

# Concertation et structuration de la communauté scientifique française impliquée dans les études radars

## Compte-rendu de l'atelier des 6 et 7 novembre 2017

### "Radars: Technologies, Méthodologies et Applications"

(Site de l'atelier R-TMA-2017 <https://radars.sciencesconf.org>)

**Comité d'organisation / scientifique** : G. Delrieu (IGE), P. Javelle (IRSTEA), N. Gaussiat (MF-DSO), P. Kern (CNRS/INSU), Y. Lemaître (LATMOS), J. Parent du Chatelet (MF-CNRM), J. Van Baelen (LaMP)

**Laboratoires participants** : CNRM, CMR-DSO-Météo-France, Centre Emile Durkheim, Espace-Dev, IGE, IRAP, IRSTEА, IUT ISTERre, LA, LATMOS, LaMP, LMV, LOA, MOI, ONERA, OPGC, OVPF, RHEA, University of Leicester.

**Industriels** : Alliance Technologies, ATEM, EXWEXs, GAMIC, Météomodem, NOVIMET, ARCTHALESАIRSYSTEMS, Société ATEM, Weather Measures

**Autres** : Ville de Nîmes

Y. Lemaître & J. Van Baelen

Novembre 2017

#### **I. Introduction**

L'organisation de cet atelier trouve sa genèse dans le processus de "Concertation et structuration de la communauté scientifique française impliquée dans les études radars" entamée début 2016. En effet, une enquête/sondage d'intérêt réalisée auprès de la communauté OA et SIC le **29 Janvier 2016** a conduit à la mise en place d'un groupe de réflexion autour des thématiques "radar", groupe qui a ensuite tenu des réunions régulières (*compte-rendu*: [https://radars.sciencesconf.org/data/pages/CR\\_Concertation\\_Radars.pdf](https://radars.sciencesconf.org/data/pages/CR_Concertation_Radars.pdf)).

Ainsi, cet atelier:

- fait suite à la **réunion initiale du 19 avril 2016** au cours de laquelle ce groupe a pu finaliser un état des lieux des laboratoires/équipes actifs dans le domaine au niveau national, établir les questions fondamentales/fédératrices qui pourraient animer ce groupe .
- est dans la continuité de la **réunion du 23 Septembre 2017** qui a entamé des discussions concernant le mode de fonctionnement et l'animation future de ce groupement et aux actions et projets qui pourraient être réalisés (*voir Compte-rendu correspondant*). Au cours de cette dernière réunion il a été décidé d'organiser un colloque à l'automne 2017 en vue de 1°/ renforcer les échanges au sein de cette communauté tant sur les aspects

technologiques, méthodologiques qu'applicatifs en particulier opérationnel, mais aussi 2°/ d'élargir son audience vers les autres domaines au sein de l'INSU/INEE (terres solide, océan, surfaces continentales) ainsi que vers les autres types d'applications techniques (satellites, cartographie, ..) et/ou sociétales (impact des événements extrêmes), et enfin 3°/ d'interagir avec la recherche et le développement technologique au travers des SPI et des industriels.

- et enfin, l'organisation de cet atelier a été discutée lors de la **réunion du 10 mars 2017** au cours de laquelle des pistes d'organisations formelles ont pu être également débattues tel qu'un réseau technologique ayant pour objet la mise en commun d'expertise en R&D sur de nouvelles technologies, un GIS (Groupement d'Intérêt Scientifique) avec une base institutionnelle la plus large possible INSU, Météo France, IRSTEA, IFSTARR, industriel, ....

L'objet de cet atelier était donc de fournir un forum d'échange et de discussion autour des réalisations et développements technologiques et méthodologies ainsi que des applications radar, non seulement dans le domaine de la météorologie, mais également dans un contexte d'ouverture interdisciplinaire large aux domaines de la recherche et de l'étude du système terre et de l'univers.

Les différentes discussions organisées autour de présentations et d'une table ronde, avaient pour but d'appréhender globalement les radars en sciences, de faire l'état des lieux technologiques et méthodologiques, de présenter les applications opérationnelles et sociétales correspondantes, d'investiguer les technologies du futur et les nouvelles approches méthodologiques, de s'intéresser aux domaines de recherche et développement au-delà des sciences atmosphériques et (hydro)météorologiques, et enfin d'établir les perspectives industrielles dans ces domaines.

L'objectif de compte rendu est de synthétiser i) le contenu des présentations, ii) les discussions qui ont pu avoir lieu au cours de cet atelier et en particulier lors de la table ronde en mettant en exergue les grandes questions et propositions, et pour finir iii) les impressions du comité scientifique avec la projection des actions futures (coordination communauté, prochain atelier, ..).

Les présentations orales et posters de cet atelier sont en ligne sur le site de l'atelier ainsi que ce compte-rendu (voir <https://radars.sciencesconf.org>). Ils seront diffusés à l'INSU ainsi qu'aux organismes potentiellement concernés.

## **II. Compte-rendu des sessions**

L'atelier s'est organisé autour de 4 sessions thématiques intitulées "Radars météorologiques: Techniques et Applications", "Autres applications radars", "Sciences atmosphériques autour des précipitations et nuages", "Produits radars et aspects méthodologiques", et d'une session poster et d'une table ronde. Il compte 49 inscrits et a recueilli 26 contributions plus une demi-douzaine de posters "libres".

L'atelier a vu l'intervention d'un grand nombre d'acteurs, chercheurs, ingénieurs et industriels, (voir liste des laboratoires et industriels en entête) impliqués dans les divers aspects des technologies radars et de leurs applications, dans les domaines des surfaces continentales et océaniques, hydrologiques, hydrométéorologiques, météorologiques, ionosphériques, du volcanisme, du suivi de l'environnement, de la navigation aérienne et du développement durable. Il a donc permis de réunir des utilisateurs et des développeurs

d'instrumentations radar répondant à un large panel. Certains de ces travaux reposent sur une synergie Météo France / laboratoires (cf CEN, IGE-LTHE,...) qui a fait l'objet de discussions lors de la table ronde (voir CR ci-dessous).

Tout au long de ces deux journées, il a pu être ainsi constaté la grande expertise de la communauté dans l'exploitation de ce type de données, dans le développement de nouvelles technologies radar et dans le développement d'algorithmes permettant d'inverser ces données pour accéder aux paramètres géophysiques.

Il a pu être également constaté la grande force des PME françaises dans le domaine de la météorologie et de l'hydrométéorologie du fait de leur fort lien avec la communauté recherche qui a facilité le transfert d'expertise entre ces deux acteurs.

On peut distinguer plusieurs types d'activités exploitant la technologie radar: la R&D instrumentale, le développement de capteur, l'algorithmie radar (amélioration, développement), la fusion de données multi-capteurs, la documentation du milieu, l'étude des processus dynamique et microphysique, la simulation instrumentale et de l'interaction onde-milieu, la prévision météorologique (en particulier immédiate et du brouillard) et hydrologique, la détection temps réels (turbulence), le développement de systèmes autonomes radar, l'apport de la mesure de précipitation sur la gestion durable des eaux, et sur la prévision d'inondation et de pollution des réseaux d'assainissement, l'apport d'interférogramme dans le domaine .

La R&D instrumentale concerne en particulier l'exploitation d'émetteur à état solide de faible puissance à émission continue et des techniques d'analyse « temps réel » correspondantes, et l'exploitation d'antenne à balayage électronique. Ces deux types de technique présentent des enjeux importants car elles permettraient une exploitation plus aisée de systèmes radars dans des régions à forte densité de population avec par exemple des applications en météorologie urbaine, ou seraient plus facilement implémentables sur plateforme spatiale.

Le développement instrumental concerne plus particulièrement les radars en bande X ou en bande W exploitant pour certains d'entre eux la mesure polarimétrique en sus du Doppler.

Les travaux algorithmiques portent sur l'amélioration ou le développement de méthodes d'identification, de correction ou d'élimination des effets perturbateurs de la mesure radar comme l'atténuation, les échos fixes/masques. Ils portent également sur l'exploitation de ces effets perturbateurs pour obtenir des informations complémentaires à celles déjà documentées telles que les propriétés thermodynamiques de la couche limite (réfractivité) exploitant les échos fixes ou la microphysique des nuages exploitant l'atténuation différentielle. Ces travaux algorithmiques concernent également le développement de méthodes multifréquences ou exploitant les spectres radar pour accéder aux paramètres microphysiques.

La fusion de données multi-capteurs concerne les précipitations au sol et les propriétés microphysiques et repose sur des techniques statistiques ou d'assimilation.

La documentation du milieu concerne en particulier, les précipitations solides en haute montagne ou en antarctique, les propriétés microphysiques (phase glace et liquide) des systèmes nuageux et précipitants à fort impact climatique, météorologique, ou hydrométéorologique, la turbulence atmosphérique en particulier dans la couche limite, les propriétés des surfaces océaniques, les panaches de cendres volcaniques, la déformation des

surface terrestres, l'occupation des sols et, de là, l'impact sociétal (socio-économique, sanitaire) correspondant.

La simulation instrumentale et de l'interaction onde-milieu concerne en particulier l'instrumentation spatiale est porte par exemple sur de futurs projets spatiaux de capteurs radar Doppler polarimétrique

La détection en temps réel concerne la navigation aérienne et plus particulièrement la détection des tourbillons de sillage ou de relief en zone aéroportuaire.

Dans la liste des activités identifiées par la communauté, on note cependant l'absence dans cet atelier des activités de validation de modélisation. Il sera sans doute nécessaire pour le prochain atelier de réaliser une diffusion plus ciblée vers cette communauté afin de prendre en compte ses besoins.

### **III. Compte-rendu de la table ronde**

La table ronde qui clôturait l'atelier a été introduite par deux présentations de synthèse intitulées "Perspectives opérationnelles et interactions avec la recherche amont" et "Défis et enjeux scientifiques et techniques radars" qui sont disponibles sur le site de l'atelier. Ces deux présentations proposaient un cadre de discussion concernant les activités de recherche et applications opérationnelles.

La première présentation présentait le dispositif expérimental actuel mis en œuvre par Météo-France et les enjeux concernant ce dispositif, le planning de renouvellement, les produits actuellement fournis, les besoins en termes d'amélioration de la mesure radar (traitement atténuation, masques,...), les améliorations apportées récemment, la qualité des produits, le système de visualisation SERVVAL et ses futures versions.

Elle recensait également les interactions entre le CMR-DSO (chargé de l'amélioration de ce dispositif expérimental) avec la recherche amont, les thématiques scientifiques au CNRM exploitant les mesures du réseau opérationnel et les collaborations nationales et internationales, les activités nouvelles concernant le brouillard. Cette présentation proposait pour finir quelques questions ouvertes concernant la mise en place de collaborations plus étroites entre la recherche amont et l'opérationnel sur des sujets de R&D en produits nouveaux et en technologies et algorithmies nouvelles (émission continue, compression d'impulsion, types de radars, d'antenne, de capacités...) pour obtenir des produits plus performants ou nouveaux avec des coûts de maintenance et d'opération réduits. Elles concernaient également la synergie à mettre en place entre Météo-France, les labos et industriels français pour défendre le savoir-faire français à l'international.

La deuxième présentation, après une introduction rapide sur les enjeux différents pour les communautés recherche, opérationnelle et industrielles mais en contrepartie la nécessité d'une synergie plus étroite entre ces trois acteurs des activités « radar », discutait de l'importance de l'instrumentation radar pour les activités de recherche et questions scientifiques concernant le cycle de l'eau, le cycle des aérosols et transport de polluant, l'hydrologie et interaction avec les surfaces, les interactions troposphère-stratosphère, les propriétés et états de surface, les échanges atmosphère-surface, la turbulence atmosphérique, le brouillard, l'électrification des nuages...

Elle recensait quelques exemples non-exhaustifs de questions scientifiques concernant les processus, les modes d'exploitation de ces instrumentations radar pour répondre aux enjeux climatiques (approche statistique) et météorologique (étude de cas). Elle recensait également les activités de recherche plus applicatives. Une brève description des contraintes sur la mesure radar et du choix de la bande fréquence utilisée selon les milieux étudiés et questions scientifiques était également faite. Un historique des dispositifs instrumentaux exploités par le passé et actuellement disponibles était présenté. Une synthèse des efforts récents ou en cours sur les aspects algorithmiques et technologiques était donnée. Enfin des pistes de développement instrumental, de capacités nouvelles, d'améliorations algorithmiques, ... étaient passées en revue.

A l'issue de ces deux présentations, un débat animé et constructif s'est engagé entre les participants. Les discussions qui en ont suivi peuvent se résumer dans les points suivants.

**1.** L'ensemble des acteurs scientifiques, industriels et opérationnels adhère au fait qu'il est important i) de relancer et soutenir une dynamique d'innovation (R&D) au sens large autour des radars en France et ii) de mettre en place une structure pérenne qui permette de meilleurs échanges, plus directs et continus. Cette structure pourrait interagir avec celles déjà existantes dans la communauté industrielle telle que l'association pro-météo (<http://www.prometeo.asso.fr/>) par exemple.

**2.** Il apparaît important que cette R&D se focalise sur des niches non couvertes par les grands industriels, ce qui est a priori possible i) en s'appuyant sur les particularités du tissu économique français constitué de nombreuses petites PME/Startup hyperactives dans le domaine et en particulier pour des applications sociétales, PME déjà pour certaines d'entre elles en relation avec ou issues du monde académique, et ii) en s'appuyant sur un grand centre national actif dans l'observation par télédétection.

Le fait de mettre en commun et additionner leurs ressources et expertises dans un consortium/regroupement ou chacun contribue selon ses moyens ne peut qu'être bénéfique et stimuler la synergie. Ce regroupement pourrait permettre de surmonter certaines difficultés financières (financements potentiels plus nombreux et octroyés à une structure bien identifiée), de permettre une prise de risque plus importante pour les industriels et soutenue par l'opérationnel, de stimuler l'innovation réalisée dans le monde académique et son transfert vers le monde industriel/opérationnel, d'anticiper les besoins, et de mettre en commun des moyens.

On peut penser pour ce dernier point à la mise en place d'une plateforme « banc d'essai » pour les trois acteurs des activités radar permettant de tester de nouveaux concepts instrumentaux (antenne, émetteur, chaîne de traitement, ..), algorithmique en plus des besoins de validation/étalonnage indiqués dans la suite.

**3.** Un besoin de l'opérationnel pour des technologies nouvelles (types de radars, d'antenne, de capacités...), pour des produits plus performants ou nouveaux, avec pour objectifs un rapport coût-efficacité amélioré, une maintenabilité accrue et/ou une réduction sensible des coûts d'opération et de maintenance.

Dans cette démarche d'optimisation technologique, celle reposant sur la technologie à émetteur solide de faible puissance (de 0 à 700W) semble être un bon candidat. Elle permet des bas coûts avec une fiabilité/longévité importante et utilisable sur de longue durée sans

contrainte de sécurité et d'impact sur la santé, répondant ainsi au besoin de l'opérationnel et à court terme au besoin de climatologie (observation de type observatoire). Les modes pulsés avec chirp en fréquence ou continue avec rampe de fréquence (permettant de compenser la faible puissance) fonctionnant en mono-statistique doivent faire l'objet d'une évaluation dans le cadre de prototypes en cours de développement pour la documentation des processus microphysique. Il faudrait également pouvoir transposer l'expertise ainsi acquise à la bande C ou S pour les besoins de l'opérationnel.

Celle reposant sur les antennes à déphasage de phase (balayage électronique) présente de nombreux attraits (agilité, faible encombrement/inertie, ..) répondant aux enjeux de mise en œuvre sur diverses plateformes mobiles (bateau, spatiale) ou d'applications multifonctions (navigation aérienne, surveillance météo, recherche) mais nécessite une évaluation plus poussée du fait de leur coût actuel. Cette évaluation pourrait se faire dans le cadre de coopérations d'exploitation (accès aux données) d'instrumentations sol ou sur avion réalisées par les collègues américains (NCAR, CASA, ..).

Les développements reposant sur l'utilisation de plusieurs fréquences d'émission et exploitant l'atténuation et l'effet de Mie différentiel(le) semble également très prometteurs, notamment pour le spatial mais nécessite de plus amples études.

Enfin, la disponibilité de capteurs de faible coût (récepteurs bi-statiques) mis en œuvre de façon ponctuelle dans les réseaux fixes opérationnels ou déployés dans le cadre d'observatoires semble être une solution envisageable pour pallier les limites actuelles des réseaux de type opérationnel pour des études de processus s'intéressant à de plus fines échelles.

4. Au-delà de ces travaux de R&D technologique, ceux concernant l'amélioration de l'existant et en particulier des algorithmes de traitement des radars (du signal et d'obtention de paramètres géophysiques) actuellement exploités pour des applications hydrologiques ou météorologiques semblent important afin d'améliorer les produits ou paramètres géophysiques exploités actuellement pour l'opérationnel et la recherche. On peut citer pour le traitement du signal, la calibration radar, l'élimination du bruit, la détection des échos fixes et masques, la correction d'atténuation (en particulier dans la bande brillante), l'estimation des paramètres polarimétrique et en particulier du LDR, la classification des échos météorologiques (hydrométéores liquides et glacés) et non météorologique (échos de sol, masque), l'extension des domaines d'ambiguïté, les effets de Mie, ...

Pour les produits à fort impact potentiel non encore pleinement exploités, on peut citer les champs de vents 3D et de turbulence en air clair, la réfractivité, les paramètres microphysiques, les champs thermodynamiques en zones précipitantes, les cisaillements de vent tout temps, le givrage, les paramètres de surface océanique, les paramètres de brouillard....

Enfin, on peut citer aussi les développements liés au problème i) de la représentativité de la mesure de la pluie (du fait de sa forte variabilité) et i) des propriétés statistiques de la pluie avec des retombées sur l'intercomparaison/étalonnage de capteurs de résolutions temporelles et spatiales différentes ou la descente d'échelle qui permet de déterminer les caractéristiques de la pluie à une échelle plus petite que celle documentée (par exemple la projection plus locale d'une prévision climatique)

5. Pour ce qui concerne les thèmes d'études qui peuvent fédérer la communauté, celui concernant la microphysique en phase glace semble prometteur. Il recouvre ou concerne de nombreux aspects étudiés par la communauté. En effet ce thème recouvre des activités de processus et de caractérisation statistique nécessaire aux enjeux d'amélioration de la prévision météorologique, hydrologique, océanique et climatique et nécessite des activités algorithmiques d'amélioration des mesures faites par les réseaux opérationnels actuels, de développements instrumentaux pour caractériser cette microphysique en phase glace au sol et depuis l'espace, de R&D préparatoire aux enjeux futurs concernant les mesures opérationnelles et mesures spatiales à échelle globale.

Il impacte et recouvre par exemple les aspects microphysique/impact radiatif, microphysique/impact énergétique, transition nuage non-précipitant/nuage précipitant, bande brillante, microphysique glacée/précipitation au sol, précipitation et interaction avec la surface (état de surface, flux de chaleur, flux de précipitation), efficacité des précipitations, interaction microphysique/aérosols, microphysique/électrification des nuages, échange tropo/strato, etc...

Les domaines d'application sont l'amélioration de l'estimation des précipitations au sol pour l'hydrologie, l'amélioration de la microphysique des modèles météorologique et climatique, la préparation des futures missions spatiales des points de vue technologiques et algorithmiques ...

6. Les autres points discutés au cours de la table ronde concernent la valorisation des archives « radar » existantes (en particulier celle du réseau radar de Météo France) et l'exploitation des données radars pour d'autres applications (telle que la détection de la pénétration de météorites). Pour le premier point, une action (auprès de l'AERIS) est en cours pour faciliter l'accès par la communauté recherche à ces archives.

#### **IV. Impressions du Comité Scientifique et projection des actions futures**

L'impression générale du Comité Scientifique est que l'atelier s'est bien déroulé et que l'audience y a été particulièrement active et intéressée.

On note une forte participation des acteurs industriels et un enthousiasme déclaré pour l'action en cours de la communauté recherche/opérationnelle. On note également la présence de représentants de la communauté civile.

On peut par contre regretter l'absence de représentants des activités de validation de modélisation météorologique et dans une moindre mesure de modélisation climatique régionale. Il sera sans doute nécessaire pour le prochain atelier de réaliser une diffusion plus ciblée vers ces communautés afin de prendre en compte leurs besoins futurs. Un représentant de cette communauté pourrait participer au comité scientifique.

On note également que, bien que certains acteurs de ce type d'activité aient été représentés lors de l'atelier, les mesures opportunistes exploitant les hyperfréquences (comme l'utilisation de l'atténuation sur les communications GSM, TV Satellite,...) n'ont pu être discutées.

On note également une faible participation de la communauté hydrologique qui semble lié à un mode de diffusion inefficace. Le mode de diffusion choisi pour le(les) prochain(s) atelier sera sans doute plus direct et moins hiérarchique.

Dans l'avenir, il pourrait être intéressant de cibler les communautés intéressées par les thèmes fédérateurs retenus par la communauté mais exploitant des capteurs et techniques différents afin d'entamer des rapprochements possibles.

Pour finir un rapprochement pourrait être envisagé avec la communauté planétologie afin de permettre un transfert d'expertise vers de futurs projets spatiaux dévolus à l'étude des planètes du système solaire.

Ce compte-rendu et les échanges établis au sein de la communauté au cours de l'atelier serviront nécessairement de base de discussions pour les actions futures de mise en place d'une structure de type GIS (Groupement d'Intérêt Scientifique): définitions des objectifs/thèmes fédérateurs, identification des participants institutionnels et industriels, ouverture à une communauté plus large, mode de fonctionnement, etc.... Les objectifs de cette structure peuvent être assez large et pas restrictivement scientifiques en vue de structurer la communauté pour répondre aux appels d'offre, développer des synergies public/privé, renforcer les liens recherche/opérationnel, etc... Par ailleurs, on peut également envisager des actions de mises en place de sites et de méthodes de validation/étalonnage radar qui pourrait faire l'objet de ce GIS.

Toutefois, la mise en place d'un GIS nécessitera d'impliquer dès le début les juristes des différents organismes et de s'approprier une trame de la convention à signer. Dès lors, il sera essentiel de bien définir l'objectif de ce GIS (à quoi il va servir) et sur quels sujets se feront les transferts éventuels de compétences par exemple.

Enfin, le site de l'atelier pourrait se transformer en site provisoire du groupe de concertation afin de faciliter les discussions et la diffusion à une communauté plus large et pourrait préparer la version définitive du GIS qui développerait alors son site web spécifique au service de la communauté radar au sens large.