



Radars : Technologies, Méthodologies et Applications

R-TMA-2018

Observatoire Versailles Saint-Quentin (OVSQ)

Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ)

Guyancourt

Lundi 10 et mardi 11 décembre 2018

Table des matières

CoverPageRTMA2018.pdf	1
Radar et sciences de la Terre et de l'environnement	3
Le profileur de vent Degréane Horizon : Développements récents, Julien Mar- main [et al.]	4
CFOSAT: un nouveau satellite pour la mesure du vent et des vagues à partir de deux instruments radar en bande Ku, Daniele Hauser [et al.]	5
RadAlp : Apport de la télédétection radar pour l'estimation des précipitations liquides et solides dans les Alpes, Guy Delrieu	7
Radars aéroportés au LATMOS, Christophe Le Gac	9
Evaluation of the rain microphysics representation in the WRF model with mul- tifrequency radars observations, Céline Planche [et al.]	10
Mesurer la pluie par radar météo, Jacques Testud [et al.]	12
Discussion, Pierre Javelle	13
Etat des lieux technologiques et methodologiques	14
Propriétés microphysiques des nuages par inversion des observations radars ROXI et BASTA, Yvon Lemaître [et al.]	15
Center for cloud remote sensing: Cloud Radar Calibration Campaign 2018, Felipe Toledo [et al.]	16
Instrumentation microonde pour l'observation de la Terre au CNES : activités en cours et perspectives, Alain Mallet	18

Le radar nuages BASTA. Performances, applications et organisation, Damien Vignelles [et al.]	19
Progrès réalisés dans les traitements radars polarimétriques à Météo-France, Nan Yu	20
Plateforme PIMA de l'IETR, Paul Leroy	21
Discussion, Guy Delrieu	22
Development of an active sensor module for the RTTOV-SCATT radiative transfer simulator, Fabrice Duruisseau [et al.]	23
Applications opérationnelles et societales	24
Utilisation des données radar dans le modèle de prévision météorologique AROME, Thibaut Montmerle	25
RAINPOL un outil de surveillance hydrométéorologique radar au service du citoyen et des collectivités, Emmanuel Moreau [et al.]	26
SERVAL : un nouveau système de traitement centralisé pour le réseau radar français, Nicolas Gaussiat	27
Discussion, Thibaut Montmerle	28
Technologies du futur et nouvelles approches methodologiques	29
Les propriétés microphysiques des précipitations stratiformes pendant OLYMPEX: compatibilité entre les observations aéroportées de radar triple-fréquences et in-situ, Frederic Tridon	30
Filtrage des données radar par deep learning, Pierre Lepetit [et al.]	31
HD Rain, François Mercier [et al.]	32
Discussion, Joël Van Baelen	33
Liste des participants	33
Liste des auteurs	35

Radar et sciences de la Terre et de l'environnement

Le profileur de vent Degréane Horizon : Développements récents

Julien Marmain * ¹, Philipp Currier ¹

¹ Degreane Horizon – Degreane Horizon – 730 rue de l’initiative, 83390 Cuers, France

DEGREANE HORIZON développe depuis plus de 30 ans une large gamme de produits et services pour l’observation météorologique (Systèmes Intégrés d’Observation Météorologique d’Aérodromes (SIOMA), réseaux de stations synoptiques automatiques et RADAR profileurs de vent), la Défense et les Télécommunications.

Le profileur de vent couche limite PCL1300 de DEGREANE HORIZON est commercialisé depuis la fin des années 1990. Il s’agit d’un radar doppler à impulsion fonctionnant dans la gamme de fréquence UHF. Il permet d’obtenir des profils de vent avec une haute résolution temporelle pouvant dépasser des altitudes de 8000 m avec une résolution pouvant atteindre 75m.

Ce système est utilisé à travers le monde de manière opérationnelle, afin d’assurer la sécurité des vols (détection des cisaillements de vent) ou pour participer à l’amélioration des modèles de prévision du temps, mais aussi dans le cadre de projets de recherche liés à l’étude de la dynamique atmosphérique, des aérosols...

Ce profileur de vent en constante évolution, basé sur des technologies robustes, a subi récemment des évolutions matérielles (développement d’un nouveau module contrôleur RADAR/Récepteur numérique) et logicielles permettant d’identifier et de filtrer les signaux parasites intermittents (avions, oiseaux). En particulier un module de calcul temps-fréquence a été développé et permet de traiter et d’afficher en temps réel ou différé les signaux acquis. Cela est permis en particulier grâce à la possibilité d’enregistrer les séries temporelles en vue du développement de nouvelles méthodes de traitement de signal.

*Intervenant

CFOSAT: un nouveau satellite pour la mesure du vent et des vagues à partir de deux instruments radar en bande Ku

Daniele Hauser* ¹, Lauriane Delaye †‡ ², Patricia Schippers †

¹, Christophe Dufour§ ¹, Mamadou Camara¶ ¹, Celine Tison|| ³, Cédric Tourain** ⁴

¹ Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines : UMR8190, Institut national des sciences de l’Univers : UMR8190, Sorbonne Université : UMR8190, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR8190, Institut national des sciences de l’Univers : UMR8190, Institut national des sciences de l’Univers : UMR8190, Institut national des sciences de l’Univers : UMR8190 – France

² ACRI-ST – ACRI-ST – France

³ CNES – CNES, Centre National des Etudes Spatiales - CNES – France

⁴ CNES – Centre National d’Etudes Spatiales - CNES (Toulouse, France) – France

La mission spatiale CFOSAT (China France Oceanography SATellite) a été conçue pour répondre au besoin d’amélioration des connaissances concernant les caractéristiques de la surface océanique (vent, vagues), et leurs impacts sur les échanges entre l’atmosphère et l’océan qui jouent un rôle majeur dans le système climatique. Elle permettra par exemple d’étudier des aspects mal connus du rôle des vagues sur les basses couches de l’atmosphère, sur l’océan superficiel, et sur la glace de mer en zone polaire. De manière complémentaire aux autres observations spatiales actuelles, CFOSAT permettra de fournir des observations cruciales pour la prévision atmosphérique, la prévision de l’état de la mer, et la modélisation numérique du système couplé océan-atmosphère. Elle apportera également une description précise des conditions de vagues en haute mer qui conditionnent l’impact des vagues sur l’évolution des zones littorales.

CFOSAT est une mission originale à plusieurs titres. En premier lieu, il s’agit de la première coopération pour une mission spatiale conjointe entre la France et la Chine, qui ont uni leurs compétences et moyens pour développer et mettre en oeuvre de nouveaux concepts de mesure depuis l’espace. Ainsi, le satellite embarque deux instruments radar fonctionnant en bande Ku, l’un dédié à la mesure du vent (SCAT conçu et développé en Chine), l’autre (SWIM, conçu et développé en France), dédié à la mesure des propriétés détaillées des vagues (hauteur, longueurs d’onde et directions de propagation dominantes). C’est la première fois qu’une mission spatiale est entièrement dédiée à la mesure globale et simultanée du vent et des vagues à la surface de

*Auteur correspondant: daniele.hauser@latmos.ipsl.fr

†Intervenant

‡Auteur correspondant: lauriane.delaye@latmos.ipsl.fr

§Auteur correspondant: christophe.dufour@latmos.ipsl.fr

¶Auteur correspondant: mamadou.camara@latmos.ipsl.fr

||Auteur correspondant: celine.tison@cnes.fr

**Auteur correspondant: cedric.tourain@cnes.fr

l'océan. Par ailleurs chacun des deux instruments repose sur des concepts nouveaux, jamais mis en œuvre depuis l'espace. En effet grâce à leur géométrie illuminant la surface sur 360° par un balayage autour de l'axe vertical, et pointant depuis le nadir jusqu'à des angles d'incidence de 50° environ, l'observation combinée par SWIM et SCAT apportera des informations dans une diversité de géométrie de mesure qui permettra d'extraire les paramètres d'intérêt sur un large domaine.

Le concept de l'instrument SWIM a été proposé à l'origine par le LATMOS sur la base de travaux préparatoires réalisés à partir de mesures aéroportées (démonstrateurs aéroportés RESSAC, STORM puis KuROS en bande C puis Ku). L'instrument a ensuite été conçu et réalisé par Thales Alenia Space sous maîtrise d'œuvre CNES. La géométrie est présentée ci-dessous en Figure 1. Au cours de cette conférence, nous présenterons les caractéristiques générales de l'instrument SWIM, ainsi que les travaux préparatoires réalisés au LATMOS sur les méthodes d'inversion des données et les performances des produits, à partir de données simulées. Ces données reposent sur la simulation de la surface (générée à partir de modèles de vagues), la simulation du signal radar (incluant les sources de bruit, la géométrie radar et orbitale), et les maquettes des chaînes d'inversion de données préparées en grande partie au LATMOS et désormais implémentées au centre de mission du CNES. Ci-dessous en figure 2 et 3, deux exemples de produits simulés : i) spectre directionnel des vagues sur une cellule spatial d'environ (70 x 90 km) et ii) carte globale de hauteur des vagues sur 13 jours.

Nous aurons également sans doute l'occasion de montrer les toutes premières données de CFOSAT, un peu plus d'un mois après le lancement.

Figure 1 : Géométrie de mesure de l'instrument SWIM. SWIM utilise une géométrie à 6 faisceaux de 2 x 20° d'ouverture . Un plateau tournant comprenant 6 sources hyper-fréquence illumine une parabole fixe pointée vers la surface terrestre. La surface est illuminée séquentiellement sur une tache au sol d'environ 18 km de diamètre et des incidences de 0, 2, 4, 6, 8 et 10° successivement . Grâce à la rotation du plateau tournant, le faisceau balaye la surface en permanence sur 360°. La résolution radiale du radar est d'environ 0.47 cm ce qui permet d'analyser les variations de coefficient de rétrodiffusion de la surface à haute résolution dans la direction de visée.

Figure 2 : Exemple de spectre directionnel des vagues estimé à partir du simulateur.

Figure 3 : carte de hauteur de vagues obtenue sur 13 jours de données simulées

RadAlp : Apport de la télédétection radar pour l'estimation des précipitations liquides et solides dans les Alpes

Guy Delrieu * ¹

¹ Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE) – CNRS : UMR5001, Institut de recherche pour le développement [IRD] : UR012, Université Grenoble Alpes – UGA - IGE (UMR 5001) CS 40700 38058 Grenoble Cedex 9, France

RadAlp : Apport de la télédétection radar pour l'estimation des précipitations liquides et solides dans les Alpes

G. Delrieu, A. Khanal, F. Cazenave, B. Boudevillain

Institut des Géosciences de l'Environnement Grenoble

N. Yu, D. Faure, N. Gaussiat

Centre de Météorologie Radar, Météo France

L'amélioration de l'estimation des précipitations en montagne représente un enjeu d'importance majeure pour l'évaluation et la gestion des ressources en eau et en neige (production d'eau potable et d'énergie hydro-électrique, besoins liés à l'agriculture et au tourisme) et pour la prévision des risques naturels (crues et inondations, crues soudaines, mouvements gravitaires ...). Pour caractériser et anticiper les risques associés aux précipitations intenses et à la fusion du manteau neigeux, il convient de disposer d'observations hautement résolues spatialement (1 km² ou mieux) et temporellement (l'heure ou mieux) des précipitations liquides et solides qui ne peuvent pas être obtenues à l'aide de réseaux hydrométéorologiques conventionnels dans une chaîne de haute montagne comme les Alpes.

La couverture des régions de haute montagne pose cependant un ensemble de problèmes complexes pour ce capteur liés au relief et à la structure verticale des précipitations que l'on peut résumer par le dilemme suivant : 1) installer un radar au sommet d'une montagne permet une visibilité à 360° et donc la capacité de détecter des systèmes précipitants à forte extension verticale (événements convectifs estivaux) à l'échelle régionale ; mais les précipitations sont susceptibles de subir d'importantes modifications entre l'altitude de leur détection et leur arrivée au sol, cela incluant des modifications de phase lorsque l'isotherme 0°C est située entre l'altitude du radar et le sol ; 2) installer un radar en fond de vallée permet de garantir de meilleures estimations par tout temps à l'échelle d'un site vulnérable (une ville alpine par exemple), mais au prix d'une

*Intervenant

visibilité réduite à celui-ci. De plus, si les interactions entre ondes électromagnétiques et précipitations liquides sont assez bien quantifiées, la rétrodiffusion et l'absorption des hydrométéores glacés et en fusion sont beaucoup plus complexes du fait de la diversité de forme et de densité de ces hydrométéores et cela constitue un défi particulièrement crucial dans le contexte considéré.

Météo-France a déployé un radar bande X, Doppler à diversité de polarisation en 2014 au sommet du mont Moucherotte à proximité immédiate de Grenoble. Malgré l'apport de la polarimétrie, la forte atténuation subie dans la couche de fusion à cette longueur d'onde, combinée à l'hétérogénéité de remplissage du faisceau radar (NUBF pour " non-uniform beam filling " effects), reste une limitation des mesures radar bande X réalisées en altitude pour l'estimation des intensités de précipitations liquides et solides au sol. L'IGE dispose d'un radar de recherche appelé XPORT, de caractéristiques proches de celles du radar du Moucherotte. Ce radar a été installé sur le site de l'IGE sur le toit du bâtiment OSUG-B. Divers capteurs *in-situ* (station météorologique, disdromètres) et de télédétection (MRR - radar à visée fixe verticale en bande K - longueur d'onde ~ 1 cm) installés à proximité complètent ce système d'observation. Depuis 2016, un jeu de données de qualité a pu être acquis à l'aide des radars XPORT, du MRR et des capteurs *in-situ*.

Deux études menées en 2018 seront discutées :

1) La couche de fusion qui se développe en dessous de l'altitude de l'isotherme $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ détermine l'occurrence de pluie et de neige au niveau du sol et crée plusieurs artefacts pour la mesure radar (bande brillante, atténuation), ceux-ci affectant les estimations de pluie et de neige. Nous avons développé un algorithme de détection automatique des caractéristiques de la couche de fusion (altitudes haute et basse, altitudes et valeurs des pics des différents paramètres polarimétriques et Doppler). Une climatologie de différents paramètres a pu être établie à partir des données d'une cinquantaine d'épisodes couvrant le cycle annuel.

2) Nous avons abordé la question de l'atténuation en bande X en comparant des estimations d'atténuation totale (PIA) obtenues à partir de la décroissance du signal rétrodiffusé par les montagnes lors de précipitations avec des estimations de phase différentielle () sur le trajet aller-retour radar-montagne. Outre des résultats obtenus avec le radar XPORT pour la pluie lors d'épisodes convectifs estivaux, nous avons pu analyser un cas hivernal très intéressant avec la caractérisation de l'atténuation dans les différentes parties de la couche de fusion lors de sa montée et de son passage au niveau du faisceau à 0° du radar du Moucherotte, l'évolution temporelle de la couche de fusion étant caractérisée par ailleurs en détail de façon concomitante à l'aide des données d'XPORT.

Radars aéroportés au LATMOS

Christophe Le Gac * 1,2,3,4,5

¹ LATMOS – CNRS : UMR8190 – France

² Nicolas Pauwels – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ) – France

³ Julien Delanoé – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ) – France

⁴ Danièle Hauser – CNRS : UMR8190 – France

⁵ Christophe Caudoux – CNRS : UMR8190 – France

Depuis 25 ans, le LATMOS (et anciennement CETP) a développé une expertise dans les radars et plus particulièrement dans leur version aéroportée.
quel est l'intérêt des mesures aéroportées et leur enjeu ?

quels sont les principes radar réalisés, les traitements associés et les moyens d'étalonnage mis en oeuvre ?

*Intervenant

Evaluation of the rain microphysics representation in the WRF model with multifrequency radars observations

Céline Planche ^{*† 1}, Frédéric Tridon ², Sandra Banson ¹, Gregory Thompson ³, Joël Van Baelen ¹, Wolfram Wobrock ¹

¹ Université Clermont Auvergne, INSU-CNRS UMR 6016, Laboratoire de Météorologie Physique, Clermont-Ferrand, France – Institut national des sciences de l'Université : UMR6016 – France

² Earth Observation Science, Department of Physics and Astronomy, University of Leicester, Leicester, UK – Royaume-Uni

³ Research Applications Laboratory, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, USA – États-Unis

This study investigates how multi-frequency radar observations can be used to evaluate the representation of the rain microphysics in the WRF (Weather Research and Forecasting) model for a squall line system observed over Oklahoma on 12 June 2011. A novel retrieval technique combining observations of two vertically pointing cloud radars (located at the South Great Plain (SGP) Central Facility of the U.S. Department of Energy Atmospheric Research Measurement (ARM) program) provides quantitative description of the Drop Size Distribution (DSD) properties of the transition and stratiform regions of the squall line system with unprecedented vertical and temporal details.

The comparison between the retrieved properties of the DSD (i.e., the concentration parameter and the mean volume diameter) and the same parameters modelled using either the Morrison or the Thompson bulk microphysics parameterization (BMP) highlights large discrepancies in the evolution of the vertical profile of the rain DSD. These discrepancies suggest an issue in the representation of the rain drops breakup and self-collection, or another effect such as the drop size sorting artefact associated to sedimentation in bulk schemes. They may also partly originate from the properties of the simulated ice Particles Size Distribution (PSD) above the melting layer, however no accurate PSD retrieval are available for validation.

Focusing on the rain layer, numerical sensitivity analysis are performed to investigate the sources of these differences. This study tackles the bias at the top of the rain layer and the vertical DSD evolution by modifying the melting process in the Thompson BMP and using different breakup and self-collection parameterizations in both BMPs. Results show that the vertical evolution of the DSD is strongly dependent on the representation of the breakup/self-collection parameterization and the melting process. In the Thompson BMP the simulations tend to produce better results for the DSD properties of the transition zone at the expense of those obtained for the stratiform region. In the Morrison scheme, the simulations with more efficient breakup can reproduce the DSD properties with better fidelity by dominating the effect of drop size sorting due to sedimentation. Nevertheless, this latter artifact has a non-negligible influence on the DSD

*Intervenant

†Auteur correspondant: Celine.Planche@uca.fr

profile and should therefore be avoided, i.e., by using bin microphysics in future work for a proper evaluation of the breakup parameterization.

This study also investigates how the inaccuracy in the representation of the DSD properties strongly influences the evaporation rate and hence could impact not only the rain rate at the ground but also the atmospheric buoyancy and the cold pool intensity through latent heat exchange.

Mesurer la pluie par radar météo

Jacques Testud ^{*† 1}, Erwan Le Bouar^{‡ 1}, Emmanuel Moreau^{§ 1}

¹ NOVIMET – Société Novimet – France

La précipitation est une donnée d'entrée incontournable dans toutes les applications qui touchent à l'hydrologie, urbaine (ruissellement urbain, gestion de la voirie et des assainissements etc.) ou rurale (crues éclair, glissements de terrain, gestion des barrages, contrôle de l'irrigation, etc.). Le radar météo est la seule technique permettant de cartographier la pluie en continue. Cependant, étant par essence une technique de télédétection, il nécessite une validation par des données terrain, en particulier de pluviomètre, la seule réalité-terrain reconnue par les hydrologues.

NOVIMET a une forte expérience aussi bien en matière d'estimation de la lame d'eau à partir de données radar (logiciel breveté ZPHI) que de validation par des données de pluviomètres au sol. La présente communication met en perspective les résultats de deux expériences de validation, l'une conduite avec ARVALIS en 2004-2005 près de Boigneville (en région parisienne), l'autre en 2007 dans le cadre de FRAMEA avec Météo-France, le LATMOS, et l'IRSTEA autour du radar de Collobrières dans le Var.

L'emphase est mise tout d'abord sur la détermination de la fonction de corrélation spatiale de la pluie, capitale pour interpréter les écarts entre mesure de pluie du pluviomètre et mesure de pluie du radar. A supposer que les deux instruments, radar et pluviomètre, font des mesures " parfaites ", la fonction de corrélation spatiale permet en effet de prédire *l'écart statistique* entre leurs deux mesures du simple fait de la *variabilité spatiale de la pluie*.

La courbe de fréquence cumulative des pluies au-dessus d'un seuil donné est un outil couramment utilisé par les hydrologues pour caractériser le régime de pluie en un lieu donné. C'est cet outil qui a été mis en œuvre par l'IRSTEA dans FRAMEA pour comparer les performances des lames d'eau radar obtenues par le radar bande S de Collobrières (étalonné par les pluviomètres) et du radar HYDRIX de NOVIMET (en instrument autonome). Nous revisitons le commentaire du résultat obtenu et suggérons son utilisation extensive pour évaluer les algorithmes d'inversion des données radar.

*Intervenant

†Auteur correspondant: jtestud@novimet.com

‡Auteur correspondant: elebouar@novimet.com

§Auteur correspondant: emoreau@novimet.com

Discussion

Pierre Javelle * ¹

¹ Centre d'Aix-en-Provence [IRSTEA] – Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture – 3275 Route de Cézanné CS 40061, 13182 Aix-en-Provence Cedex 5, France

Discussion générale

*Intervenant

Etat des lieux technologiques et methodologiques

Propriétés microphysiques des nuages par inversion des observations radars ROXI et BASTA

Yvon Lemaître * ¹, Nicolas Pauwels[†] ², Christophe Le Gac[‡] ²

¹ Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales (LATMOS) – INSU, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ), Université Pierre et Marie Curie (UPMC) - Paris VI, CNRS : UMR8190 – France

² Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines : UMR8190, Institut national des sciences de l'Université : UMR8190, Sorbonne Université : UMR8190, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR8190, Institut national des sciences de l'Université : UMR8190, Institut national des sciences de l'Université : UMR8190, Institut national des sciences de l'Université : UMR8190 – 11 boulevard d'Alembert Quartier des Garennes 78280 - Guyancourt, France

Dans le cadre de l'exploitation de la campagne ATMOS-Precip réalisée par le " GT Précipitation " du SIRT/IPS/SL du 15 septembre 2016 au 15 Janvier 2017, plusieurs développements méthodologiques ont pu être réalisés. Ils exploitent les données acquises par les radars en bande X et W et à visée verticale, ROXI et BASTA. Ces méthodes permettent de documenter les propriétés et processus microphysiques des nuages selon la verticale et le temps. Cette présentation présente trois de ces méthodes qui exploitent soit les spectres Doppler obtenus par FFT, soit les moments d'ordre 0 à 2 de la fonction d'auto-corrélation obtenue par Pulse Pair (PP) ou les réflectivités et vitesses Doppler obtenues par FFT ou PP. Ces différentes méthodes sont adaptées à des études fines des processus microphysiques ou permettent d'effectuer des applications plus systématiques pour réaliser des climatologies ou études statistiques.

*Intervenant

[†]Auteur correspondant: nicolas.pauwels@latmos.ipsl.fr

[‡]Auteur correspondant: Christophe.LeGac@latmos.ipsl.fr

Center for cloud remote sensing: Cloud Radar Calibration Campaign 2018

Felipe Toledo *¹, Julien Delanoe², Jean-Charles Dupont^{3,4}, Martial Haeffelin^{4,5}, Jiapeng Yin⁶, Herman Russchenberg⁷

¹ Laboratoire de Météorologie Dynamique – Polytechnique - X – Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex, France

² Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales (LATMOS) – INSU, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ), Université Pierre et Marie Curie (UPMC) - Paris VI, CNRS : UMR8190 – France

³ Laboratoire de Météorologie Dynamique – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ) – Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex, France

⁴ IPSL – CNRS-MNHN-SU-IRD-IPSL – France

⁵ Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) – École normale supérieure [ENS] - Paris, Polytechnique - X, Université Pierre et Marie Curie (UPMC) - Paris VI, INSU, CNRS : UMR8539 – Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex, France

⁶ Department of Geoscience and Remote Sensing, TU-Delft – Building 23 Stevinweg 1 / PO box 5048 2628 CN Delft / 2600 GA Delft Netherlands, Pays-Bas

⁷ Department of Geoscience and Remote Sensing, TU-Delft – Faculty of Civil Engineering and Geosciences Building 23 Stevinweg 1 / PO box 5048 2628 CN Delft / 2600 GA Delft Netherlands, Pays-Bas

Cloud Radars (CR) are very useful tools for cloud research, providing observations related to cloud and fog structure, dynamics and microphysical properties.

However, up to date, there is no standard or widely available calibration method for CRs. This makes intercomparison of data between sites a challenge, since there is no guarantee of consistency between data collected by different instruments or during different time periods. Besides, an error of ± 1 dBZ in the measurement can introduce an uncertainty of $\pm 15\%$ on Liquid Water Content (LWC) retrievals, and within $+19\%$ and -16% for Ice Water Content (IWC) retrieval. Additionally, 15 CRs are currently operating at ACTRIS atmospheric observatories in Europe alone and more are expected. Thus, the development of a standard calibration procedure becomes crucial to ensure the value of the network.

To address the aforementioned need, the Center for Cloud REmote Sensing (CCRES) is conceived as part of the ACTRIS research infrastructure with the objective of developing a set of standards for CR calibration and data policies. This will improve the measurement quality of Cloud remote sensing observatories in Europe, guaranteeing homogeneity in the procedures to boost meteorological research.

Several calibration campaigns have been performed at the SIRTA atmospheric observatory, located in Palaiseau, France, with the objective of gathering the knowledge needed to carry out the CCRES mission.

*Intervenant

We will present the foundation of this work, the CCRES mission and results from the calibration campaign performed at SIRTa in May-June of 2018.

This campaign consisted of experiments using calibration targets either fixed on the top of a mast or onboard an unmanned aerial vehicles (UAVs), and calibration transfer using natural targets such as clouds. The UAV is a new methodology being developed as a collaboration between SIRTa and the Atmospheric Remote Sensing Group of TU-Delft, also part of the CCRES.

Instrumentation microonde pour l'observation de la Terre au CNES : activités en cours et perspectives

Alain Mallet ^{*† 1}

¹ CNES – ministères de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, minis – France

Un tour d'horizon des activités en cours et à venir au CNES (avec ses partenaires) dans le domaine de l'instrumentation microonde est proposé. Les domaines suivants seront notamment abordés : altimétrie nadir et à fauchée, diffusiométrie, radiométrie. Les activités associées de développement de moyens de calibration/validation seront également abordées.

*Intervenant

†Auteur correspondant: Alain.Mallet@cnes.fr

Le radar nuages BASTA. Performances, applications et organisation

Damien Vignelles * ¹, Christophe Le Gac ², Julien Delanoe ³

¹ Société Meteomodem – modem – 77 rue de Bessonville 77760 Ury, France

² Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines : UMR8190 – 11 boulevard d’Alembert Quartier des Garennes 78280 - Guyancourt, France

³ Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales (LATMOS) – INSU, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ), Université Pierre et Marie Curie (UPMC) - Paris VI, CNRS : UMR8190 – France

Le radar BASTA, développé par le LATMOS/IPSL et produit la société Meteomodem, est pensé pour être un radar nuage 95GHz peu couteux à l’achat, peu consommateur en énergie et hautement transportable comparativement aux autres instruments de son type. Ces caractéristiques sont rendues possibles notamment grâce à l’utilisation d’un amplificateur de faible puissance (0.5 à 1W) et l’utilisation d’une émission continue modulée en fréquence (FMCW – Frequency Modulated Continuous Waves).

Actuellement, 7 BASTA ont été produits et participent en France et dans le monde à des campagnes scientifiques de terrain diverses comme l’étude des brouillards, la microphysique des nuages ou l’étude des panaches volcaniques. Le BASTA est également engagé dans l’établissement de procédures de calibration radar nuages dans le cadre de ACTRIS CCRES (Centre for Cloud RemoteSensing). Deux thèses CIFRE sont actuellement en cours pour développer les potentiels de cet instrument.

Les caractéristiques du radar ainsi que l’organisation entre la société Modem et deux laboratoires de l’IPSL (le LATMOS et le LMD) seront présentées. Il sera également donné une description des thèses passées et actuelles sur le radar, l’avancement de l’industrialisation du BASTA par Modem ainsi que les perspectives de celle-ci.

*Intervenant

Progrès réalisés dans les traitements radars polarimétriques à Météo-France

Nan Yu ^{*† 1}

¹ Centre de Météorologie Radar – MétéoFrance, Météo France – 42 avenue Coriolis 31057 Toulouse, France

Une nouvelle version (V2) de la chaîne polarimétrique a été déployée sur le système SERVAL de traitements centralisés de Météo France. Plusieurs améliorations ont été apportées à la chaîne opérationnelle: 1) la variable KDP est maintenant utilisée dans l'estimation des précipitations intenses ; 2) le problème de repliement de Phidp est corrigé ; 3) la détermination de l'offset de Phidp est plus robuste; 4) la correction de l'atténuation dans couche de fusion pour radars en bande X est renforcée. Les résultats de l'évaluation de cette nouvelle version seront présentés avant d'introduire la future version (V3) qui est en phase de développement. Dans cette future version une nouvelle méthode du filtrage de Phidp est proposée pour limiter la perturbation de l'effet de rétrodiffusion (backscattering) dans l'estimation de KDP. Un filtre itératif qui présume une croissance monotone de Phidp enlève par corrections successives les anomalies de maximum et minimum de Phidp. Ce filtre permet de supprimer les fortes fluctuations dans le signal sans pour autant moyenniser les valeurs consécutives. Ensuite, un filtre de Kalman conditionné par la relation auto-consistante entre KDP et Zh est utilisé pour estimer la dérivée de Phidp et déterminer le taux de précipitation. Cette version sera particulièrement nécessaire à l'exploitation du radar de Piton Villers à la Réunion et des radars polarimétriques qui seront déployés dans le projet PUMA2 en outremer (Guadeloupe, Martinique, La Réunion, Nouvelle-Calédonie) en 2019-2022.

*Intervenant

†Auteur correspondant: nan.yu@meteo.fr

Plateforme PIMA de l'IETR

Paul Leroy ^{*† 1}

¹ Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes (IETR) – CNRS : UMR6164, Université de Rennes 1, Institut National des Sciences Appliquées (INSA) - Rennes, SUPELEC, Université de Nantes – Campus de Beaulieu Bâtiment 11D 35042 Rennes Cedex, France

L'Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes s'est doté d'un petit porteur mono hélice (Flight Design CTLS) doté d'un cargo pod permettant l'intégration de matériel scientifique. L'avion est destiné à emporter des expériences de l'IETR mais également à répondre à tout type de demande sous forme de collaboration ou de prestation. Cet exposé se propose de présenter la plateforme ainsi que les instruments qui ont été intégrés à son bord, parmi lesquels un radar SAR en bande C et un radar impulsif à 40GHz conçus par l'IETR.

*Intervenant

†Auteur correspondant: paul.leroy@univ-rennes1.fr

Discussion

Guy Delrieu * ¹

¹ Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE) – CNRS : UMR5001, Institut de recherche pour le développement [IRD] : UR012, Université Grenoble Alpes – UGA - IGE (UMR 5001) CS 40700 38058 Grenoble Cedex 9, France

Discussion générale

*Intervenant

Development of an active sensor module for the RTTOV-SCATT radiative transfer simulator

Fabrice Duruisseau ¹, Philippe Chambon * ², Alan Geer ³

¹ CNRM UMR-3589 – Météo France – Météo-France 1 Quai Branly 75340 Paris CEDEX 07, France

² CNRM UMR-3589 – Météo France – France

³ European Center for Medium-range Weather Forecast (ECMWF) – Reading, Royaume-Uni

Active microwave sensors are becoming widely used observations within the Numerical Weather Prediction community, either for validating model forecasts or for assimilation purposes. Like for the forward simulation of passive microwave observations, radar data simulations require to make assumptions on the scattering properties of hydrometeors. With the objective of simulating both active and passive microwave instruments within a single framework using the same radiative transfer assumptions into a widely-used tool in the NWP community, an active sensor module is currently under development within the RTTOV-SCATT software. The first simulations of the GPM/DPR instrument as well as the Cloudsat/CPR instrument with this simulator will be shown, based on the AROME model running operationally at Météo-France over five domains in the Tropics. In particular, some model biases highlighted with these first comparisons will be discussed.

*Intervenant

Applications operationnelles et societales

Utilisation des données radar dans le modèle de prévision météorologique AROME

Thibaut Montmerle * ¹

¹ Groupe d'étude de l'atmosphère météorologique (CNRM-GAME) – CNRS : UMR3589, INSU, Météo France – METEO FRANCE CNRM 42 Av Gaspard Coriolis 31057 TOULOUSE CEDEX 1, France

Depuis 10 années, le modèle opérationnel AROME fournit quotidiennement des prévisions numériques météorologiques à l'échelle kilométrique sur la France métropolitaine. Ces prévisions sont initialisées à partir d'analyses issues d'un système d'assimilation de type 3DVar qui est appliqué de manière cyclique toutes les heures. En conditions pluvieuses, les vents Doppler et les réflectivités des 26 radars sols du réseau national ARAMIS ont un rôle clé dans la production de ces analyses. Ils permettent respectivement de recalibrer par exemple des structures de convergence de basses couches mal prévues et de générer des conditions d'humidité relative plus réalistes. Cette présentation se focalisera sur les principaux éléments permettant leur prise en compte dans le 3DVar : contrôle de qualité, opérateurs d'observations permettant leur simulation à partir des variables du modèle, inversion Bayésienne 1D de la réflectivité utilisée pour générer des pseudo-profil d'humidité relative. Des illustrations sur leur impact relatif sur les analyses et sur les prévisions résultantes seront ensuite discutées. Enfin, les travaux actuels sur la prise en compte des variables issues de la double polarisation et sur l'ajout dans le système de données d'autres radars européens seront présentés.

*Intervenant

RAINPOL un outil de surveillance hydrométéorologique radar au service du citoyen et des collectivités

Emmanuel Moreau * ¹, Pierre Javelle ², Didier Organde ³, Aurélien Chartier ⁴

¹ NOVIMET – Société Novimet – 11 boulevard d’Alembert 78280 Guyancourt, France

² Centre d’Aix-en-Provence [IRSTEA] – Institut national de recherche en sciences et technologies pour l’environnement et l’agriculture – 3275 Route de Cézanné CS 40061, 13182 Aix-en-Provence Cedex 5, France

³ Hydris hydrologie – Hydris hydrologie – France

⁴ SMIAGE – Syndicat Mixte Inondations, Aménagement et Gestion de l’Eau Maralpin – 147 Route de Grenoble, 06200 Nice, France

La Cote d’Azur et particulièrement le département des Alpes Maritimes est particulièrement exposé au risque d’inondations en particulier sous forme de " crues éclairs " en raison du caractère très montagneux de la région et de la proximité de la mer. De nombreuses communes sont spécialement concernées notamment sur les zones littorales qui forment l’embouchure des fleuves côtiers, Siagne, Brague, Loup, Cagne, Paillon.

Le SMIAGE (Syndicat Mixte Inondations, Aménagement et Gestion de l’Eau) a été créé au 1er janvier 2017 pour contribuer à relever ce défi à l’échelle de 180 communes. Cette structure opérationnelle a pour vocation la réalisation de travaux hydrauliques, la gestion d’aménagements hydrauliques et le développement et l’exploitation de nouveaux services et d’outils de prévision et d’aides à la décision pour la gestion des risques hydrométéorologiques. L’outil RAINPOL® est ainsi mis à disposition des acteurs publics du territoire.

Un radar HYDRIX de conception NOVIMET a ainsi été installé en 2008 au Mont Vial, à 1550 m d’altitude à 20 km au Nord de Nice. Associé au logiciel de traitement ZPHI® qui délivre les cartes de précipitation à partir des données du radar et à la plateforme de service Internet RAINPOL qui géolocalise les précipitations, détermine leur anticipation et opère des diagnostics de dangerosité en temps réel et alerte automatiquement l’utilisateur par SMS et courriel selon des seuils préalablement définis. L’IRSTEA, associé au programme de recherche, a de son côté fourni les modèles pluie-débit intégrés (GRD®) sur la plateforme RAINPOL pour permettre d’anticiper les débits de plusieurs fleuves côtiers du département.

L’objet de cette présentation est de montrer au travers d’évènements survenues dans les Alpes Maritimes, les performances de la chaîne de traitement de Novimet : Zphi® et RAINPOL associé aux données radar Hydris, à la fois en termes de précision de mesure que de pertinence d’alertes délivrés.

*Intervenant

SERVAL : un nouveau système de traitement centralisé pour le réseau radar français

Nicolas Gaussiat * ¹

¹ Centre de Météorologie Radar – MétéoFrance, Météo France – 42 avenue Coriolis 31057 Toulouse, France

Face au nombre toujours plus important de radars et de produits et à la complexité croissante des traitements, Météo France a été amené à développer un système de traitement radar centralisé appelé SERVAL (Système d'Elaboration de produits Radar et de VisuALisation). Le nouveau système est hébergé à Toulouse sur la plate-forme SOPRANO et est conçu pour être flexible et facilement extensible afin de faciliter l'intégration de nouveaux algorithmes et le déploiement du système sur des réseaux comportant un très grand nombre de radars. SERVAL ingère les données polaires brutes produites par le système d'acquisition CASTOR au pied des radars et offre des fonctions de contrôle de l'ensemble de la chaîne de traitement grâce à une interface Web conviviale et configurable qui fournit des informations sur l'état du réseau radar et permet de visualiser les produits intermédiaires et finaux. Une fonction de rejeu est incluse pour faciliter le retraitement des données brutes archivées. Cette fonction présente l'avantage de faciliter l'intégration de nouvelles idées dans le logiciel de production opérationnel en offrant un cadre standardisé et orienté objet pour les actions courantes telles que le décodage, le codage, la journalisation ou la visualisation d'images. Une procédure d'intégration automatique permet de déployer la dernière version du code dès qu'elle est disponible sur un serveur Linux de développement sur lequel un traitement continu des données reçues en temps réel est planifié. Dans cette présentation, nous allons donner un aperçu de SERVAL, présenter l'architecture du système, l'interface de supervision et montrer comment cet outil a déjà pu être utilisé pour élaborer de nouveaux produits.

*Intervenant

Discussion

Thibaut Montmerle * ¹

¹ Groupe d'étude de l'atmosphère météorologique (CNRM-GAME) – CNRS : UMR3589, INSU, Météo France – METEO FRANCE CNRM 42 Av Gaspard Coriolis 31057 TOULOUSE CEDEX 1, France

Discussion générale

*Intervenant

Technologies du futur et nouvelles approches methodologiques

Les propriétés microphysiques des précipitations stratiformes pendant OLYMPEX: compatibilité entre les observations aéroportées de radar triple-fréquences et in-situ

Frederic Tridon * ¹

¹ Université de Leicester – Royaume-Uni

Dans cette présentation, le lien entre la microphysique des précipitations stratiformes et les observations radar multi-fréquences est étudié en détails en combinant des observations aéroportées in-situ et de télédétection, collectées par les avions DC-8 de la NASA et Citation de l'Université du Dakota du Nord lors de la campagne OLYMPEX/RADEX (Olympic Mountain Experiment/Radar Definition Experiment 2015) sur la côte ouest des USA pendant l'hiver 2015-2016.

Au-dessus de la couche de fonte, les images in-situ et les signatures radar triple-fréquence s'accordent sur la présence d'agrégats de cristaux ayant un degré de givrage modéré. Diverses relations masse-diamètre sont utilisées pour calculer la réflectivité radar à partir la distribution en taille de particules de glaces déduite des observations in-situ. En bande Ku et Ka, le meilleur accord avec les observations radar est obtenu en utilisant l'approximation de Rayleigh-Gans couplée à des agrégats de cristaux auto-similaires modérément givrés. En bande W, une comparaison directe est difficile à cause des effets de diffusion de Mie et de la probable atténuation due aux agrégats et à l'eau surfondue présente entre les deux avions.

Une méthode variationnelle permet de restituer le profil complet de précipitations au-dessus et au-dessous de la couche de fonte, en combinant les observations des 3 radars et de 4 radiomètres micro-ondes. Même avec trois fréquences radar, la restitution des propriétés de la pluie reste un défi au-dessus des terres, parce que l'atténuation intégrée sur la colonne ne peut pas être estimée facilement. Au-dessus de l'océan, le contenu en eau et le diamètre massique moyen des précipitations liquides et solides sont en accord avec les observations in-situ et indiquent des changements rapides du degré de givrage des cristaux de glace, sur une échelle de 5 km.

Finalement, les résultats de l'inversion sont analysés pour explorer la validité d'utiliser des contraintes sur la continuité du flux de masse d'eau et du diamètre moyen des hydrométéores de part et d'autres de la couche de fonte, dans le but d'améliorer la restitution des propriétés de la glace.

*Intervenant

Filtrage des données radar par deep learning

Pierre Lepetit * ¹, Laurent Barthes ¹, Cecile Mallet ¹, Yvon Lemaitre ²

¹ Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines : UMR8190, Institut national des sciences de l'Université : UMR8190, Sorbonne Université : UMR8190, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR8190, Institut national des sciences de l'Université : UMR8190, Institut national des sciences de l'Université : UMR8190 – 11 boulevard d'Alembert Quartier des Garennes 78280 - Guyancourt, France

² Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines : UMR8190, Institut national des sciences de l'Université : UMR8190, Sorbonne Université : UMR8190, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR8190, Institut national des sciences de l'Université : UMR8190, Institut national des sciences de l'Université : UMR8190, Institut national des sciences de l'Université : UMR8190 – 11 boulevard d'Alembert Quartier des Garennes 78280 - Guyancourt, France

Depuis 2016, les données radars du réseau Aramis (Météo-France) sont accessibles. Ce sont des données brutes : un nettoyage des signaux parasites (échos fixes, "interférences") doit être effectué. Pour traiter le problème, nous avons développé une approche par deep learning inspirée des 'denoising autoencoder'. Cette approche, semi-supervisée, permet d'alléger le recours à l'expertise humaine lors de la production des bases d'apprentissage. Contrairement aux algorithmes existants, elle n'est pas basée sur une connaissance statistique a priori des signaux parasites.

La méthode comporte une phase de réglage qui implique des données de simulation. Des évaluations sur les données simulées et réelles seront présentées.

*Intervenant

HD Rain

François Mercier ¹, Ruben Hallali * ¹, Duminda Ratnayake ¹, Laurent Barthes ², Cécile Mallet ²

¹ HD Rain – HD Rain – 11 Blvd d’Alembert, 78280 Guyancourt, France

² Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales – Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines : UMR8190, Institut national des sciences de l’Univers : UMR8190, Sorbonne Université : UMR8190, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR8190, Institut national des sciences de l’Univers : UMR8190, Institut national des sciences de l’Univers : UMR8190, Institut national des sciences de l’Univers : UMR8190 – 11 boulevard d’Alembert Quartier des Garennes 78280 - Guyancourt, France

Le principe de la pluie présenté ici consiste à utiliser de manière opportuniste les signaux de télévision provenant de satellites géostationnaires émettant en bande de fréquence Ku. A cette fréquence, ces signaux sont atténués (notamment) par la pluie. La société HD Rain a développé des boîtiers électroniques (capteurs) capables notamment de mesurer l’atténuation subie par le signal provenant de tels satellites. Ces capteurs sont connectés derrière des antennes commerciales de réception satellitaire (paraboles). Un premier algorithme est appliqué pour extraire la part de l’atténuation due à la pluie et ainsi remonter - via des relations classiques de la littérature sur le sujet - au taux de pluie moyen sur la liaison sol - satellite dans la couche de pluie. Il s’agit ensuite de déployer un réseau de tels capteurs sur une zone à couvrir. Ensuite un second algorithme d’assimilation de données permet de combiner les mesures effectuées par ces capteurs et de produire des cartes de la pluie tombant sur la zone. Un algorithme classique (dit de nowcasting) est ensuite appliqué pour effectuer des prévisions de pluie à 1 ou 2h dans la direction du vent. A ce jour deux systèmes ont été déployés, un à Toulouse (France) et le deuxième à Manaus (Brésil). Nous présentons quelques résultats et comparaisons avec d’autres types de mesure (radar, pluviomètre).

*Intervenant

Discussion

Joël Van Baelen * ¹

¹ Laboratoire de météorologie physique (LaMP) – INSU, CNRS : UMR6016, Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II – bat. Physique 5 - 3ème étg 24 Av des landais 63177 AUBIERE CEDEX, France

Discussion générale

*Intervenant

Liste des participants

- Angelliaume Sebastien
- Barthes Laurent
- Bezombes Yannick
- Bonnefond Pascal
- Bonnefoy Lea
- Bousquet Olivier
- Buisson Emmanuel
- Caccia Jean-Luc
- Cazenave Frederic
- Daspremont Vincent
- Dechambre Monique
- Delaye Lauriane
- Delrieu Guy
- Donnadiou Franck
- Dupont Jean-Charles
- Duroire Christophe
- Freret-Lorgeril Valentin
- Gaussiat Nicolas
- Hauser Danièle
- Herlin Isabelle
- Hervier Claude
- Huot Etienne
- Julien Sakam
- Kern Pierre
- Le Bouar Erwan

- Le Gac Christophe
- Le Gall Alice
- Le Merle Eva
- Lemaître Yvon
- Lepetit Pierre
- Leroy Paul
- Lesage Guillaume
- Malkomes Paul
- Mallet Alain
- Marmain Julien
- Martini Audrey
- Milbrandt Jorick
- Montmerle Thibaut
- Moreau Emmanuel
- Pauwels Nicolas
- Peyrin Frédéric
- Planche Celine
- Roig Jean-Francois
- Schippers Patricia
- Testud Jacques
- Toledo Felipe
- Tondo Yoya Ariel Christopher
- Tridon Frederic
- Van Baelen Joël
- Vignelles Damien
- Viltard Nicolas
- Yu Nan
- Zebiri Aniss

Liste des auteurs

Banson, Sandra, 10
Barthes, Laurent, 31, 32
Camara, Mamadou, 5
chambon, philippe, 23
CHARTIER, Aurélien, 26
Currier, Philipp, 4
DELANOE, JULIEN, 16, 19
DELAYE, Lauriane, 5
Delrieu, Guy, 7, 22
Dufour, Christophe, 5
Dupont, Jean-Charles, 16
Duruissseau, Fabrice, 23
GAUSSIAT, Nicolas, 27
Geer, Alan, 23
Haeffelin, Martial, 16
Hallali, Ruben, 32
HAUSER, Daniele, 5
JAVELLE, PIERRE, 26
JAVELLE, Pierre, 13
Le Bouar, Erwan, 12
Le Gac, Christophe, 9, 15, 19
Lemaître, Yvon, 15
LEMAITRE, Yvon, 31
Lepetit, Pierre, 31
leroy, paul, 21
Mallet, Alain, 18
Mallet, Cécile, 32
Mallet, Cecile, 31
Marmain, Julien, 4
Mercier, François, 32
Montmerle, Thibaut, 25, 28
Moreau, Emmanuel, 12
moreau, emmanuel, 26
Organde, Didier, 26
Pauwels, Nicolas, 15
Planche, Céline, 10
Ratnayake, Duminda, 32
Russchenberg, Herman, 16
Schippers, Patricia, 5
TESTUD, Jacques, 12
THOMPSON, GREGORY, 10
Tison, Celine, 5
TOLEDO, Felipe, 16
TOURAIN, Cédric, 5
Tridon, Frédéric, 10
Tridon, Frederic, 30
Van Baelen, Joël, 10, 33
Vignelles, Damien, 19
WOBRÖCK, Wolfram, 10
Yin, Jiapeng, 16
YU, Nan, 20

