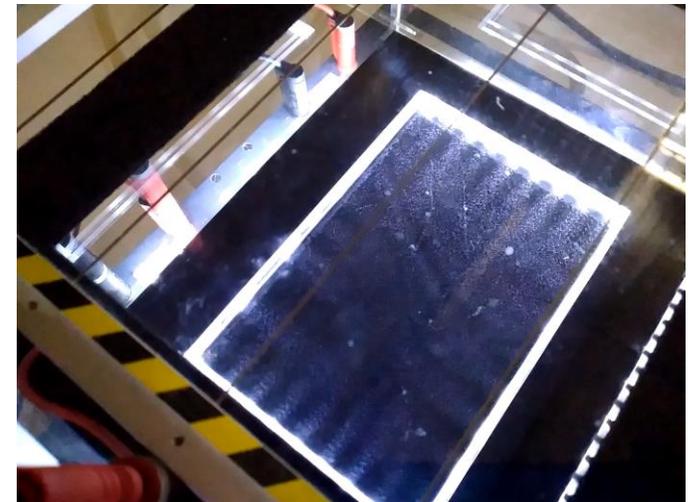
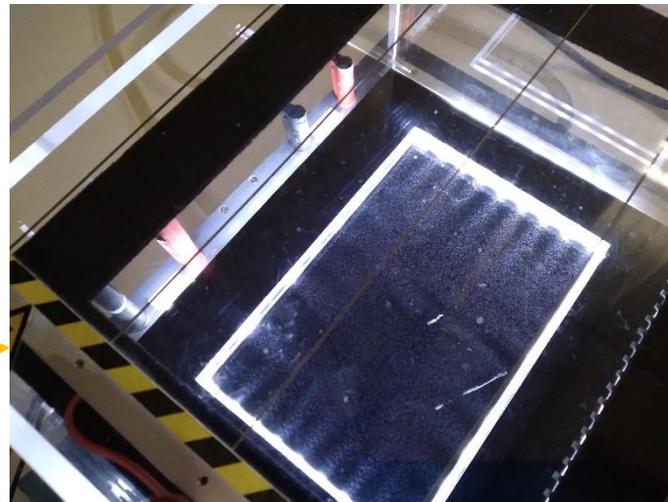
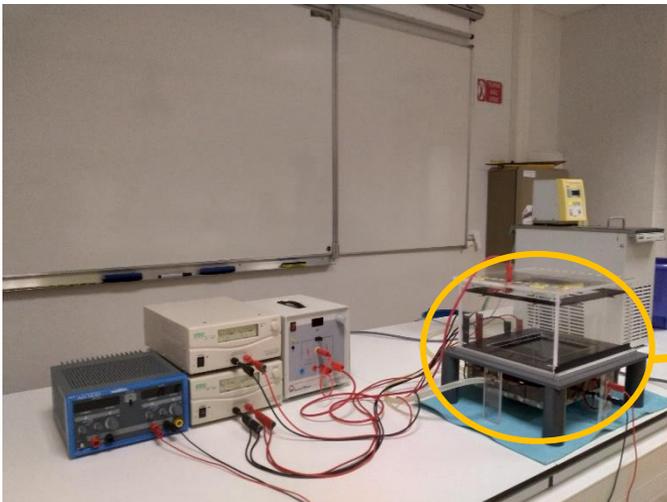


Projet de chambre à brouillard

Collaboration GEPI, LPENS – LERMA, LUTH (S. Croce, J.-L. Dournaux, G. Fasola, A. Gusdorf, E. Rébert, H. Sol)

L'objectif est de mettre à la disposition des étudiants et du grand public un outil permettant d'observer directement le passage des particules de haute énergie (Chambre à brouillard de Langsdorf).

La conception s'appuie sur le concept développé par le lycée René Descartes de Tours :



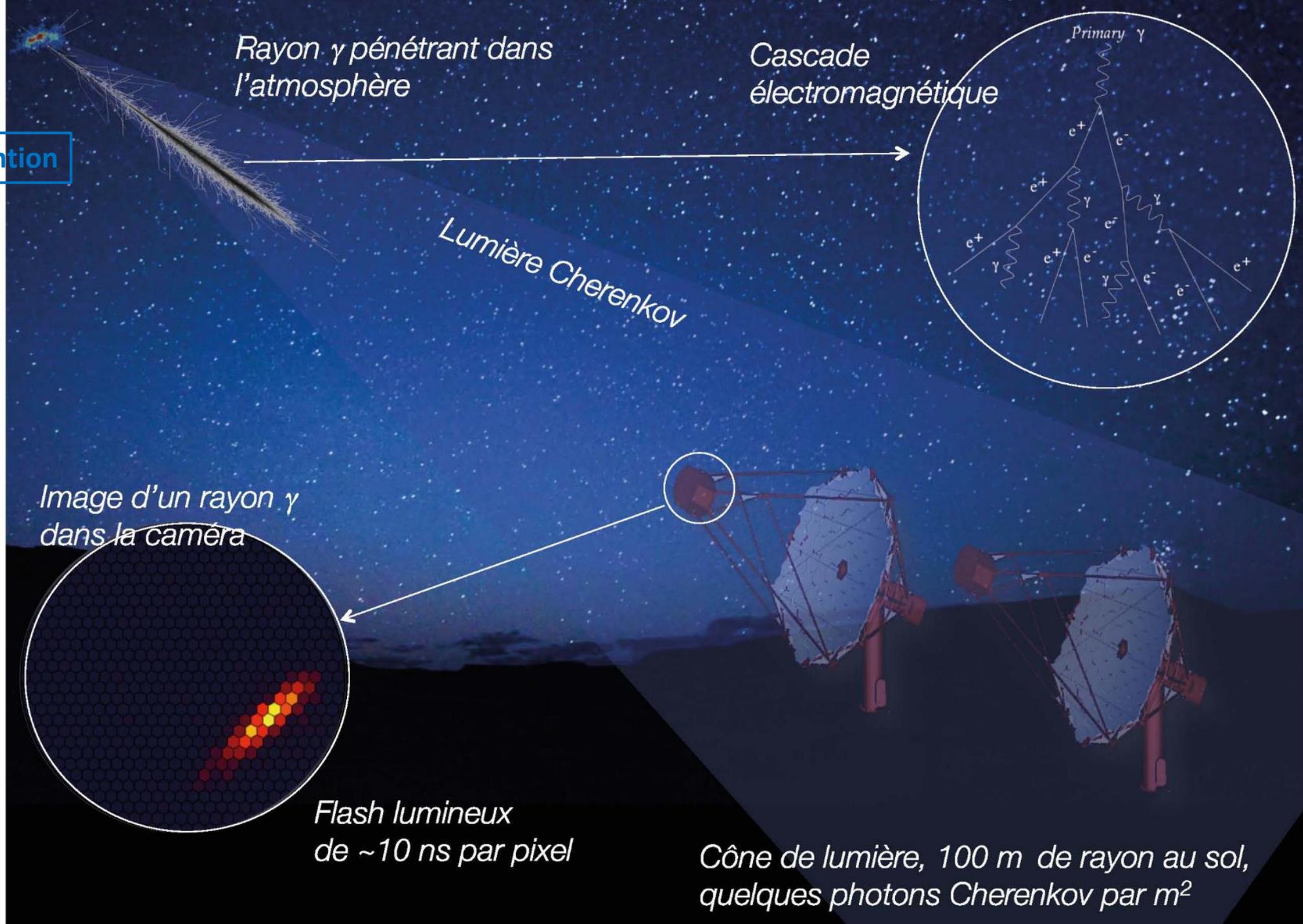
Les études ont débuté en 2021, la mise en service est attendue mi 2022.

La majorité des équipements a pu être financée par l'AF CTA. Une demande à l'API HE est prévue pour le financement d'équipements restants (modules Peltier, lampes LED).

Discussion : quelles perspectives pour les équipes de l'OP avec CTA ?

- Le consortium de CTA (CTAC) est en cours de réorganisation. Outre les **membres à part entière** de « CTA », il y aura vraisemblablement aussi un **statut de « scientifiques associés »** qui pourrait être intéressant pour certains chercheurs OP
- Nombreuses discussions actuelles sur les procédures d'attribution des temps d'observations, toujours « au mérite scientifique », pondéré par la nécessaire reconnaissance aux pays, instituts et équipes qui construisent le projet et y contribuent.
- Exemples de **questions ouvertes** : qui seront les porteurs responsables des différents « Key Science Project » (KSP) prévus, comment et par qui seront-ils « choisis » ? Comment vont se constituer les différentes collaborations sur les divers programmes d'observation (en temps de KSP ou en temps ouvert auquel la France aura accès) ?...
- Nécessité de **nous fédérer dès à présent sur les divers thèmes** qui nous intéressent pour pouvoir peser dans les décisions futures. --- > demandes à l'API HE ?
- Nécessité aussi de **nous préparer aux toutes premières observations d'« Early sciences »** qui pourront être faites avec les premiers télescopes qui seront assemblés sur site, pour être sûrs d'être bien prêts au bon moment !
- **R & D** instrumentale ? ...
- Quelle participation à **SWGGO** ?... à THESEUS ?

Merci de votre attention

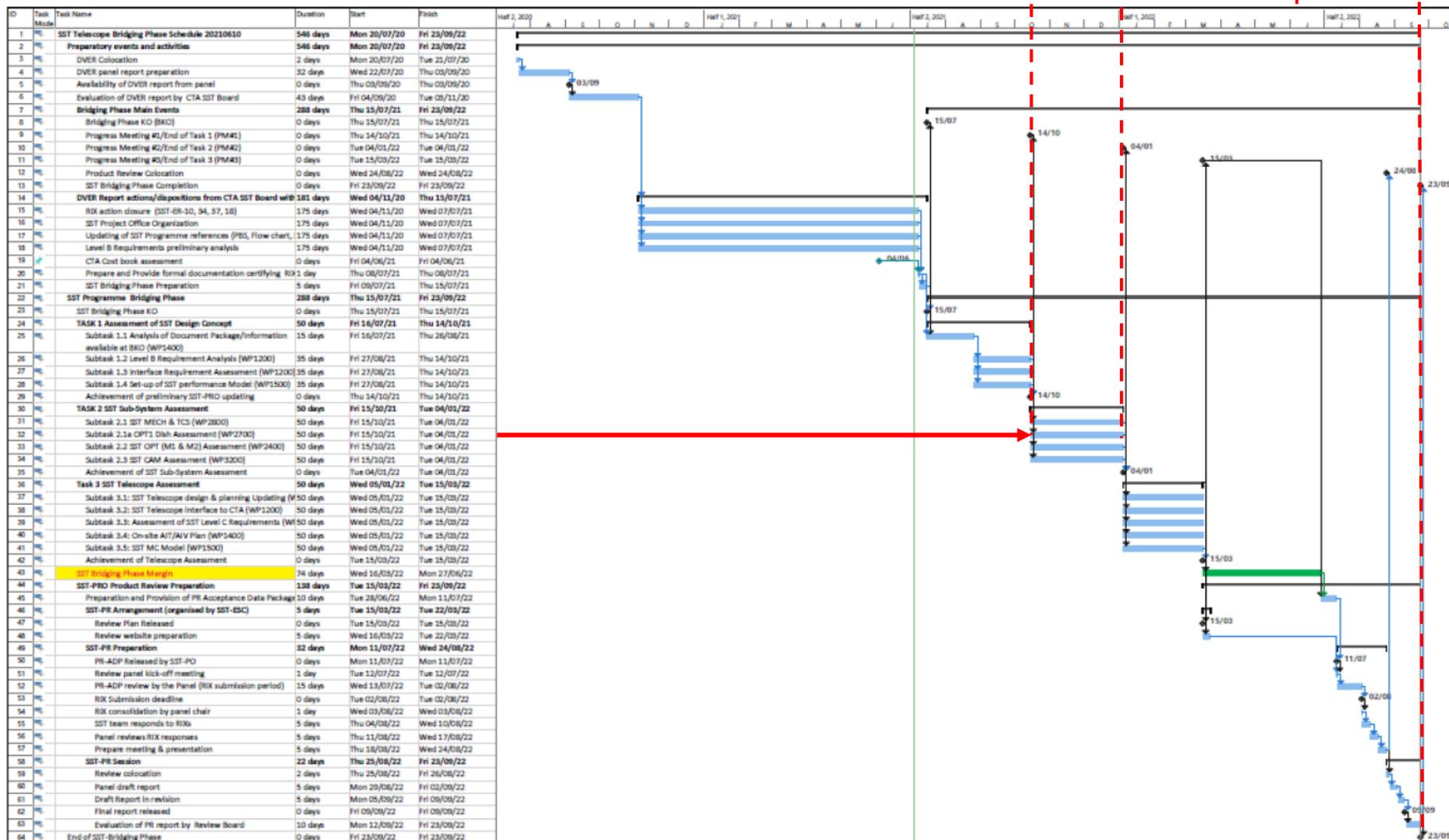


Compléments d'information,
si questions

Planning de la « Bridging Phase »

Octobre 2021 2022

Septembre 2022



A priori, le lancement de l'Appel d'Offre général nécessite la création de la structure juridique d'ERIC, qui semble avoir pris du retard.

Contribution de la France à la construction des CTA-SST

- Selon la Money Matrix transmise en 2021 : fabrication de **12 structures mécaniques de télescopes complètes et leur AIT** - Budget TGIR dédié de 6.3 M€.
 - *Alternative (à éviter)* : fabrication de 37 sous-composantes de structures (le nombre précis resterait à définir selon la forme de la contribution brésilienne)
 - Un bon montage industriel pourrait résoudre cette question, en restant sur la contribution de 12 structures pour la France, tout en garantissant des fabrications strictement identiques, en partie en France et en partie en Italie.
- Nature de l'appel d'offre : **en cours de discussion**
Agenda pressenti :
(NB : risque de délai si la création de l'ERIC est retardée)
 - AO en automne 2022;
 - Lancement fabrication fin 2023/début 2024;
 - Début installation sur site sud en 2024/2025.*(NB : risque de délai car nécessite des infrastructures sur site)*

