

Pulsar Timing Arrays



Gilles Theureau

Pulsar Timing Arrays

Une fédération de groupes à travers le monde

Structurée autour de radiotélescopes

Aux niveaux national, européen et international

Une organisation « artisanale »

Aucune discussion interne concernant la durabilité

Gilles Theureau



L'International Pulsar Timing Array

Effelsberg



Jodrell



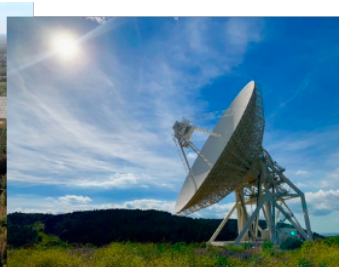
Westerbork



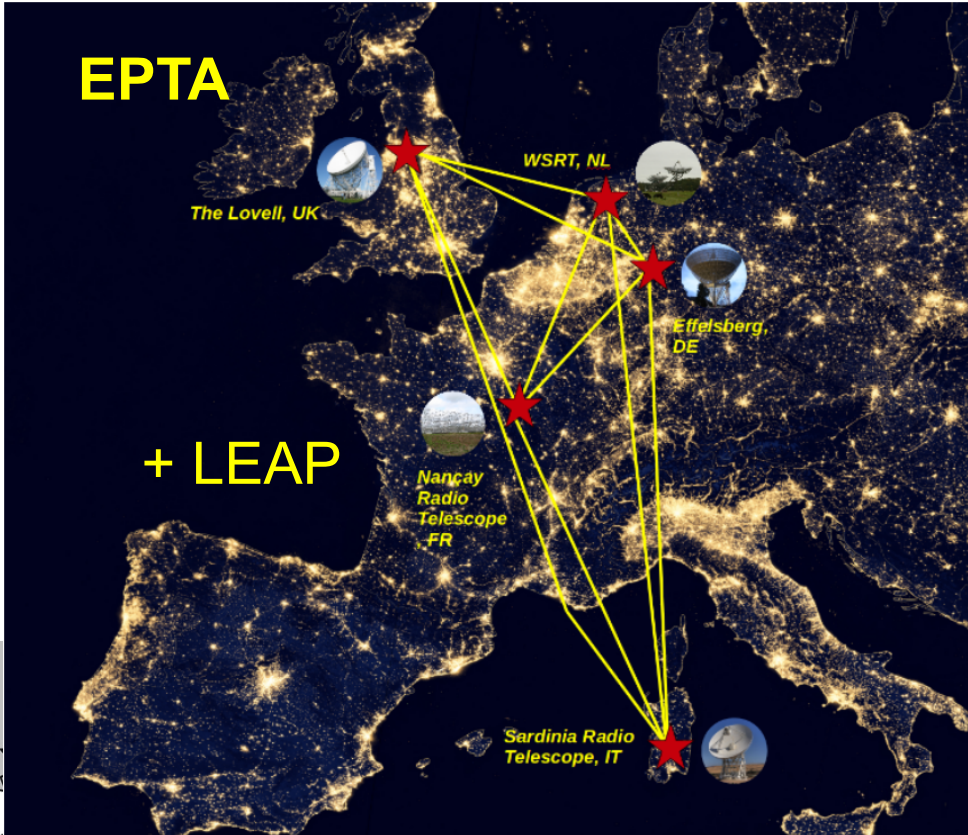
NRT



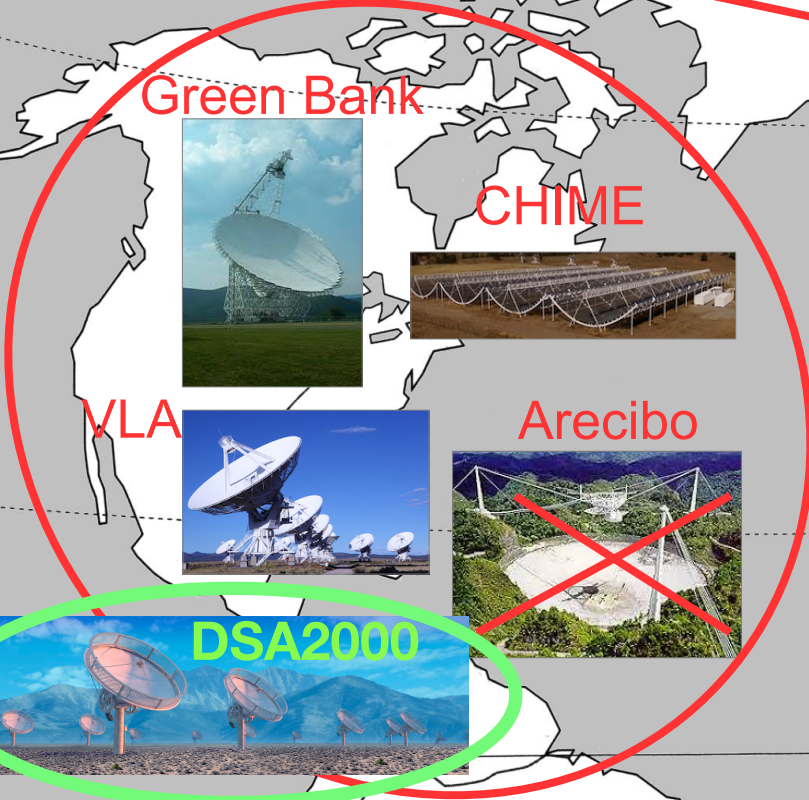
SRT



EPTA



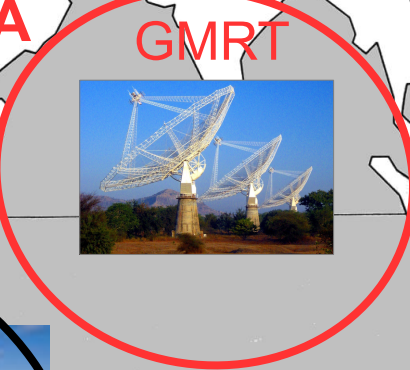
NANOGrav



EPTA
(5 radio telescopes)



InPTA



GMRT



CPTA
FAST



Parkes



PPTA

SAPTA
MeerKAT

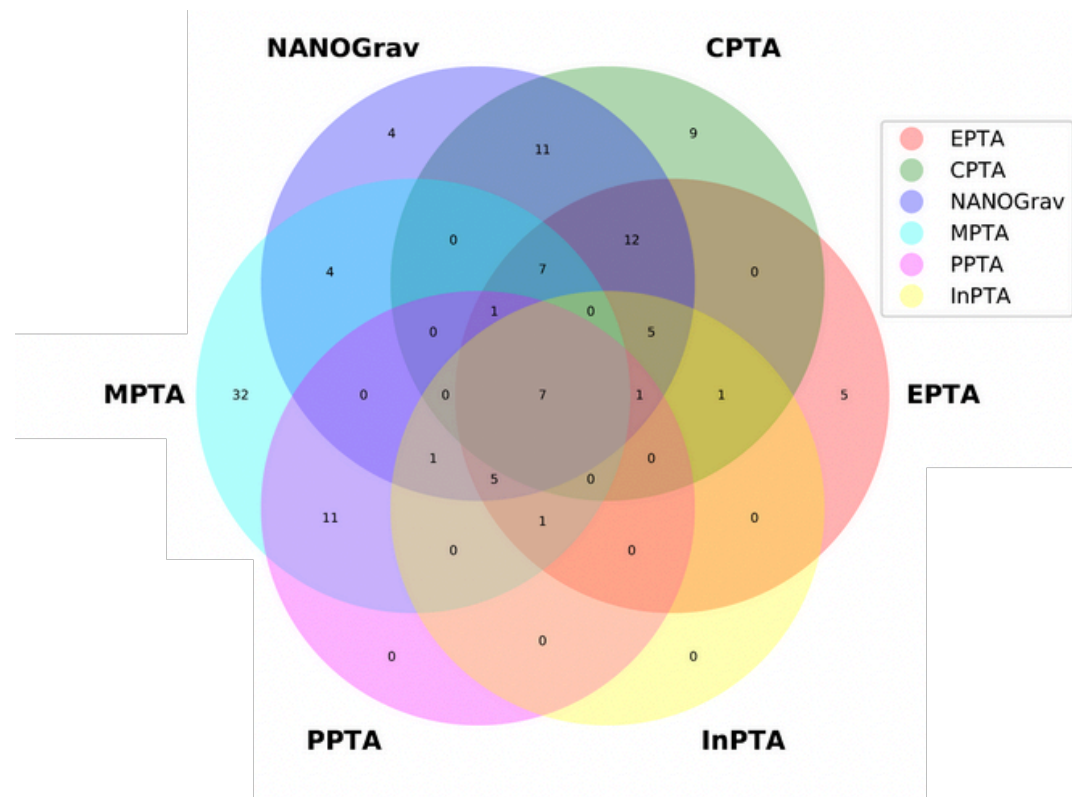
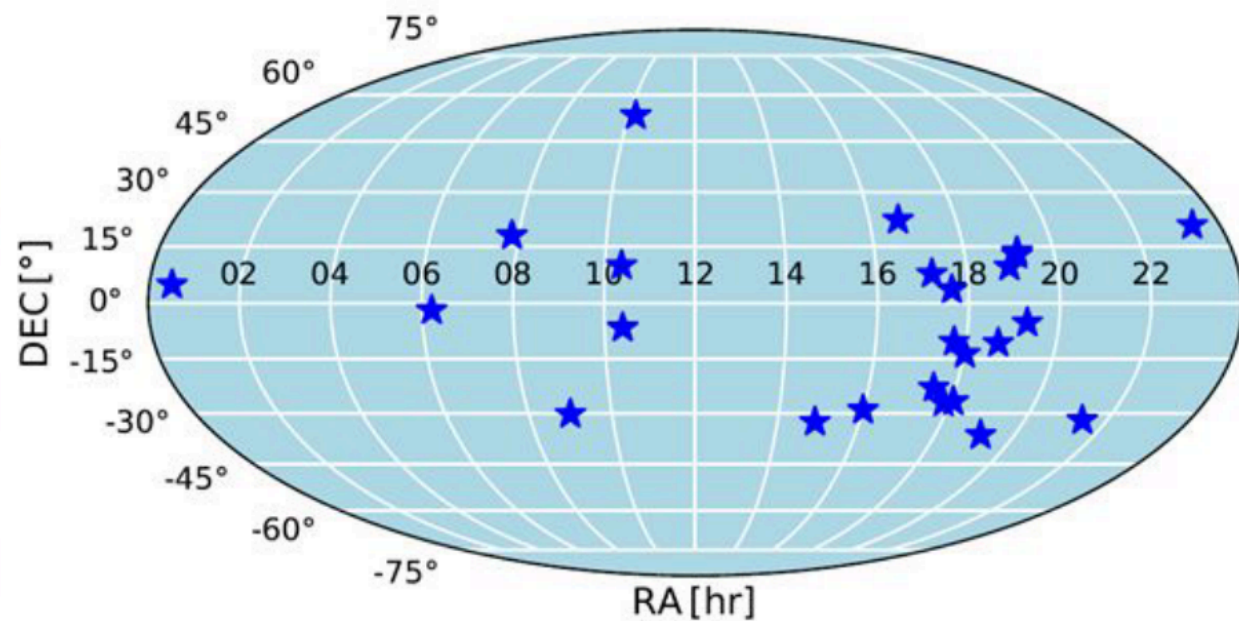


SKAO



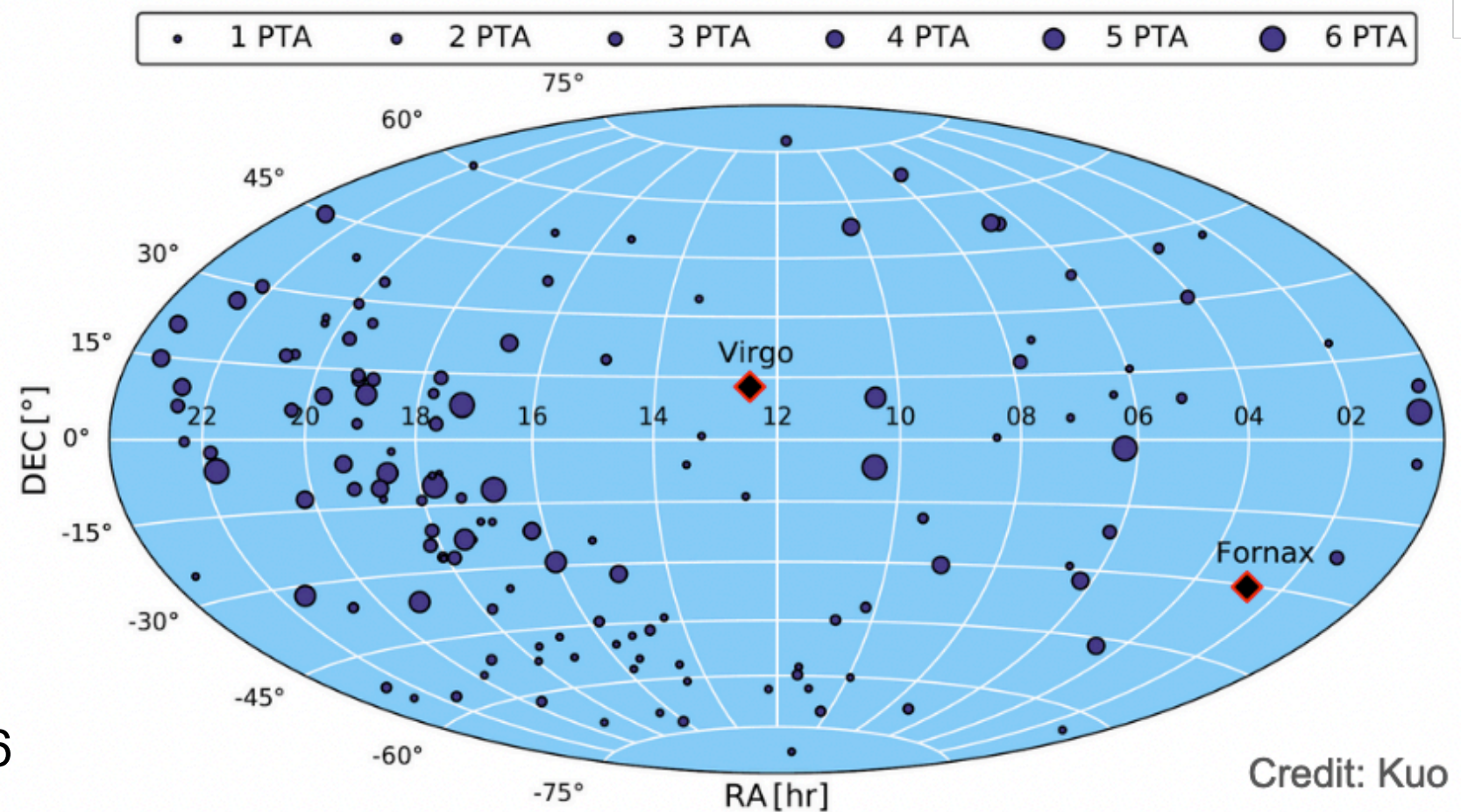
IPTA combination

EPTA 2023 (25 pulsars)



Data combination

> 130 pulsars
first results expected mid 2026



Credit: Kuo Liu

IPTA 3rd data release

L'European Pulsar Timing Array



~40 personnes

> 9 instituts

deux rencontres par an (Europe)

une à deux téléconfs/semaine

L'European Pulsar Timing Array

Effelsberg



Jodrell Bank



Westerbork
LOFAR-ILT



Nançay



Sardinia



Volume de données DR2 : ~22 Tb (archives full resolution)

Calcul DR2 : 2 M h.cpu

Volume de données DR3 : ~60 Tb

Calcul DR3 : 6.5 M h.cpu

Le NRT

(cf AO CSAA 2026)

« Hors fluides, l'impact est de 10,2 tCO₂e par an, ce qui est en bon accord avec l'estimation faite pour les dépenses 2025 aux 3/4 de l'année (7,4 tCO₂e).

Avec environ ~15 tCO₂e de fioul, on arrive à une première estimation de **~25tCO₂e/an** pour le fonctionnement du RTN (hors ressources humaines et grandes opérations peintures/structures) [...] comparé aux estimations trouvées dans Knodlseder et al 2022 (Nat Astr 6, 503) en Table 3 dans la colonne 'Footprint Opération', le RTN est environ un facteur 10 en dessous de radiotélescopes décimétriques de taille comparable (GBT, MeerKAT). »

PTA@NRT ~ 33% du temps de télescope total ~9 tCO₂e/an

Les autres télescopes dédient 48h par mois en moyenne —> 16 tCO₂e/an x 3 —> total : 58 tCO₂e/an

Analyse des données PTA

Plusieurs étapes de calcul :

1. Détermination du temps d'arrivée (TOA) : traitement des données brutes recueillies lors d'une observation (16Gb/s) afin d'extraire le TOA de l'impulsion avec une précision extrêmement élevée ;
2. Analyse d'un seul pulsar : traitement de tous les TOA pour un pulsar donné afin d'estimer les paramètres du pulsar (environ 20 paramètres) et le modèle de bruit (environ 10 modèles avec environ 20 à 40 paramètres chacun) ;
3. Analyse globale : traitement de tous les TOA des pulsars pour estimer les paramètres des signaux GW et les bruits globaux (plusieurs types de signaux ; de 2 à 100 paramètres) permettant certaines variations de certains des paramètres individuels du bruit des pulsars.

Méthodes actuellement utilisées :

Méthode Bayésienne avec sélection d'hypermodèle (MCMC et échantillonnage imbriqué)

- Données : 60 pulsars sont actuellement analysés avec environ 5 000 à 10 000 TOA par pulsar.
- TOA non échantillonnés régulièrement => le calcul de vraisemblance a nécessité l'inversion d'une grande matrice, ($\sim 10^5 \times 10^5$ mais bientôt $\sim 10^6 \times 10^6$).

Traitement de la DR2 2021-2023 ~ 2 M cpu.h ~ 9.4 t CO₂e

Traitement de la DR3 2025-2027 ~ 6.5 M cpu.h ~ 30.7 t CO₂

**Stockage DR3 = 0.24 gCO₂e/an/Go $\times 60 \sim 14.4$ kg CO₂e/an ~ 100 kg CO₂e/15ans
 ~ 180 kg CO₂e/25 ans**

PTA-France 2026

Accronyme du projet	PTA-France
Nom du·de la porteur·se	Gilles Theureau
Nombre de personnes.mois	5
Budget demandé [€]	16000
Année de référence	2026

Déplacements / missions					
Destination & moyen de transport	Nombre de déplacements A/R	FE [kg CO2 / déplacement]	erreur FE [%]	GES [kg CO2e]	erreur GES [kg CO2e]
Avion vers l'Amérique du Nord		2432,00	60%	0	0
Avion vers l'Amérique Latine		3040,00	60%	0	0
Avion vers l'Océanie		4560,00	60%	0	0
Avion vers l'Asie		2432,00	60%	0	0
Avion vers l'Afrique	3	2432,00	60%	7296	4378
Avion vers l'Europe (incl. France)		413,76	60%	0	0
Train en Europe	10	32,00	60%	320	192
Train en France	15	2,82	60%	42	25
Voiture		49,59	60%	0	0
Sous-total missions				7658	4595

Référence des FE : GdR Labos1point5 & ADEME

Hébergement					
Destination	Nombre de nuit(s) d'hôtel	FE [kg CO2 / nuit]	erreur FE [%]	GES [kg CO2e]	erreur GES [kg CO2e]
Europe & Amérique	30	15,00	60%	450	270
Asie & Moyen-Orient		50,00	60%	0	0
Océanie		40,00	60%	0	0
Afrique du Nord et Afrique du Sud	21	40,00	60%	840	504
Afrique centrale		20,00	60%	0	0
Sous-total hébergement				1290	774

Référence des FE : Cornell Hotel Sustainability Benchmarking (CHSB) Index 2024

Restauration / Traiteur					
Type	Nombre	FE [kg CO2 / repas]	erreur FE [%]	GES [kg CO2e]	erreur GES [kg CO2e]
Repas mixte	90	2,10	50%	189	94
Repas végétarien	27	1,12	50%	30	15
Repas végétan		0,79	50%	0	0
Pause café (café/thé + jus de fruit + viennoiserie)		0,36	50%	0	0
Sous-total restauration				219	109

Référence des FE : GdR Labos1point5 & ADEME

Missions/fonctionnement PTA-France : 9,16 t CO2e/an

EPTA —> 50 t CO2e/an ?

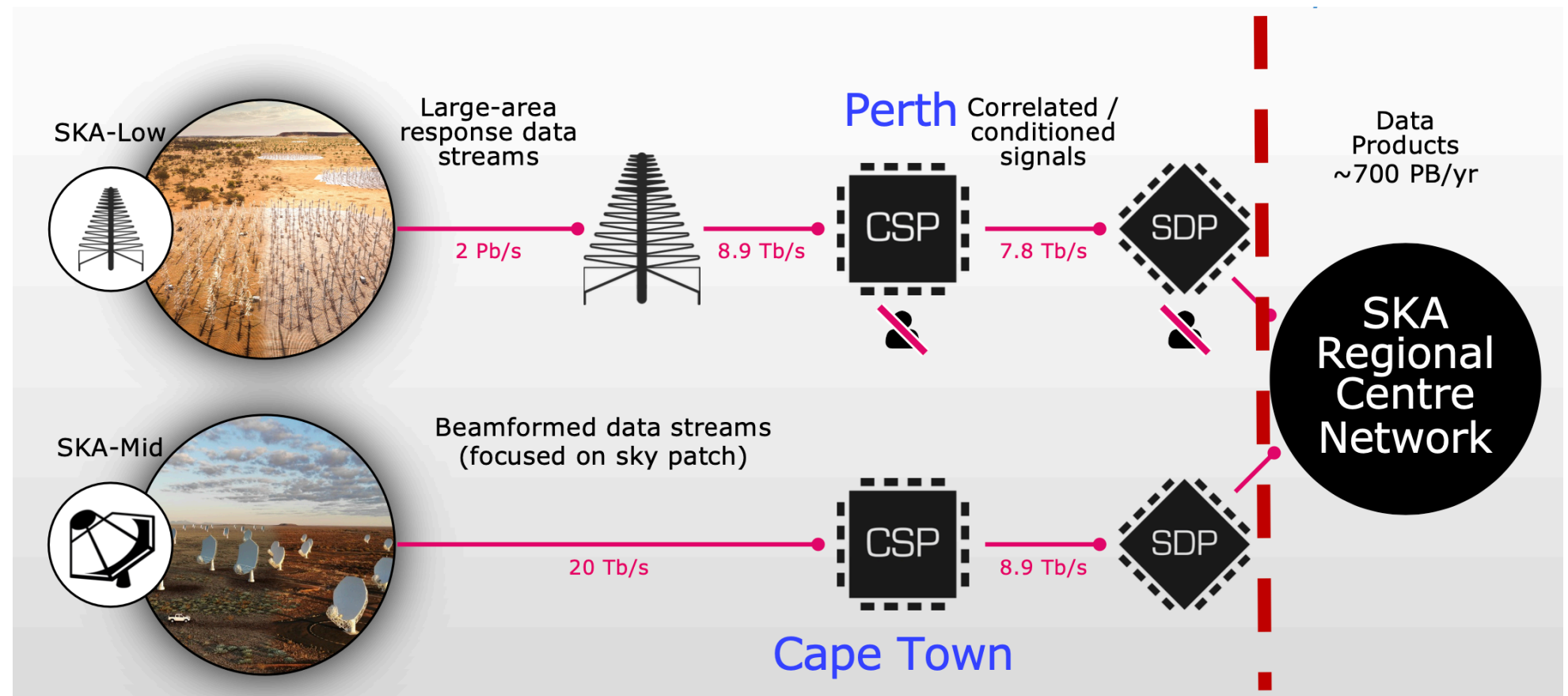
l'ère SKA

Total :

12 MW

3,15 10³ tCO₂e/an

(Énergie solaire 30g/kWh)



Ressources matérielles « promises » par la France 3 % des ressources globales SRCNet

3 PB en janvier 2026 —> 32 PB en juin 2028

0.11 PFLOPS en janvier 2026 —> 1.05 PFLOPS en juin 2028

PTA@SKA

174 pulsars, 2 weeks cadence, 9 hrs/run ~ 12% du temps de télescope ~100 PB en 2028

~ 4 PFLOPS

~10500 kW.h

~ 380 t CO₂/an

~100 t CO₂/release