

LOFAR, the Low Frequency Array :
Low-frequency Radioastronomy at a resolution of a few arcseconds and
Astroparticles – Towards a french participation ...

Compte-rendu de l'atelier tenu au CIAS (Meudon) les 28 et 29 Mars 2006.

Cet atelier visait à évaluer l'intérêt scientifique que présenterait en France une participation à LOFAR. Cet instrument d'un type entièrement nouveau est un grand réseau d'antennes basses fréquences (de <30 à 240 MHz) qui amènera un gain de 1 à 2 ordres de grandeur en sensibilité et en résolution angulaire par rapport aux instruments existants. Permettant une imagerie multi-fréquences et multi-faisceaux à grand champ, haute sensibilité et hautes résolutions angulaire, spectrale et temporelle, avec mesure de la polarisation complète, LOFAR sera le premier télescope basses fréquences généraliste ainsi que le premier spectro-imageur à des fréquences <100 MHz. Les objectifs scientifiques-clés incluent un survey profond du ciel, l'étude de la réionisation de l'Univers, des sources variables telles que pulsars, jets, étoiles éruptives, planètes et exoplanètes, la détection des rayons cosmiques de très haute énergie, et la physique du milieu interplanétaire. C'est un projet Néerlandais conduit par l'institut ASTRON à Dwingeloo. Actuellement en construction, l'instrument sera opérationnel en 2007-2008 et offrira des bases interférométriques maximales de ~100 km (résolution angulaire entre 2.5" à 240 MHz et 20" à 30 MHz). L'heure est à l'ouverture européenne du projet, notamment via l'extension physique du réseau (adjonction de stations distantes pouvant améliorer d'un ordre de grandeur la résolution angulaire), et l'accroissement du potentiel d'analyse scientifique des données. L'Allemagne (consortium GLOW) et la Suède sont d'ores et déjà engagées dans le projet, et plusieurs universités du Royaume Uni ont exprimé leur intérêt.

L'atelier a été un très grand succès, malgré les perturbations liées à la grève du 28. Il a rassemblé une quarantaine de participants dont deux représentants d'ASTRON (H. Falcke, Project Scientist, et M. Van Haarlem, Technical Project Scientist). Le programme et le contenu des présentations sont disponibles sur <http://www.obspm.fr/~presidence/LOFAR/>. En outre, certains thèmes scientifiques d'intérêt n'ont pu être présentés (restes de supernovae, formation stellaire, NAG, nébuleuses de pulsars) mais des chercheurs concernés ont marqué leur intérêt et participeront à l'écriture d'un argumentaire scientifique.

Après une présentation de la science avec LOFAR, et de l'état du projet, par les représentants d'ASTRON, les exposés scientifiques ont permis d'explorer la plupart des thématiques scientifiques : Cosmologie (époque de ré-ionisation de l'Univers, amas de galaxies, formation et structure des galaxies) : environ 9 participants, physique de la Galaxie et du milieu interstellaire (3 participants), jets relativistes (2), planètes et exoplanètes (3), physique solaire (4), phénomènes électriques (Sprites) dans la haute atmosphère (1), et observation radio des gerbes de rayons cosmiques de haute énergie (3). D'autres exposés ont été consacrés à la participation française à SKA, aux développements instrumentaux à Nançay, et à l'expérience acquise dans le traitement massif de données pour Planck. Sans qu'il soit possible d'en tirer ici un bilan détaillé, il apparaît un réel intérêt scientifique dans la communauté française dans toutes ces thématiques, dont certaines n'ont pas encore été explorées par ASTRON ou le consortium GLOW.

Des tables rondes organisées en séances parallèles, et en interaction avec les représentants d'ASTRON, ont permis d'aborder plus en détail des sujets spécifiques : Cosmologie, Gerbes de rayons cosmiques, Traitement de données, et science à la seconde d'arc.

- **Cosmologie** : les résultats de WMAP à trois ans, publiés juste avant l'atelier, situent la réionisation exactement dans l'intervalle en décalage spectral accessible à LOFAR ; Il s'agit d'un résultat global, LOFAR devrait donc apporter une vision détaillée de cette époque en sondant le gaz neutre non encore ionisé. Le satellite Planck sondera quant à lui le gaz ionisé à travers le signal polarisé et les anisotropies secondaires. Les participants français souhaiteraient rejoindre le "key project" existant sur le thème de la réionisation. Ils expriment d'autre part un grand intérêt pour les surveys extragalactiques et leur utilisation en cosmologie et formation des structures (phénomènes non thermiques dans les amas, structure et magnétisme galactiques, oscillation baryoniques...), notamment en corrélation avec les observations dans le domaine des rayons X (XMM-Newton, ROSAT, Simbol-X, GLAST et naturellement Planck).
- **Haute résolution angulaire** : le projet d'une station LOFAR à Nançay permettrait, en étendant la ligne de base à ~ 1000 kms, d'atteindre la seconde d'arc. Bien que plusieurs exposés aient indiqué l'intérêt de cette résolution, plusieurs orateurs n'ont pu participer à cette table ronde qui s'est donc résumée à une discussion avec ASTRON. A noter que LOFAR organise en mai un atelier sur ce sujet ; d'autre part, les premiers tests sur le rôle de l'ionosphère dans la corrélation à l'échelle prévue (VLBI-BF) sont en cours, et les résultats attendus dans quelques semaines.
- **Gerbes cosmiques** : l'expérience allemande LOPES d'observation radio des gerbes cosmiques est intégrée au projet LOFAR. L'expérience française CODALEMA, qui a obtenu à Nançay des résultats comparables, utilise une technique différente qui présente certains avantages (notamment l'auto-déclenchement des observations à partir de la radio, sans recours à un trigger externe, comme actuellement sur LOPES). Ses représentants indiquent que, même en utilisant le cœur central de LOFAR (bien plus étendu que la station envisagée à Nançay), l'énergie des gerbes détectées ne pourrait dépasser significativement 10^{18} eV, en raison de la faiblesse des flux à plus haute énergie, alors que l'intérêt principal en astroparticules se situe actuellement au-delà de 10^{19} eV. Ils pourraient donc se concentrer sur le développement des projets en cours et l'implantation d'antennes sur le site d'Auger. Toutefois des collaborations avec LOPES/LOFAR restent possibles et doivent être explorées, même si elles ne peuvent être la principale motivation d'une participation française à LOFAR.
- **Traitement de données** : Nançay développe des méthodes génériques pour la "RFI mitigation" (élimination des interférences d'origine anthropique). Ces méthodes peuvent s'appliquer notamment à SKA, FASR et LOFAR. Les équipes scientifiques hollandaises suggèrent que les traitements correspondants devraient être appliqués au niveau centralisé, plutôt que par chaque station. Toutefois on note qu'un traitement local permettrait, en diminuant notablement la dynamique du signal, de limiter la bande passante nécessaire pour la liaison à haut débit avec le centre de calcul. D'autre part, une éventuelle station à Nançay ne serait pas exploitée en permanence par LOFAR, suivant sa programmation et les techniques d'observation. Elle resterait donc disponible, pendant une fraction de temps non négligeable, pour la R&T, l'éducation et la formation, notamment dans la perspective de SKA.

La structure du pipe-line de données n'est pas encore figée ni documentée, ce qui rend difficile de préciser les contributions françaises possibles, mais laisse ouvertes de nombreuses possibilités. ASTRON suggère d'explorer ces possibilités à partir d'expressions d'intérêt indiquant les compétences spécifiques disponibles. Une part importante du traitement et de l'archivage devront être assurés par les "Key Projects" qui structurent et préparent l'exploitation scientifique, et c'est donc en partie avec ces Key Projects qu'il faudra discuter d'une contribution éventuelle. Toutefois, contrairement à ce qui était prévu initialement, ASTRON envisage de revenir à une certaine centralisation de l'archivage. Un

rôle important devrait être tenu par des Science Centers, comme prévu actuellement en Allemagne. Un tel centre demanderait en pratique un cluster d'une centaine de processeurs et un accès à une liaison à haut débit.

Bilan et perspectives :

LOFAR est un instrument d'un type entièrement nouveau, précurseur au plan technique (du concept de synthèse d'ouverture aux outils de traitement de données) du concept européen (SKA-DS) proposé pour SKA. Il promet un gain important en sensibilité et résolution dans un domaine de fréquence très peu exploré jusqu'ici, et ouvre (en lui-même ou en préparation de SKA) des perspectives scientifiques enthousiasmantes dans de nombreux domaines. Il offre en outre des perspectives intéressantes, déjà explorées par ASTRON, d'ouverture interdisciplinaire vers des domaines comme l'agronomie ou la géophysique qui, sur le même concept d'un grand nombre de capteurs simples coordonnés par un traitement de données, pourraient profiter de l'infrastructure de LOFAR. Le lien avec ces disciplines rend possible d'envisager l'implantation d'autres stations, après celle proposée à Nançay, qui permettraient de mieux remplir le plan u-v.

Une participation française pourrait peser bien plus que son poids arithmétique (une station, comparée aux 77 d'ASTRON, 4 et jusqu'à 12 en Allemagne, plusieurs envisagées au Royaume-Uni), en fonction de nos apports spécifiques : gain important en résolution angulaire, expertise particulière de Nançay, méthodes de traitement de données massives développées pour Planck, mais aussi accès, pour des études de corrélation, aux données (et à l'expertise correspondante) de Planck, XMM, Simbol-X, GLAST... Elle permettrait en outre, avec une entrée en service très proche, de maintenir et développer, tester, enseigner les techniques nécessaires à la préparation de SKA.

Dans les domaines scientifiques mentionnés plus haut, l'intérêt soulevé dépasse ce qu'attendaient les organisateurs de l'atelier. Plusieurs de ces domaines sont originaux par rapport à ceux déjà explorés par ASTRON ou le consortium allemand GLOW, et pourraient permettre de proposer la formation de nouveaux Key Projects (on peut noter déjà le rôle tenu par P. Zarka comme P.I. du Science Working Group "Planets/Exoplanets" au sein du Transients Key Project pour l'observation des planètes et exoplanètes, au sein du Key Project "Transients"). ASTRON suggère que la participation française soit coordonnée par un consortium, similaire à GLOW. ASTRON examinera avec les Key Projects la proposition que, dans une période intérimaire, des participants français puissent participer en tant qu'observateurs à leurs réunions, pour mieux mesurer les participations et collaborations possibles.

Cet intérêt scientifique devra être considéré en regard des contraintes existantes, notamment : charge de travail à Nançay, recouvrement avec la forte implication française dans SKA, disponibilité des équipes impliquées dans d'autres projets ; il devra aussi s'accompagner d'une vision claire des budgets (investissement, personnel et fonctionnement) nécessaires.

Les instances représentées lors de l'atelier (Observatoire de Paris-Meudon, INSU, IN2P3) ont exprimé leur soutien à la démarche exploratoire entreprise. Elles ont proposé de confier au groupe constitué pour l'organisation de l'atelier (N. Aghanim, N. Dubouloz, E. Parizot, P. Zarka, qui ont été rejoints par M. Tagger) la rédaction d'un argumentaire scientifique sur lequel sera fondée leur décision finale d'engagement français dans le projet LOFAR.