

# Bilan du colloque



Retrouvez les contenus scientifiques sur :  
[www.univ-nantes.fr/webtv](http://www.univ-nantes.fr/webtv)

## JOURNÉES SCIENTIFIQUES DE L'UNIVERSITÉ DE NANTES

### CONTACT

Benoît Revenu  
Laboratoire SUBATECH  
Université de Nantes  
[revenu@in2p3.fr](mailto:revenu@in2p3.fr)

DÉTECTION DE SIGNAUX TRANSITOIRES DANS  
LE DOMAINE RADIO : OBJETS ASTROPHYSIQUES,  
ATMOSPHÈRE ET SIGNAUX ANTHROPIQUES

AVEC LE SOUTIEN DE :



LA CITÉ, LE CENTRE DES CONGRÈS DE NANTES – 5 RUE DE VALMY, NANTES (FRANCE)

Busway, ligne n° 4, arrêt « Cité internationale des congrès »

COLLOQUE 15

VENDREDI 6 JUIN 2014

LA CITÉ, LE CENTRE  
DES CONGRÈS DE NANTES

[www.univ-nantes.fr/js2014](http://www.univ-nantes.fr/js2014)



UNIVERSITÉ DE NANTES



UNIVERSITÉ DE NANTES



<http://indico.in2p3.fr/event/TransitoiresRadio>  
d'autres photos sont disponibles sur le site



## Détection de signaux transitoires dans le domaine radio : objets astrophysiques, atmosphère et signaux anthropiques

vendredi 6 juin 2014 de **08:55** à **19:00** (Europe/Paris)  
à **Cité des Congrès, Nantes ( à préciser ultérieurement )**  
<http://www.lacite-nantes.fr/fr/participer-evenement/venir-a-la-cite.html>

**Description** Le colloque sera dédié à la recherche de signaux radio transitoires dans un domaine de fréquences allant de quelques centaines de kHz jusqu'au GHz.

Ces transitoires peuvent être produits par des phénomènes naturels comme les pulsars, les gerbes atmosphériques créées par l'interaction de rayons cosmiques d'ultra-haute énergie avec l'atmosphère terrestre, la foudre des orages, des instabilités solaires, ou par des phénomènes artificiels tels que les perturbations électromagnétiques anthropiques (avions, clôtures électriques, radio AM et FM, télévision, moteurs). Les sources sont très différentes mais les instruments utilisés et les méthodes d'investigation sont souvent communs. Cela représente une excellente occasion de regrouper des scientifiques provenant d'horizons très divers rencontrant les mêmes problématiques, de mettre en avant les similitudes et les différences entre les approches et les outils de ces divers domaines d'observation de signaux radio transitoires.

Le laboratoire Subatech (Université de Nantes, École des Mines de Nantes, CNRS/IN2P3) est pilote du projet EXTASIS financé par la région Pays de la Loire, consacré à la détection des rayons cosmiques sur le site de l'expérience CODALEMA à la station de radioastronomie de Nançay.

Objectifs du colloque : mise en place de collaborations et de développement d'échanges permanents pluri-disciplinaire, structuration du domaine de la radio-détection des transitoires.

vendredi 6 juin 2014

- 09:00 - 09:10 **Présentation de la journée 10'**  
Intervenant: Benoît Revenu (subatech)
- 09:10 - 10:40 **Astronomie transitoire**
- 09:10 **SKA et LOFAR 30'**  
Intervenant: Stéphane Corbel (CEA/Université Paris VI)
- 09:40 **État de l'art de la radiodétection des pulsars 30'**  
Intervenant: Ismaël Cognard (LPC2E)
- 10:10 **Détection et observation de sources transitoires en radioastronomie basses fréquences 30'**  
Intervenant: Julien Girard (CEA)
- 10:40 - 11:10 **pause café**
- 11:10 - 12:40 **Phénomènes atmosphériques**
- 11:10 **Le satellite TARANIS 30'**  
Intervenant: Jean-Louis Pinçon (LPCE)
- 11:40 **Propriétés des éclairs déduites de leur détection dans le domaine radio 30'**  
Intervenant: Éric Defer (LERMA (obs. Paris))
- 12:10 **Couches D et E de l'ionosphère et implication pour la propagation des ondes électromagnétiques 30'**  
Intervenant: Pierre-Louis Blelly (IRAP/OMP)
- 12:40 - 14:10 **Déjeuner à la Cité des Congrès**
- 14:10 - 16:10 **Rayons cosmiques d'ultra-haute énergie**
- 14:10 **Émission de champ électrique dans les gerbes atmosphériques 30'**  
Intervenant: Vincent Marin (Subatech, CNRS/IN2P3)
- 14:40 **Identification des signaux transitoires 30'**  
Intervenant: Richard Dallier (Subatech, École des Mines de Nantes)
- 15:10 **Moyens et méthodes d'analyse 30'**  
Intervenant: Lilian Martin (Subatech, CNRS/IN2P3)
- 15:40 **Radio-détection des rayons cosmiques d'ultra-haute énergie au GHz 30'**  
Intervenant: Karim Louédec (LPSC, CNRS/IN2P3)
- 16:10 - 16:40 **pause café**
- 16:40 - 17:10 **Détection radar**
- 16:40 **Détections radar : principes et techniques, exemple d'application à la détection et au pistage de météores 20'**  
Intervenant: Sylvain Azarian (ONERA/Supélec)
- 17:00 **Le radar Nostradamus 10'**  
Intervenant: Sylvain Azarian (ONERA/Supélec)
- 17:10 - 17:40 **Discussion-synthèse**
- 17:40 - 18:40 **Cocktail offert**

Stéphane Corbel

# Fiche signalétique

Nom ou acronyme de votre expérience : SKA + precursors/pathfinders

Phénomène(s) étudié(s) : Astres compacts + phénomènes transitoires

Fréquences utiles : Quelques 10 MHz à Quelques 10 GHz

Technique de détection : Interférométrie radio

Type d'algorithmes utilisés : variés

Personnes concernées : variées, voir différents labos impliqués.

Coordonnées de la personne responsable : Voir PI ou responsable scientifique de chacune des expériences sur site web.

Labos impliqués : AIM, APC, LPC2E, OCA, OP (GEPI, LERMA, LESIA, USN, ...)

Seriez-vous intéressé pour collaborer avec d'autres groupes ? Si oui, lesquels ?

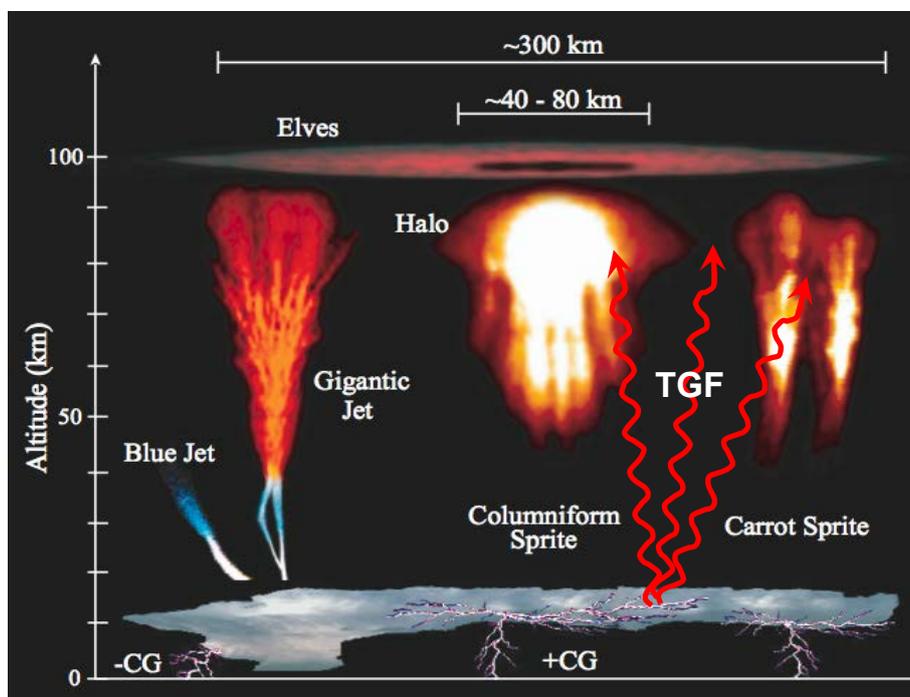
Références sur vos travaux (publis, thèses) : Voir ADS , lien court : <http://tinyurl.com/l25ue6s>

Jean-Louis Pinçon

## Le satellite TARANIS.

J.-L Pinçon - LPC2E, Université d'Orléans/CNRS, Orléans  
mél: [jean-louis.pincon@cnrs-orleans.fr](mailto:jean-louis.pincon@cnrs-orleans.fr)

Depuis le début des années 90, on sait que l'atmosphère au dessus des orages est le lieu d'impressionnantes décharges électriques (Elves, Halos, Sprites, Jets Bleus et Jets Géants) regroupées sous le terme générique de Transient Luminous Events (TLE) ainsi que de très énergétiques émissions de bouffées de rayonnement gamma nommées Terrestrial Gamma-ray Flashes (TGF). La découverte relativement tardive de tous ces phénomènes a mis en évidence les limites de notre compréhension des processus intervenant dans les différentes couches de l'atmosphère au dessus des zones orageuses. Nous savons maintenant que les orages affectent non seulement la basse atmosphère mais également l'ensemble de la haute atmosphère jusqu'au proche environnement spatial de la Terre.



*Les différents phénomènes (TLE et TGF) observés au-dessus des orages*

Les TGF et TLE étaient considérés initialement comme particulièrement rares. Les nombreuses observations collectées ces dernières années montrent que ce n'est pas du tout le cas et ils font actuellement l'objet d'une intense activité scientifique.

Dans le cadre de cette conférence je présenterai les principales caractéristiques des TLE et TGF et ferai le point sur l'état de nos connaissances. Je présenterai également la future mission spatiale TARANIS qui sera lancée en 2017 et qui sera entièrement dédiée à leur étude. Les nouvelles informations provenant des observations de TARANIS devraient nous permettre d'obtenir enfin les réponses aux nombreuses questions en suspens sur les mécanismes à l'origine de ces phénomènes et à l'impact qu'ils pourraient avoir sur la physicochimie de la haute atmosphère.

# Fiche signalétique

Nom ou acronyme de votre expérience : TARANIS

Phénomène(s) étudié(s) :

Transient Luminous Events (TLE) et Terrestrial Gamma ray Flashes (TGF)

Fréquences utiles :

Pour l'étude des signatures EM associées aux TLE et TGF, le domaine de fréquences couvert par TARANIS ira du continu (DC) jusqu'à 35 MHz.

Technique de détection :

Deux capteurs électriques (antenne BF [DC – 1MHz] + un dipôle HF [100 kHz – 35MHz])

Type d'algorithmes utilisés :

Pour la partie EM : identification à bord en temps réel de bouffées d'ondes HF. Analyse spectrale.

Personnes concernées :

Tous les PI instruments de TARANIS

Coordonnées de la personne responsable :

PI de la mission TARANIS : Jean-Louis Pinçon ([jean-louis.pincon@cnrs-orleans.fr](mailto:jean-louis.pincon@cnrs-orleans.fr))

Labos impliqués :

LPC2E (Université d'Orléans/CNRS) : coordination et responsabilité de la charge utile scientifique de TARANIS. Responsabilité de la définition du centre de traitement et diffusion des données TARANIS. Responsabilité des instruments IMM, IME-HF et MEXIC.

LATMOS (UVSQ – UPMC - CNRS) : responsabilité de l'instrument IME-BF

IRAP (Université Toulouse III / CNRS). Responsabilité de l'instrument IDEE. Responsabilité de l'analyseur d'XGRE.

APC (Université Paris VII – CNRS – IN2P3). Responsabilité des capteurs d'XGRE

CEA/DAM (Bruyères-le-Châtel). Responsabilité de l'instrument MCP.

Seriez-vous intéressé pour collaborer avec d'autres groupes ? Si oui, lesquels ?

Une fois le satellite lancé, le Conseil Scientifique de TARANIS lancera un appel international à Guest Investigators. Toutes les équipes de recherche intéressées par la thématique électricité atmosphérique et/ou les données TARANIS sont les bienvenues et seront invitées à soumettre des projets de collaborations

Julien Girard

## Résumé JS Université de Nantes:

### Titre:

Détection et observation de sources transitoires en radioastronomie basses fréquences

### Auteurs:

J. N. Girard, J.-L. Starck, H. Garsden, S. Corbel, C. Tasse, A. Woiselle

### Résumé:

Différents types d'instruments couvrent la fenêtre d'observation radio depuis le sol et l'espace (entre 10 MHz jusqu'à plusieurs dizaines de GHz). Les observations radio dans cette fenêtre peuvent être relativement stables à l'échelle d'une observation (ex: fond galactiques aux basses fréquences, principales radio sources, etc.).

Certaines de ces émissions radio sont qualifiées, au contraire, de sources transitoires et ont une variabilité de l'ordre de la fraction de millisecondes (ex: éclairs d'Orage sur Saturne, sursauts radios joviens), d'autres varient plus lentement à l'échelle de la seconde jusqu'à plusieurs semaines ou mois (ex: variation horaire de l'état des ceintures de radiations de Jupiter, déplacement journalier apparent de Jupiter par rapport au fond du ciel).

Les instruments actuels permettent de suivre les sources transitoires rapides avec une bonne résolution temporelle mais généralement avec de plus faibles résolutions angulaires et des détections de faibles rapports signal à bruit. Au contraire, les instruments pouvant intégrer plus longtemps les signaux (à condition que le temps d'intégration soit inférieur au temps caractéristique de variabilité de la source), comme les interféromètres, offrent des résolutions angulaires et des mesures moins bruitées mais avec une assez faible résolution temporelle.

Plusieurs méthodes de détection ont pu être développées pour pousser les limites instrumentales afin de permettre une détection non-ambigu de transitoires radios rapides. Cependant, la qualité des signaux détectés et reconstruits ne permettent pas toujours une exploitation scientifique fiable.

Des publications récentes ont établi un lien clair entre la nature discrète des mesures interférométriques en radio et la théorie d'échantillonnage comprimé (« Compressed Sensing »), qui permet d'offrir un cadre théorique solide et explicite pour la reconstruction d'images radio à partir des visibilités mesurées. Le problème d'imagerie devient un problème d'optimisation où l'analyse proximale peut être utilisée.

L'usage de la parcimonie permet de retrouver non pas directement le signal, mais ses coefficients dans un dictionnaire donné et cela sous certaines conditions sur le signal (voir Garsden et al. 2014). On dira que ce signal est parcimonieux s'il est représenté par très peu de coefficients non nuls dans le dictionnaire considéré. En projetant par exemple le signal à retrouver (la distribution de brillance du ciel) sur un dictionnaire d'ondelettes, nous pouvons par la suite résoudre le problème d'optimisation avec de la minimisation en norme  $l_1$ .

Nous avons implémenté, au sein de l'imageur de LOFAR, l'une de ses méthodes dans le cadre de la résolution du problème inverse décrit par l'Équation de la Mesure (« Measurement Equation », voir Hamaker, Bregman et Sault, 1996, ainsi que Smirnov, 2011). Ce cadre mathématique permet la prise en compte, la formulation et la résolution des effets (in)dépendants de la direction (DDE) entachant la qualité du signal astrophysique parvenant jusqu'à l'instrument.

Nous avons évalué la qualité de la photométrie et de la résolution angulaire des images reconstruites apportées par la reconstruction parcimonieuse de données simulées ainsi que de vraies jeux de données LOFAR.

Les travaux futurs prévoient l'extension de cette méthode à trois dimensions, permettant non seulement la reconstruction d'images radio, mais également la formation de cubes d'images dont la troisième dimension serait associée aux temps caractéristiques de variabilité des données. On considère ainsi que le signal est non seulement parcimonieux spatialement mais également temporellement. Elle permettrait une évaluation non ambigu des sources radio transitoires dans les données radios.

# Fiche signalétique

Nom ou acronyme de votre expérience :

**Détection et observation de sources transitoires en radioastronomie basses fréquences**

Phénomène(s) étudié(s) :

**Sources radio transitoires lents (éclairs d'orages planétaires, sources lentements variables)  
Sources radio transitoires rapides (contrepartie radio de sursauts gamma).**

Fréquences utiles :

**10-300 MHz (LOFAR)**

**> 400 MHz (SKA)**

Technique de détection :

**LOFAR: Low Frequency Array (interféromètre radio de réseaux phases) et en general, interféromètre radio basses frequences, réseaux phasés.**

Type d'algorithmes utilisés :

**Grand usage de la parcimonie (Compressed sampling) appliquée à l'imagerie et à la detection de sources radio transitoires.**

Personnes concernées :

Parmi les gens ayant assisté à la conference:

**Julien Girard – AIM/IRFU/SAp/CEA-Saclay – Labex UnivEarthS**

**Stéphane Corbel - AIM/IRFU/SAp/CEA-Saclay – Labex UnivEarthS**

**Ismaël Cognard – LPC2E / Université d'Orléans**

**Richard Dallier – Subatech / École des mines de Nantes**

**Sylvain Azarian - ONERA/Supélec**

Coordonnées de la personne responsable :

**Julien Girard – AIM/IRFU/SAp/CEA-Saclay**

**Orme des Merisiers, Bat. 709, Bur. 279**

**91191 Gif-Sur-Yvette, France**

Labos impliqués :

**AIM/IRFU/SAp/CEA-Saclay**

Seriez-vous intéressé pour collaborer avec d'autres groupes ? Si oui, lesquels ?

**Projet CODALEMA à Subatech**

références sur vos travaux (publis, thèses) :

\* H. Garsden, J. N. Girard, J. L. Starck, S. Corbel, C. Tasse, A. Woiselle, J. McKean and the LOFAR builders list, LOFAR Sparse Image Reconstruction, A&A, in revision, arXiv: 1406.7242

\* (moins directe) J. N. Girard, Développement de la Super Station LOFAR & observations planétaires avec LOFAR, Observatoire de Paris, 2013, <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00835834>

Vincent Marin  
Richard Dallier  
Lilian Martin  
Benoît Revenu

(EXTASIS/CODALEMA/AERA/Auger)

# Fiche signalétique

Nom ou acronyme de votre expérience :

CODALEMA/EXTASIS – AERA/Auger

Phénomène(s) étudié(s) :

Mesure radio du champ électrique impulsionnel transitoire créé dans les gerbes de particules initiées par les rayons cosmiques d'ultra-haute énergie suite à leur interaction avec l'atmosphère terrestre

Fréquences utiles :

De 1-5 MHz à 300 MHz ou davantage, et plus particulièrement la bande 20-120 MHz

Technique de détection :

Détection impulsionnelle par antennes radio (dipôles actifs) déclenchées soit par le signal recherché lui-même, soit par un trigger externe (détecteur de particules). Le signal est enregistré sous forme d'événements de 2.5 à 10  $\mu$ s dans le domaine temporel, à une vitesse d'échantillonnage très élevée (200 MS/s à 1GS/s).

Type d'algorithmes utilisés :

Pour la détection autonome : déclenchement sur seuil directement sur le signal. Pour la détection déclenchée : algorithmes prédictifs type Linear Prediction Coefficients (LPC). Pour l'identification : fonctions cumulatives des temps de montée et descente du signal impulsionnel. Autres algorithmes statistiques pour l'analyse des données.

Personnes concernées :

Subatech, Nantes : Jean-Luc Béney, Didier Charrier, Vincent Marin, Lilian Martin, Benoît Revenu...  
Observatoire de Paris-Meudon-Nançay : Laurent Denis, Alain Lecacheux  
Collaboration Pierre Auger, groupe Radiodetection (AERA)

Coordonnées de la personne responsable :

Benoît Revenu – SUBATECH – 4 rue A. Kastler – BP 20722 – 44307 NANTES Cedex 3  
(+33) 251 858 507  
benoit.revenu@subatech.in2p3.fr

Labos impliqués :

Subatech, Nantes ; LESIA, Observatoire de Paris-Meudon ; Station de radioastronomie de Nançay

Seriez-vous intéressé pour collaborer avec d'autres groupes ? Si oui, lesquels ?

Oui, notamment :

- ONERA/Supélec (S. Azarian) pour l'algorithmique et l'instrumentation
  - LERMA (E. Defer) pour les phénomènes électriques atmosphériques (orages)
  - SKA/LSS/LOFAR ) à Nançay (S. Corbel & J. Girard) pour les transitoires solaires et joviens
- Et toute autre opportunité...

Références sur vos travaux (publis, thèses) :

Voir site web : <http://codalema.in2p3.fr/spip.php?article378>

# Fiche signalétique

Nom ou acronyme de votre expérience :  
EXTASIS-CODALEMA

Phénomène(s) étudié(s) :  
Rayonnement cosmique d'ultra haute énergie

Fréquences utiles :  
1-300 MHz

Technique de détection :  
Détection des transitoires dans la bande 1-300 MHz.  
Détection par seuil, numérisation haute fréquence 1Giga sample  
Enregistrement séparé de 2 polarisations (EW-NS) du champ électrique émis par les gerbes.

Type d'algorithmes utilisés :  
Code de simulation SELFAS. Modélisation du champ électrique émis par le développement des gerbes atmosphériques.  
Rayonnement de particules chargées relativistes en mouvement accéléré.

Personnes concernées :  
Benoît Revenu; Richard Dallier; Lilian Martin; Vincent Marin;

Coordonnées de la personne responsable :  
Benoît Revenu.

Labos impliqués :  
SUBATECH

Seriez-vous intéressé pour collaborer avec d'autres groupes ? Si oui, lesquels ?

références sur vos travaux (publis, thèses) :

Thèse : Radio détection des rayons cosmiques d'ultra-haute énergie. Analyse, simulation et interprétation. <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00815115/>

Vincent Marin and Benoît Revenu. Radio emission from the air shower sudden death. Submitted to *Astropart. Phys.*, October 2012. Ref. No.: ASTROPARTPHYS-D-12-00169. ArXiv link: <http://arxiv.org/abs/1211.3305>.

Vincent Marin, Benoit Revenu, and others for the CODALEMA collaboration. Evidence for charge excess contribution in air shower radio emission observed by the codalema experiment. Submitted (under review) to *Astropart.Phys.*, Dec 2011.

Vincent Marin and Benoît Revenu. Simulation of radio emission from cosmic ray air shower with SELFAS2. *Astropart. Phys.*, 35(11):733 – 741, 2012. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.astropartphys.2012.03.007> ArXiv link: <http://arxiv.org/abs/1203.5248>.

Benoît Revenu and Vincent Marin. Coherent radio emission from the cosmic ray air shower sudden death. ICRC, Juillet 2013, Rio de Janeiro, Brazil ArXiv link: <http://arxiv.org/abs/arXiv:1307.5673>.

Vincent Marin. SELFAS2 <http://arxiv.org/abs/1212.1348>.

Vincent Marin and others for the CODALEMA collaboration. Charge excess signature in the codalema data. interpretation with SELFAS2. Proc. of the 32nd ICRC Beijing, 2011. <http://galprop.stanford.edu/elibrary/icrc/2011/papers/HE1.2/icrc0942.pdf>.

Vincent Marin and Benoît Revenu. Coherent radio emission from cosmic ray air showers computed by monte-carlo simulation with SELFAS. *NIM A*, 662, Supplement 1(0):S171 – S174, 2012. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2010.10.123>.

Éric Defer

## **Propriétés des éclairs déduites de leur détection dans le domaine radio**

Eric Defer (LERMA), Philippe Lalande (ONERA), Magalie Buguet (ONERA), Patrice Blanchet (ONERA), Pierre Laroche (ONERA), Sylvain Coquillat (LA), Jean-Pierre Pinty (LA)

Journées Scientifiques de l'Université de Nantes (6 juin 2014)

Des observations d'éclairs réalisées depuis l'espace dans le domaine optique (777 nm) ont permis d'estimer qu'il y avait 45 éclairs par seconde sur l'ensemble du globe terrestre avec une activité électrique beaucoup plus prononcée au-dessus des continents que les océans, les orages continentaux étant plus intenses que les orages océaniques. C'est la région du Congo qui subit le plus haut taux d'éclairs annuel. Tout comme la couverture nuageuse, l'activité électrique présente des cycles saisonniers et diurnes.

Les éclairs sont des phénomènes complexes composés de différentes composantes. Un éclair se déclenche lorsque le champ électrique au sein du nuage d'orage est suffisant. Le champ électrique est induit par la présence de zones de charges électriques dans le nuage. Ces charges électriques sont portées par les hydrométéores (cristaux de glace, graupel) et sont échangées lors de collisions entre hydrométéores. Des études en laboratoire ont montré que la quantité de charge et leur polarité dépendent de la température, de la vitesse relative des deux hydrométéores, et de la présence d'eau liquide surfondue. Les hydrométéores les plus légers sont emportés à l'intérieur du nuage par les vents ascendants, les hydrométéores les plus lourds restant à altitude constante ou chutant. Des zones de charges électriques se forment donc et conduisent à l'existence d'un champ électrique. Les conditions de déclenchement d'un éclair ne sont pas encore définitivement définies, mais un éclair peut rester dans le nuage, on parle alors d'un éclair intra-nuage, ou se connecter au sol, on parle alors d'éclair nuage-sol. En moyenne 15% des éclairs se connectent au sol, mais d'un orage à l'autre le pourcentage d'éclairs se connectant au sol est très variable. Il existe donc de forts liens entre la dynamique du nuage, la microphysique du nuage, l'électrification et l'occurrence des éclairs.

Il existe différentes techniques de détection et de localisation des éclairs comme la détection dans le domaine optique (777 nm), la détection dans le domaine radio (du VLF au VHF), la détection acoustique ou l'enregistrement du champ électrostatique. Toutes ces techniques présentent des avantages et des inconvénients, mais il est désormais admis dans la communauté que pour l'étude des éclairs et le suivi de l'activité électrique des orages, toutes ces techniques doivent être utilisées simultanément. Le rayonnement électromagnétique de la décharge électrique naturelle se distribue sur un large spectre et il est possible de localiser un éclair en détectant le rayonnement impulsionnel - une impulsion de quelques microsecondes toutes les 25 microsecondes - des décharges en VHF (60 MHz par exemple) et en utilisant la technique de différence d'arrivée pour déterminer la position tridimensionnelle des différentes sources VHF et donc par conséquent pour reconstruire le squelette de l'éclair. C'est ce qui a été réalisé au cours de la campagne SOP1 (Special Observation Period 1) de la campagne HyMeX (HYdrological cycle in the Mediterreanean EXperiment) où un détecteur d'éclairs de la technologie LMA (Lightning Mapping Array) a été déployé par le New Mexico Tech (NMT) dans le sud-est de la France. Différents exemples d'éclairs sont présentés comme un éclair intra-nuage typique, un éclair de type bolt-from-the-blue qui commence comme un éclair intra-nuage typique mais qui se connecte au sol à 10 km environ de son initialisation. Les connexions au sol sont aussi détectées par les réseaux dits opérationnels opérant dans le domaine VLF : la détection s'effectue en analysant les propriétés de la forme d'onde reçue à une station donnée et la reconstruction de la position de la connexion au sol se fait par triangulation quand les stations ont des capacités de goniométrie ou par méthode de différence des temps d'arrivée. La combinaison VHF/VLF permet donc de bien décrire le déroulement d'un éclair de type nuage sol.

Les analyses peuvent être étendues à l'échelle de l'orage et le suivi des propriétés de l'activité électrique permet d'identifier l'intensification des cellules orageuses (via une augmentation du rythme d'éclairs) ou leur dissipation (via une diminution du rythme d'éclairs). D'un orage à l'autre, les propriétés de l'activité électrique peuvent être totalement différentes selon la nature de la convection (e.g. profonde versus molle ; dimension des cellules orageuses), le nombre de cellules convectives dans le domaine de couverture de l'instrumentation, et donc le signal radio rayonné par les éclairs peut être significatif. De plus le taux d'émission VHF rapporté à la durée d'un éclair peut varier de quelques % à 100% selon la nature de l'éclair (e.g. nuage-sol, intra-nuage, éclair de type « araignée »). La durée d'un éclair varie entre quelques centaines de microsecondes et plusieurs secondes, avec une valeur moyenne aux alentours de 300 ms.

La détection VHF des éclairs peut-être aussi limitée par le bruit environnant rayonné par des équipements électriques (e.g. transformateurs) et par des émetteurs (e.g. radar, balise radio). Même si ces bruits sont locaux, ils peuvent introduire des erreurs de localisation lors de la reconstruction des éclairs. Un changement de fréquence d'opération, un déplacement de la station, ou un seuillage sur l'amplitude du signal VHF enregistré sont des solutions appliquées pour en limiter l'impact sur la qualité des données.

De plus, durant la campagne HyMeX, il a été possible de suivre la trajectoire des avions commerciaux en localisant le rayonnement émis par des micro-décharges ayant lieu sur l'avion. Ce rayonnement n'apparaît que lorsque l'avion se trouve dans le nuage en phase glace et disparaît quand l'avion vole sous l'isotherme 0°C, suggérant que ces micro-décharges sont induites par une électrisation de l'avion. Des études sont en cours pour caractériser les zones nuageuses pénétrées par les avions commerciaux.

Dans la conclusion, il est rappelé qu'il y a encore beaucoup de travail à faire pour comprendre tous les phénomènes impliqués (e.g. déclenchement, propagation sur de longue distance) lors de l'occurrence d'un éclair. Il est donc souhaitable d'interagir avec d'autres équipes en réalisant des observations communes. L'instrument SAETTA est d'ailleurs présenté : il s'agit d'un détecteur VHF de type LMA qui couvre depuis Mai 2014 la Corse et sa région dans un rayon de 200 km. SAETTA permettra non seulement de caractériser les éclairs – une campagne spécifique est envisagée pour la fin de l'été 2015 – mais aussi d'explorer l'apport de la détection de l'activité électrique pour le suivi des orages en opérationnel. Les observations de SAETTA seront aussi utilisées pour la validation et l'exploitation scientifique des missions spatiales TARANIS (cf présentation sur TARANIS) et MTG-LI (Meteosat Third Generation Lightning Imager, lancement début 2019).

## Fiche signalétique

Nom ou acronyme de votre expérience :

**SAETTA**

Phénomène(s) étudié(s) :

**Eclairs**

Fréquences utiles :

**60 MHz**

Technique de détection :

**Détection du rayonnement VHF (60 MHz) par fenêtre de 80  $\mu$ s avec un sous-échantillonnage à 10 ns**

Type d'algorithmes utilisés :

**Technique appliquant la différence des temps d'arrivée sur les pics enregistrés dans chaque fenêtre de 80  $\mu$ s**

Personnes concernées :

**Sylvain Coquillat, Jean-Pierre Pinty, Serge Prieur, Dominique Lambert (Laboratoire d'Aérodynamique, Toulouse)  
Eric Defer (LERMA, Paris)**

Coordonnées de la personne responsable :

**Sylvain Coquillat (Laboratoire d'Aérodynamique, Toulouse) [sylvain.coquillat@aero.obs-mip.fr](mailto:sylvain.coquillat@aero.obs-mip.fr)  
Eric Defer (LERMA, Paris) [eric.defer@obspm.fr](mailto:eric.defer@obspm.fr)**

Labos impliqués :

**LA, LERMA**

Seriez-vous intéressés pour collaborer avec d'autres groupes ? Si oui, lesquels ?

**OUI.**

**Collaborations possibles sur**

- **TARANIS (discussions entamées),**
- **l'exploitation du signal des éclairs (et des micro-décharges sur avion) dans les données LOFAR et SKA, et en radioastronomie pour des études scientifiques et pour la validation de capteurs spatiaux de détection des éclairs,**
- **sur le déclenchement possible des éclairs par les gerbes atmosphériques et les rayons cosmiques,**
- **autres...**

références sur vos travaux (publis, thèses) :

- Boussaton, M.-P., Interactions entre activité électrique, microphysique et pollution dans les nuages d'orages, thèse de l'Université Paul Sabatier, Toulouse III, 27 septembre 2005.**
- Boussaton, M. P., S. Coquillat, S. Chauzy, and J. F. Georgis, Influence of water conductivity on micro discharges from raindrops in strong electric fields, Atmos. Res., 76, 330-345, 2005.**
- Boussaton, M. P., S. Soula, and S. Coquillat, Total lightning activity in thunderstorms over Paris, Atmos. Res., 84, 221-232, 2007.**
- Buguet, M., Activité d'éclairs et paramètres physiques issus de l'observation radar dans les orages : application au projet HyMeX, thèse de l'Université de Toulouse, 20 septembre 2012.**
- Coquillat, S., B. Combal, and S. Chauzy, Corona emission from raindrops in strong electric fields as a possible discharge initiation: comparison between horizontal and vertical field configurations, J. Geophys. Res., 108(D7), 4205, doi:10.1029/2002JD002714, 2003.**
- Coquillat, S., M.-P. Boussaton, M. Buguet, D. Lambert, J.-F. Ribaud, and A. Berthelot, Lightning ground flash patterns over Paris area between 1992 and 2003: influence of pollution?, Atmos. Res., pp. 77-92, doi: 10.1016/j.atmosres.2012.10.032, 2013.**
- Defer, E., et al., An overview of the lightning and atmospheric electricity observations collected in Southern France during the HYdrological cycle in Mediterranean EXperiment (HyMeX), Special Observation Period 1, submitted to AMT.**
- Defer, E., et al., Properties of the Lightning Activity at Storm Scale during HyMeX SOP1 Campaign: Comparison Between an Isolated Storm (05 Sept 2012), a Multi-cellular System (24 Sept 2012) and a Tornadic Cell (14 Oct 2012), 15th ICAE conference, Norman, Oklahoma, 16-20 June 2014.**
- Defer, E., and P. Laroche, Observation and Interpretation of Lightning Flashes with Electromagnetic Lightning Mapper, Lightning: Principles, Instruments and Applications: Review of Modern Lightning Research, Editors H.-D. Betz, U. Schumann, P. Laroche, Springer, 2008.**
- Defer, E., P. Blanchet, C. Théry, P. Laroche, J. Dye, M. Venticinque, and K. Cummins, Lightning activity for the July 10, 1996, storm during the Stratosphere-Troposphere Experiment: Radiation, Aerosol, and Ozone-A (STERAO-A) experiment, J. Geophys. Res., 106, 10,151-10,172, 2001.**
- Ducrocq, V., et al., HyMeX-SOP1, the field campaign dedicated to heavy precipitation and flash flooding in the northwestern Mediterranean, BAMS, 2013.**
- Ribaud, J.-F., Exploitation de la synergie entre observations par radars polarimétriques et détection 3D des éclairs pour l'étude et la prévision des systèmes convectifs fortement précipitants observés pendant HyMeX, thèse de l'Université de Toulouse en cours.**

## Fiche signalétique

Nom ou acronyme de votre expérience :

**Observation de la propagation et de la structure des éclairs à l'aide d'une caméra rapide**

Phénomène(s) étudié(s) :

**Eclairs**

Matériel :

**Caméra Phantom V711**

Technique de détection :

**Détection optique par différence de luminosité entre deux images, déclenchement en auto-trigger**

**Résolution : 1024 x 512 , 14000 image/sec**

**Durée d'une vidéo : 76 ms**

Localisation des éclairs enregistrés :

**Collaboration avec le réseau français METEORAGE**

Personnes concernées :

**Magalie Buguet, Philippe Lalande, Patrice Blanchet (ONERA, Châtillon)**

Coordonnées de la personne responsable :

**Magalie Buguet (ONERA, Châtillon) magalie.buguet@onera.fr**

**Philippe Lalande (ONERA, Châtillon) philippe.lalande@onera.fr**

Labos impliqués :

**ONERA**

Seriez-vous intéressé pour collaborer avec d'autres groupes ? Si oui, lesquels ?

**OUI. Tous si intérêt mutuel.**

références sur vos travaux (publis, thèses) :

**Buguet, M., P. Lalande, P. Blanchet, S. Pédeboy, P. Barneoud, P. Laroche, Observation of Cloud-to-Ground Lightning Channels with High-Speed Video Camera, 15th ICAE conference, Norman, Oklahoma, 16-20 June 2014.**

## Fiche signalétique

Nom ou acronyme de votre expérience :

**AMPERA**

Phénomène(s) étudié(s) :

**Champ électrique atmosphérique**

Type de capteur :

**Moulins à champ embarqués sur avion**

Technique de détection :

**Mesure du champ électrostatique induit à la surface de l'avion par le champ électrostatique atmosphérique ainsi que par le potentiel de l'avion (revient à mesurer une différence de potentiel)**

Type d'algorithmes utilisés :

**Technique appliquant la localisation des différents capteurs sur l'avion afin de reconstruire les trois composantes cartésiennes du champ électrique et de restituer le champ électrique global**

Personnes concernées :

**Philippe Lalande, Patrice Blanchet, Magalie Buguet, (ONERA, Châtillon)**

Coordonnées de la personne responsable :

**Philippe Lalande (ONERA, Châtillon) [philippe.lalande@onera.fr](mailto:philippe.lalande@onera.fr)  
Patrice Blanchet (ONERA, Châtillon) [patrice.blanchet@onera.fr](mailto:patrice.blanchet@onera.fr)**

Labos impliqués :

**ONERA**

Seriez-vous intéressé pour collaborer avec d'autres groupes ? Si oui, lesquels ?

**OUI. Tous si intérêt mutuel.**

références sur vos travaux (publis, thèses) :

**Laroche, P., A. Delannoy, P. Blanchet, P. Lalande. Measuring the electric field due to deep convective clouds with an instrumented aircraft, 14th ICAE conference, Rio de Janeiro, Brazil, 8-12 August 2011.**

**Laroche P., A. Delannoy, P. Blanchet, P. Lalande. Remote sensing of Electric Atmospheric Field produced by Stormcloud with an instrumented aircraft, Abstract AE31B-01 presented at 2010 Fall Meeting, AGU, San Francisco, California, 13-17 Dec. 2010.**

Ismaël Cognard

## Fiche signalétique

Nom ou acronyme de votre expérience :

Observations et étude des pulsars avec le radiotélescope de Nançay

Phénomène(s) étudié(s) :

L'émission radio des pulsars dans le décimétrique

Fréquences utiles :

1-3GHz

Technique de détection :

Acquisition des formes d'ondes et traitement temps réel

Type d'algorithmes utilisés :

Filtrage dans l'espace de Fourier complexe des formes d'ondes

Transformée de Fourier

Personnes concernées :

Lucas Guillemot, lucas.guillemot@cnrs-orleans.fr

Gilles Theureau, theureau@cnrs-orleans.fr

Jean-Mathias Griessmeier, jean-mathias.griessmeier@cnrs-orleans.fr

Coordonnées de la personne responsable :

Ismaël Cognard, icognard@cnrs-orleans.fr

Labos impliqués :

LPC2E Orléans - CNRS et Université d'Orléans

Station de radioastronomie de Nançay (Obs de Paris)

Seriez-vous intéressé pour collaborer avec d'autres groupes ? Si oui, lesquels ?

Très certainement... mais pas encore clair !

Références sur vos travaux (publis, thèses) :

[http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-abs\\_connect?&author=cognard&jou\\_pick=NO&db\\_key=AST](http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-abs_connect?&author=cognard&jou_pick=NO&db_key=AST)

# Etat de l'art de la detection radio des pulsars

Ismaël Cognard, [icognard@cnrs-orleans.fr](mailto:icognard@cnrs-orleans.fr)  
LPC2E, CNRS et Universite d'Orleans

Une grosse étoile une dizaine de fois plus massive que notre Soleil produit, après son explosion violente, une petite étoile d'une quinzaine de kilomètres de diamètre quasi-exclusivement constituée de neutrons. Les pulsars sont alors des étoiles à neutrons magnétisées dont des faisceaux radio s'échappent au niveau de l'axe magnétique. Balayant l'espace à la manière d'un phare au bord de la mer, ces faisceaux étroits sont perçus, sur Terre, sous forme d'impulsions radio régulières.

La mesure précise des temps d'arrivée des pulsars les plus rapides et les plus stables offre de nombreuses applications. Lorsque le pulsar est en orbite autour d'un astre aussi compact, des effets relativistes sont détectés et mesurés avec précision. La mesure de paramètres dit 'post-Keplériens' permet de tester la Relativité Générale ou même la validité de théories de la gravitation alternatives.

Un ensemble de pulsars ultra-stables suivis depuis plusieurs années est actuellement utilisé pour y rechercher un bruit commun qui serait la signature d'ondes gravitationnelles (c'est le concept de 'Pulsar Timing Array'). Le fond d'ondes gravitationnelles attendu provient très probablement des systèmes de trous noirs super-massifs situés au centre des galaxies relativement proches.

Les difficultés d'observation des pulsars sont de deux ordres. La composante ionisée du milieu interstellaire produit, par dispersion, un retard chromatique qu'il faut corriger pour retrouver la forme de l'impulsion à l'émission, non élargie par la traversée du milieu ionisé. C'est un filtre inverse à la dispersion, appliquée dans le domaine de Fourier complexe du signal, qui permet de corriger quasi-parfaitement de cet effet, sans craindre la concomitance d'une dispersion résiduelle avec la scintillation. La deuxième difficulté a trait au mouvement du radiotélescope par rapport au pulsar qui, par effet Doppler, produit une variation de la période apparente qu'il faut, au vu des courtes périodes de rotation de certains pulsars (~1.5ms!), absolument prendre pour produire une impulsion intégrée sur quelques minutes qui ne soit pas élargie. Une impulsion référence, généralement construite par l'addition de nombreuses observations élémentaires, est utilisée pour déterminer précisément les temps d'arrivée. Une analyse globale de tous les temps d'arrivée est faite pour améliorer les paramètres du pulsar (période de rotation et sa dérivée, position dans le ciel et son mouvement propre, etc...) et produire des 'résidus' de temps d'arrivée (différence entre les temps d'arrivée mesurés et les temps d'arrivée calculés). C'est un ajustement, au sens des moindres carrés par exemple, qui minimise les 'résidus' et permet d'améliorer les paramètres. L'inspection des 'résidus' permet de s'assurer qu'aucun systématisme n'est présent dans les données et que tous les paramètres nécessaires ont bien été pris en compte.

La découverte de nouveaux pulsars n'est une tâche très facile. Pour contourner la dispersion du milieu interstellaire, des centaines (voire milliers) de canaux répartis sur des centaines de MHz sont échantillonnés sur 2 à 4 bits avec une résolution de 50 à 100µs environ. Une recherche en dispersion est d'abord effectuée en essayant de nombreux jeux de décalages entre canaux, correspondants à des valeurs de dispersion croissantes. Une recherche en périodicité, par transformée de Fourier, est alors effectuée sur les données obtenues pour chaque jeu de décalage. La recherche de candidats 'pulsar' dans la transformée de Fourier est en général affinée par une recherche en accélération où la fréquence de rotation apparente du pulsar peut évoluer pendant l'observation. Une fois éventuellement sélectionné, un candidat verra alors les données d'observation proprement empilées pour construire un rapport avec un maximum d'informations, à même d'aider à la validation du-dit candidat. Avec des dizaines de candidats par observation et des milliers d'observations, des outils spéciaux sont développés pour valider plus facilement les candidats 'pulsar' plausibles.

Référence : Handbook of Pulsar Astronomy, by D. R. Lorimer , M. Kramer,  
Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2012