

Vers SKA: les nouvelles technologies

Forum pre-SKA 09/10/2010
Observatoire de Paris

Philippe Picard Station de Radioastronomie de Nançay
philippe.picard@obs-nancay.fr

SKA: SquareKilometreArray

Prochain radiotélescope géant en ondes radio décimétriques et centimétriques, horizon 2020-2025

- **Surface collectrice: 10^6 m^2**

gain de 100 en sensibilité par rapport aux instruments actuels

- *Très large bande: 70 MHz – 25 GHz (λ 3 m- 1 cm)*
- *Très grand champ: 200 deg² @ $f < 0.3$ GHz 50 deg² @ 1 GHz*
- *Plusieurs beams simultanés*
- *Haute résolution angulaire: lignes de base jusqu'à 3000 km*
($14 \cdot 10^3$ arcs @ 1,4 GHz)
- **Coût estimé ~ $1.5 \cdot 10^9$ EUR**

Large bande, grand champ, haute résolution angulaire, multi beams

SKA doit être un instrument **généraliste** optimisé pour les **très grands surveys rapides**

Résoudre en instrumentation radio le dilemme
très grand champ / haute résolution angulaire

Pour un collecteur d'onde de diamètre D , la largeur de beam est approximée à λ/D , c'est l'angle de champ maximum avec un seul beam (1° à 1,4 GHz pour $D=12\text{m}$)

L'accès simultané grand champ / haute résolution angulaire impose un réseau d'interféromètres utilisant des collecteurs de diamètre D , de ligne de base maximum L_{max} ce qui permet de construire une imagerie radio

- D donne l'angle de champ λ/D (1° pour 12 m)
- L_{max} donne la résolution λ/L_{max} ($36 \cdot 10^3$ arc. pour 1200 km)

Augmentation du champ accessible

Diminuer le diamètre du collecteur élémentaire

ex: 40° à 1,4 GHz pour $D = 30\text{ m}$

=> perte énorme de sensibilité à compenser par une multiplication du nombre de collecteurs, 1600 par rapport à un collecteur de 12 m

Plusieurs beams simultanés

Avec n beams par collecteurs, le champ accessible est $n\lambda/D$

Chaque beam doit être équipé de sa chaîne de réception et traitement de signal

Avec $D = 12\text{ m}$, atteindre 40° d'angle de champ requiert 40 beams ..

SKA doit être un instrument multi beams

Synthèse de beams indépendants

- *Phased Array Feed sur collecteurs paraboliques
APERTIF (0.7 – 1.8 GHz), ASKAP...*
- *Réseaux phasés utilisant des antennes élémentaires sans réflecteur
LOFAR (30 – 240 MHz, 96 antennes BF, 96x16 antennes HF)
EMBRACE (0.5 – 1.5 GHz, 80x72 antennes à Nançay)*

Synthèse d'une grille de beams

- *Transformées spatiales sur chaque flux d'antenne*

Cluster d'antennes sur un collecteur

- *Cluster de cornets (13 à Parkes, 7 à Arecibo)*

Cluster d'antennes sur collecteur (pas prévu dans SKA)

- *Chaque beam accède à un champ d'angle λ/D*
- *Nombre limité d'antennes au foyer du collecteur, donc de beams*

Phased Array Feed (f < 2 GHz, BW < 500 MHz)

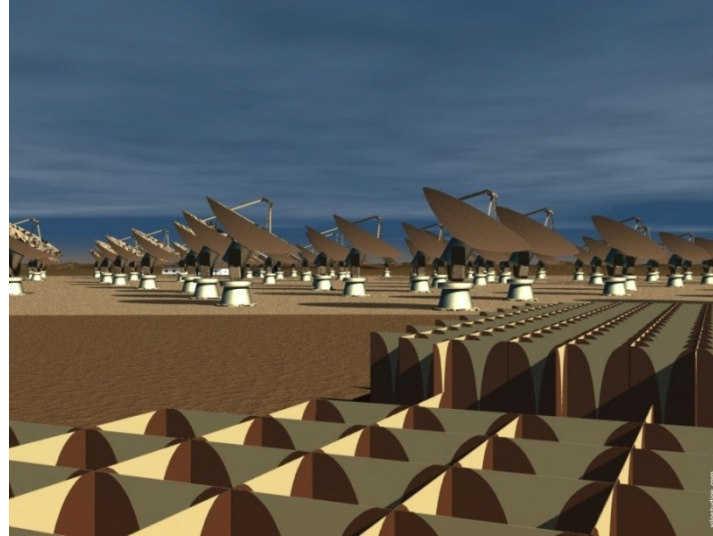
- *Réseau au foyer d'environ 10x10 antennes élémentaires*
- *Grand nombre de beams (~20 à 50)*
- *Chaque beam accède à un champ d'angle λ/D*
- *Une chaîne de réception / signal processing par antenne élémentaire*

Réseau phasé sans réflecteur (f < 2 GHz, BW < 500 MHz)

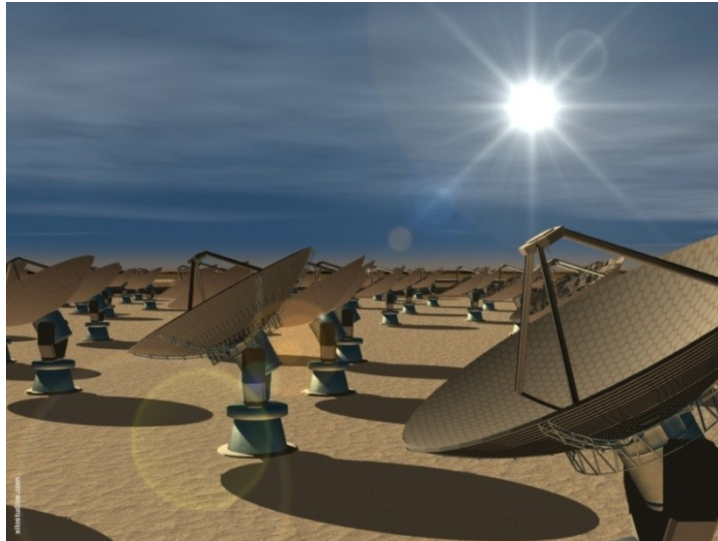
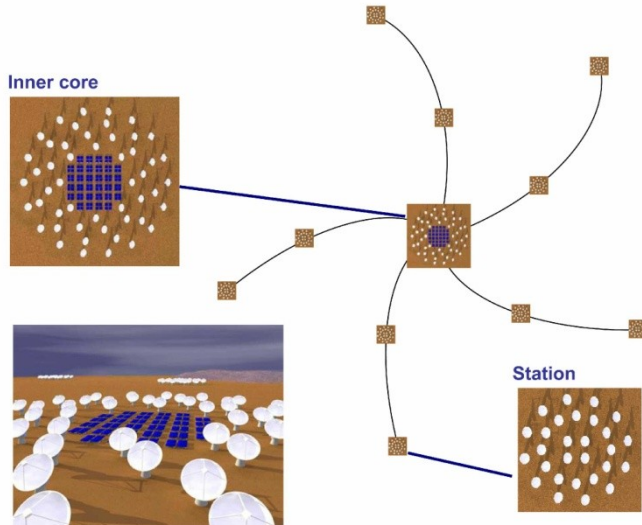
- *Très grand nombre d'antennes élémentaires quasi omnidirectionnelles*
- *Très grand nombre de beams (~100 à 500)*
- *Chaque beam accède à un champ d'angle λ/D (D diamètre d'une station)*
- *Pour réduire le traitement numérique, beamforming hiérarchisé*

SKA doit être un instrument hybride utilisant plusieurs concepts multi beams

SKA reference design (1)

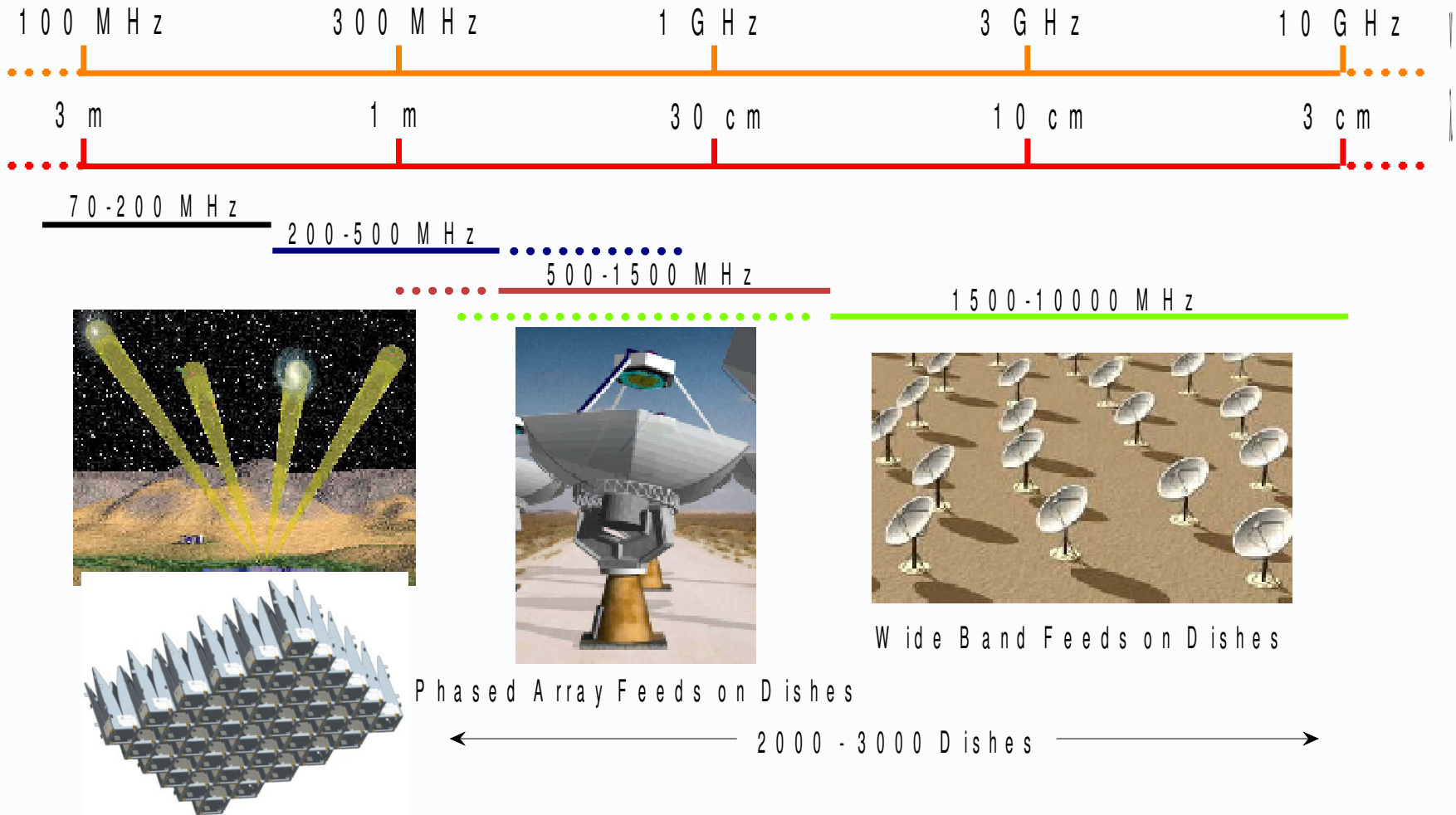


Core:
200,000 m² of
phased array
- tiles



Station:
parabolas
with Phased
Array Feed

SKA reference design (2)



Multi beams avec un Phased Array Feed



Largeur à mi puissance de chaque beam: $\sim \lambda/D$

Pour $D=12\text{m}$

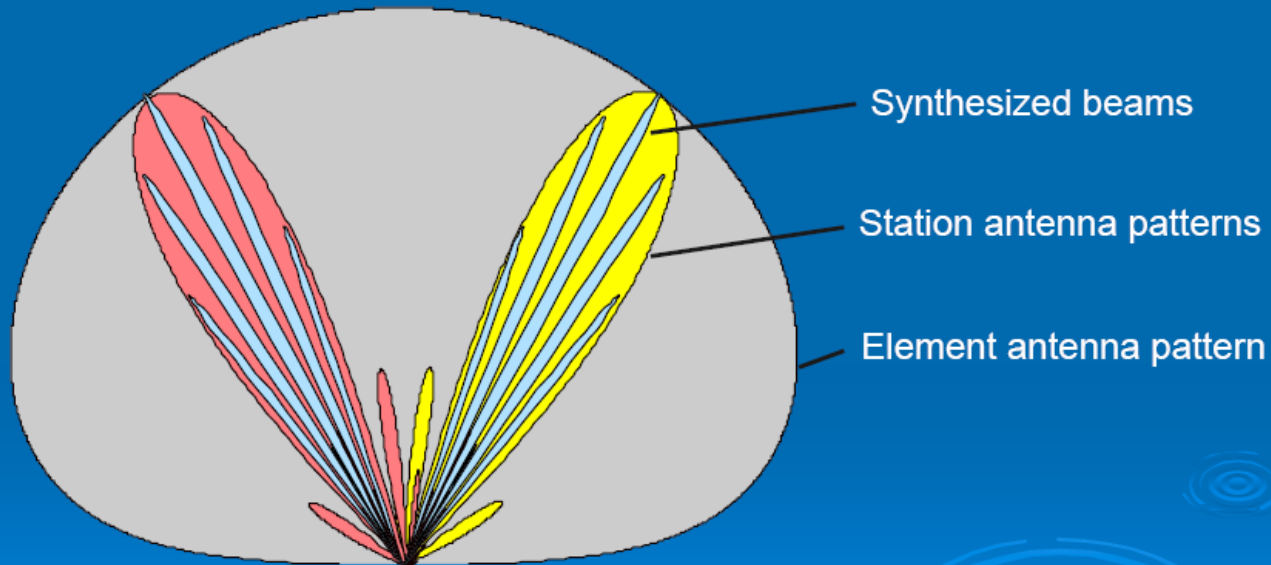
Champ d'un beam $\sim 1 \text{ sq deg @ } 1.4 \text{ GHz}$

Réseau de $\sim 10 \times 10$ antennes élémentaires
20 beams: Champ de 20 sq deg

Les beams sont simultanés, chaque beam est indépendant des autres

Intérêt des Phased Array Feeds: accéder à un champ plus grand que λ/D

Aperture Array

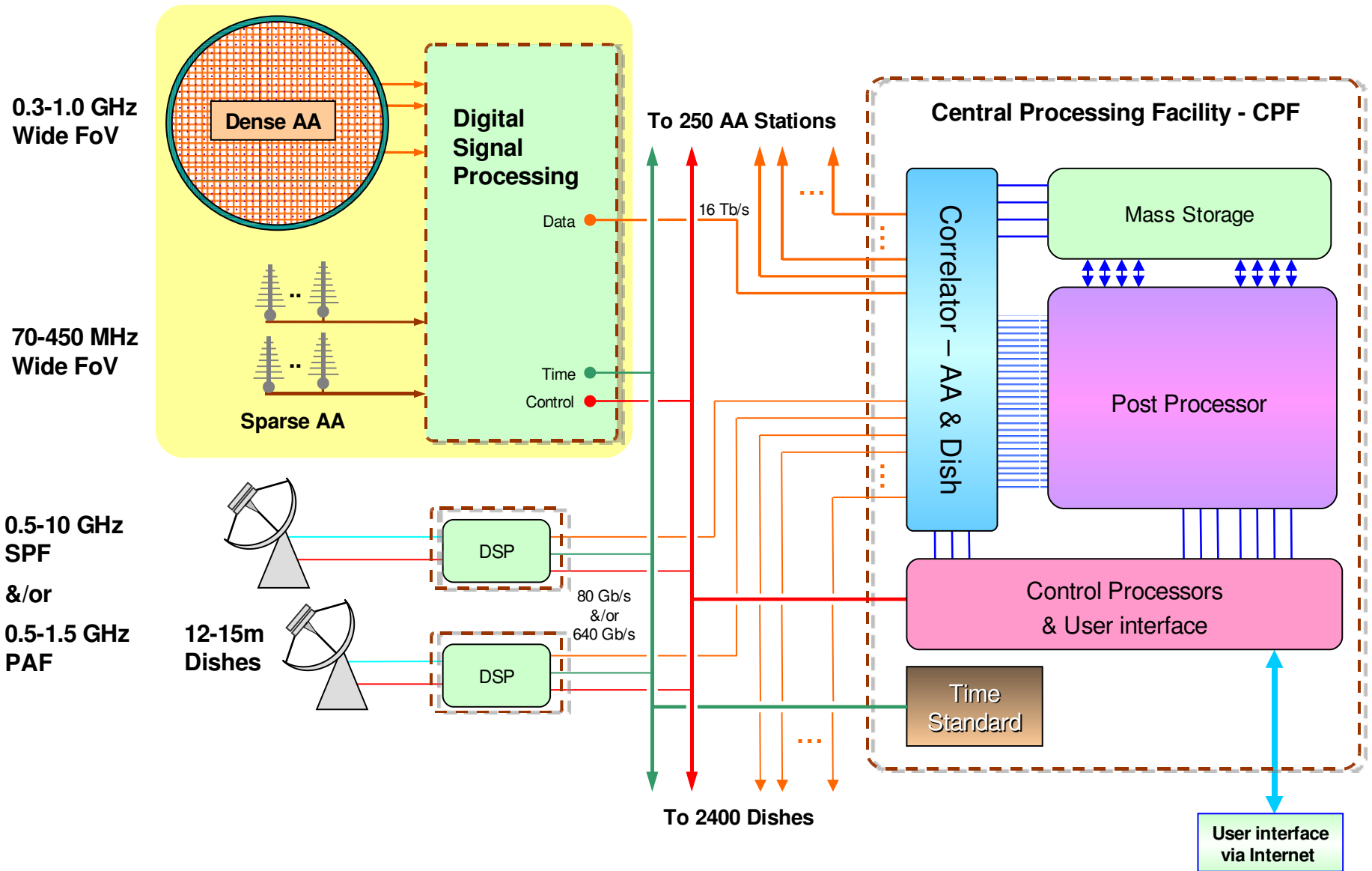


Tuiles de ~ 1 à quelques m^2 , 8×8 à 16×16 antennes élémentaires (deux polarisations)

- Beamforming RF + beamforming numérique (démonstrateur SKADS EMBRACE)
- Beamforming entièrement numérique (démonstrateur SKADS 2-PAD)

Angle de champ EMBRACE: $2 \times 11^\circ$ @ 1,4 GHz

Architecture de SKA



Les concepts de réseaux phasés sont très prometteurs mais **quelques effets secondaires sont à évaluer** pour valider ces concepts pour un très grand radiotélescope

Les LNA ne sont pas refroidis (trop grand nombre)

➤ Température de bruit?

Le lobe de chaque beam change suivant la direction de visée (les beams sont synthétisés)

➤ Beam « propre » et bien défini uniquement à l'orthogonale du réseau

➤ Difficulté de calibration (retour d'expérience LOFAR très attendu)

Très grand nombre d'éléments et voies de réception et traitement de signal

➤ Coût, consommation électrique

Synthèse de beams par traitement de signal

➤ Bande passante numérique très élevée

➤ Puissance de calcul gigantesque

➤ Coût et consommation électrique en conséquence

SKA precursor: ASKAP (Australia)

Array of 36 dishes Ø12m with Phased Array Feed

- Frequency range 0.7 to 1.8 GHz
- Instantaneous bandwidth 300 MHz
- T_{sys} 50 K after beamforming
- 30 independent beams of 1 sq deg each @ 1.4 GHz
- Cross correlation on a per beam basis
- FoV: 30 sq deg @ 1.4 GHz
- Max. baseline 6 km (optimized for beam size of 30 arcsec)

Western Australia site (Murchison Radio Observatory),
very low RFI environment

Digital beamforming per antenna: ~100 dual pol elements

After sub-banding, beamforming in each subband by a weighted sum of all elements, up to 30 beams in each subband.

Cross correlation of all same beams for all antennas

Beta phase of six antennas by 2011

Fully operational by 2013

SKA precursor: MeerKAT (South Africa)

Up to 80 dishes, Ø12m

Feed: 2:1 corrugated horns + wideband feeds

Frequency range: 0.7 to 10 GHz

Instantaneous bandwidth: 1 GHz

Max. baseline: 8 km ; with flexible beam size (6-60 arcsec)

Fully operational by 2013

KAT-7: 7 antennas on site by the end of 2009

SKA pathfinder: ATA (USA)

Up to 350 dishes, Ø 6m

Feed: Wideband single pixel

Frequency range: 0.5 to 11 GHz

Max. baseline: a few km

Operation: ATA 42 since end of 2007 – future enlargement?

SKA en Europe

SKADS (E.C FP6)

Programme de R&D

- *Technologies critiques (LNA, ADC, antennes, processeurs)*
- *Méthodes de calibration*
- *Démonstrateurs technologiques*
 - EMBRACE (Nancay et Westerbork) beamforming RF*
 - 2 Pad beamforming tout numérique*

PrepSKA / AAVP

Phase préparatoire vers SKA Phase 1

- *Équipe technique centrale ODIT à Manchester (E.C FP7)*
- *Gouvernance du projet SKA*
- *Dish Verification Program 2 paraboles et corrélation (E.C FP7)*
- *Aperture Array Verification Program pathfinder AA (science)*
- *Designs pour construire la phase 1 de SKA (10% de la surface)*



Tuile EMBRACE en test à Nançay