

Premier mini-réseau prototype de la LSS à Nançay précurseur de NÉNUFAR.

Des antennes tournées vers l'origine de l'Univers

Tout en commençant l'exploitation scientifique de LOFAR, la communauté radio basse fréquence européenne réfléchit à diverses extensions de ses capacités.

En France, cette réflexion a conduit au concept de « super-station LOFAR » (LSS) qui ajoutera à la station FR606 existante sur le site de la Station de Radioastronomie de Nançay, un 3^{ème} groupe d'antennes. Tout en étant compatible avec les antennes 30-80 MHz des autres stations (leurs signaux pourront être combinés ensemble), il accroîtra considérablement sa sensibilité instantanée et sa couverture en fréquence. Techniquement, l'électronique de la station FR606 autorise la connexion d'une telle extension.

Une étude est menée à Nançay depuis fin 2009 pour définir les caractéristiques optimales de cette extension. La LSS sera constituée de 96 « mini-réseaux » hexagonaux de 19 dipôles croisés couvrant la gamme ~15 à 85 MHz, la bande passante instantanée d'observation est bien plus importante que celle des antennes basses fréquences de la station LOFAR. Au sein de chaque mini-ré-

seau, les signaux des 19 antennes seront combinés via des câbles coaxiaux commutables électroniquement pour assurer le pointage du faisceau du mini-réseau dans la direction choisie. Chaque mini-réseau fournira ainsi un signal (polarisé) à l'un des 96 récepteurs de la station FR606, qui le numérisera et le traitera comme le signal venant des antennes standard de la station LOFAR. La géométrie des antennes et leur préamplificateur intégré, leur agencement, espacement et phasage (combinaison des signaux) au sein d'un mini-réseau, la distribution, l'orientation et le câblage des mini-réseaux autour de la station FR606, leur télécommande, et le dialogue informatique LSS-LOFAR, ont été définis et optimisés via des études menées à la Station de radioastronomie de Nançay¹, au LESIA², au LPC2E³ Orléans et à SUBATECH⁴, en collaboration avec l'Institut de RadioAstronomie de Kharkov (Ukraine) et l'Institut ASTRON (Pays-Bas).

De nombreux chercheurs ont en outre contribué à préparer le programme scientifique de la LSS.

« un instrument gigantesque »

Les 1824 antennes (96x19) de la LSS, réparties dans un disque de ~400 m de diamètre, en feront un instrument gigantesque, comparable (mais à plus basse fréquence) au radiotélescope plus grand radiotélescope du monde qu'est Arecibo à Porto Rico (Nouveaux Mexique). Avec un faisceau d'observation de l'ordre de 1° de large, la LSS ne réalisera pas seule des images fines, mais elle aura une énorme sensibilité instantanée. Combinée à LOFAR (mode dit « international »), elle améliorera notablement la mesure des détails fins des images. Elle permettra d'imager les structures étendues sur >10°, doublera presque la sensibilité de LOFAR en imagerie aux basses fréquences,

et pourra mener en parallèle des études cosmologiques à basse résolution angulaire et imagerie à haute résolution.

Mais la LSS sera aussi un très grand instrument indépendant (mode dit « autonome ») : avec une grande surface de captation, donc elle aura une sensibilité 19 fois supérieure à celle de la station FR606, elle rassemblera l'équivalent de 70 à 85% de la surface collectrice totale de LOFAR dans la gamme 30-80 MHz en un seul lieu, autorisant l'exploitation maximale de cette sensibilité (par exemple en étant moins gêné par l'ionosphère terrestre). Les performances de la LSS en termes de détection de radiosources très faibles seront de ce fait 1.6 à 2 fois supérieures à celles de LOFAR tout entier (et encore renforcées par des détections en coïncidence LSS-LOFAR), et s'étendront sur une gamme spectrale beaucoup plus large, notamment vers les plus basses fréquences (10-15 MHz). Pour tirer

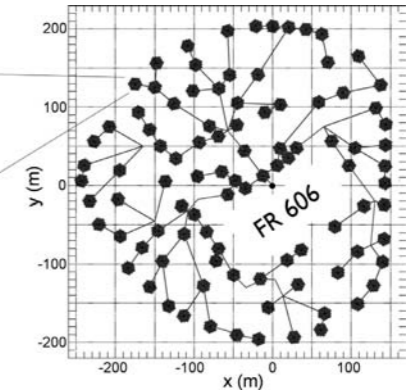
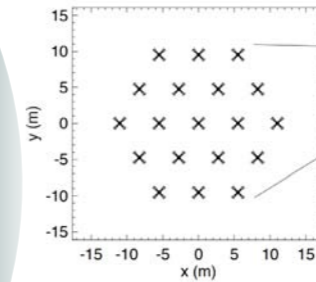
le meilleur parti de ce grand instrument autonome, un récepteur dédié est prévu pour utiliser la LSS simultanément en mode international et en mode autonome. Une seule contrainte : le pointage électronique du faisceau des mini-réseaux (de 10°-50° de large selon la fréquence) sera dans une direction donnée à un instant donné et sera défini par les observations du mode international.

En mode autonome, la LSS ira au-delà des possibilités de LOFAR notamment pour la détection et l'étude des étoiles éruptives, des exoplanètes et de leur interaction avec leur étoile-hôte, le recensement et l'étude des pulsars (physique de l'objet émetteur et effets de propagation interstellaires), et plus généralement de toutes les radiosources transitoires (rotateurs radio, contreparties de sursauts Gamma, rayons cosmiques, neutrinos énergétiques, éclairs atmosphériques, etc.) constituant l'« Univers impulsionnel ». La LSS aura également une sensibilité extrême pour rechercher la signature spectrale subtile des premiers âges de l'Univers.

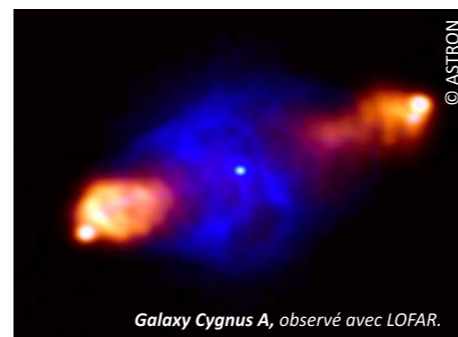
Trois mini-réseaux prototypes ont été construits à l'été 2012 et sont testés sur le ciel à l'aide d'un récepteur spécialement conçu dans ce but. En parallèle, les financements pour la construction de la version

À gauche : Agencement des 19 dipôles croisés au sein de chaque mini-réseau.

À droite : Agencement optimal des 96 mini-réseaux autour de la station FR606 et diagramme des connections entre les mini-réseaux et les récepteurs situés en (0,0), totalisant ~4 km de tranchées et ~21 km de câbles. La rotation aléatoire des mini-réseaux (les dipôles restant à 45° du méridien dans tous les cas) améliore la réponse globale de l'instrument.



Éruption solaire.



Galaxie Cygnus A, observée avec LOFAR.



La galaxie M87 observée avec le radiotélescope LOFAR.



Comparaison de la taille de l'orbite d'un couple d'étoile et pulsar (J1903+0327) par rapport à l'orbite de la Terre.