

Fiche “ Valorisation des résultats des campagnes aéroportées ” Campagne d'évaluation 2015

Nom de la campagne : The North Atlantic Waveguide Downstream and impact EXperiment

Projet / Programme de rattachement : ESA (EPATAN), EUFAR (NEAREX), CNES, INSU/LEFE (F-NAWDEX), Météo-France

Domaine scientifique : Physique de l'Atmosphère, Météorologie et Climat

Avion : Falcon 20

Dates de la campagne : 28 septembre au 17 octobre 2016

Nombre de jours scientifiques : 18

Nombre d'heures de vols : 46,5 scientifiques (58,6 au total)

Aéroport(s) : Keflavik (Islande) et transit à Inverness (Ecosse)

PI (Principal Investigator), Nom, prénom et organisme :

Nombre de chercheurs et d'enseignants-chercheurs : côté français : J. Delanoë, G. Rivière, P. Arbogast, J. Pelon, J.-P. Chaboureau ; côté norvégien : R. Moore, T. Spengler, H. Sodemann.

Nombre d'ingénieurs et de techniciens : C. Caudoux, F. Blouzon, M. Van Haecke, I. Abdenour.

Nombre d'étudiants : Q. Cazenave

Fiche remplie par : Gwendal Rivière et Julien Delanoë

Date de rédaction ou d'actualisation de la fiche : 15 mars 2019

Adresse : LMD-ENS, 24 rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05

Email : griviere@lmd.ens.fr

Tel : 01 44 32 22 42

Résumé (20 lignes maximum) :

Une meilleure compréhension des interactions entre les processus nuageux et la dynamique atmosphérique reste encore un enjeu majeur pour améliorer les modèles de prévisions météorologiques et de climat. La campagne internationale NAWDEX qui a eu lieu du 19 septembre au 17 Octobre 2016 portait sur l'observation à fine échelle des dépressions atmosphériques aux moyennes latitudes dans l'Atlantique Nord et notamment des bandes transporteuses d'air chaud (ou « warm conveyor belts », WCB) qui sont la clé de voute des interactions nuages-circulation dans les dépressions. La composante aéroportée était constituée de 4 avions: le Falcon 20 et le Gulfstream5 du DLR, le BAe146 britannique du FAAM, et le Falcon 20 de SAFIRE. Dans ce cadre, la campagne aéroportée française a consisté à 15 vols scientifiques du F20, soit environ 46 heures de vol, sur une période de 18 jours consécutifs. L'instrumentation à bord comprenait de la télédétection active à l'aide des instruments RASTA (radar 95 GHz) et LNG (lidar 355 nm à haute résolution spectrale), d'un radiomètre CLIMAT et de lâchers de dropsondes (environ 60). En plus des objectifs généraux de NAWDEX, les vols du F20 de SAFIRE étaient dédiés à préparer la mission spatiale EarthCare (financement ESA et CNES) ce qui a amené à effectuer des vols coordonnés à plusieurs avions pour confronter les mesures des différents lidars et radars aéroportés et des vols sous la trace de la constellation de satellites A-Train (Cloudsat-CALIPSO). Une dizaine d'heures de vols ont été effectués via le financement EUFAR et dans le cadre d'une collaboration franco-norvégienne pour se focaliser sur l'observation des « rivières atmosphériques », masses d'air chaud et humide transportées des régions subtropicales vers les latitudes moyennes et polaires. Les mesures effectuées lors de la campagne seront confrontées à des sorties de modèles numériques (modèles de prévision numérique du temps globaux et régionaux et modèles de climat), et ce, afin d'identifier éventuellement l'origine de biais dans les modèles. L'effet des diverses paramétrisations des modèles (turbulence, microphysique des nuages, rayonnement, convection) sera analysé sur les périodes d'observation intensive de la campagne.

Résultats majeurs obtenus
(maximum 5 pages)

1 – Contexte scientifique et programmatique de la campagne

Les événements météorologiques extrêmes aux moyennes latitudes comme les rafales de vent associées aux tempêtes, les forts cumuls de pluie associé aux événements fortement précipitant ou encore les vagues de froid en présence d'un blocage atmosphérique ne sont pas nécessairement encore bien prévus par les systèmes opérationnels de prévision numérique du temps. L'hypothèse sous-jacente à la campagne NAWDEX est que les processus diabatiques (humides, radiatifs) au sein des dépressions atmosphériques de l'Atlantique Nord ont une influence majeure sur la structure du courant-jet d'altitude (ou « jet stream »), sur le développement en aval des ondes de Rossby se propageant à la tropopause et les événements météorologiques à fort impact sur l'Europe. La stratégie de la campagne a consisté à effectuer des mesures à fine échelle mais sur un domaine assez large couvrant l'Atlantique Nord pour étudier comment des incertitudes sur les processus humides et radiatifs au sein d'une cyclogenèse dans l'ouest ou le milieu de l'Atlantique peut engendrer des erreurs de prévisions en aval sur l'Europe de l'Ouest. La campagne a été menée par une communauté de scientifiques regroupés autour de Thorpex, ancien programme de l'organisation mondiale de météorologie, et est la première campagne d'envergure sur les perturbations atmosphériques dans l'Atlantique Nord depuis FASTEX en 1997.

2 – Rappel des objectifs

La campagne de mesure NAWDEX a pour objectif de mieux caractériser les nuages et le cycle de l'eau dans les dépressions des moyennes latitudes et l'effet engendré par les processus humides et radiatifs sur les grandes structures de la circulation atmosphérique comme les fluctuations du courant-jet d'altitude. NAWDEX s'intéresse plus particulièrement aux bandes transporteuses d'air chaud (ou « warm conveyor belt », WCB), des masses d'air qui s'enrichissent en humidité au contact de l'océan, puis qui connaissent une forte ascension au cœur des tempêtes avant d'atteindre la tropopause. Lors de leur ascension, ces masses d'air voient une partie de leur vapeur d'eau se condenser en eau liquide et solide, ce qui génère beaucoup de chaleur. Ce dégagement de chaleur latente conduit non seulement à un creusement de la tempête, mais il affecte également le courant-jet d'altitude et toute la circulation atmosphérique en aval. En particulier, il permet le renforcement de la dorsale d'altitude en aval de la dépression. Il est probable que les modèles ne soient pas capables de bien représenter ces processus humides et sous-estiment l'intensité de ces dorsales (Gray et al. 2014). Une mauvaise représentation de la microphysique des nuages peut aussi engendrer des erreurs sur les effets radiatifs des nuages.

Dans le contexte général de la campagne NAWDEX, les différents objectifs poursuivis par la composante française sont les suivants :

- Identifier les différences entre modèles et observations dans la représentation des hydrométéores et du contenu en eau nuageuse au sein des WCBs.
- Identifier les contributions des différents processus microphysique au dégagement de chaleur latente.
- Estimer la capacité des modèles à représenter les gradients intenses des courants-jets à la tropopause.
- Estimer le rôle des rétroactions radiatives des nuages sur la structure des perturbations atmosphériques des moyennes latitudes, et plus particulièrement, sur les dorsales d'altitude en sortie des WCBs.
- Tester la sensibilité des résultats aux différents schémas de paramétrisation (microphysique des nuages, convection, turbulence de couche limite).
- Validation algorithmique et préparation de la mission EarthCare (et ADM AEOLUS). RALI est le seul système radar-lidar aéroporté disposant des mesures Doppler et à haute résolution spectrale aux mêmes longueurs d'onde qu'EarthCare. Ces données vont donc servir de référence pour le développement des algorithmes d'inversion d'EarthCare. Les capacités Doppler du lidar permette aussi d'estimer les performances du démonstrateur d'ADM embarqué sur le F20 Allemand.

- Répétition pour les futures campagnes de validation d'ADM-AEOLUS et EarthCare, vols sous trace et détermination de la meilleure stratégie pour la co-localisation des données.
- Construction d'un jeu de données multi-fréquence/longueur d'onde radar et lidar pour le développement de nouvelles méthodes d'inversion. Ce jeu de données servira de référence pour les mesures aéroportées.

3 – Données acquises et analyses effectuées

La période NAWDEX a été caractérisée par une circulation atmosphérique au dessus de l'Atlantique Nord particulièrement active et des situations météorologiques très variées incluant des transitions extratropicales de cyclones tropicaux, des dépressions extratropicales accompagnées d'intenses bandes transporteuses d'air chaud, de petits vortex au niveau de la tropopause perturbant le guide d'onde nord-atlantique, de "rivières atmosphériques" et aussi d'événements à fort impact sur la Méditerranée.

La plateforme de télédétection active RALI à bord du F20 est composée du radar Doppler RASTA à 95 GHz et du lidar à rétrodiffusion (532nm et 1064nm) et à haute résolution spectrale (355nm) LNG. RASTA mesure la vitesse Doppler et la réflectivité à 95 GHz le long de la direction vers laquelle pointe l'antenne. La configuration RASTA durant NAWDEX dans laquelle plusieurs antennes pointaient vers le bas a permis de mesurer les trois composantes de la vitesse en dessous de l'avion. Plusieurs survols du radar sol BASTA installé à Keflavik ont permis d'estimer la sensibilité de RASTA et d'étalonner l'instrument aéroporté. Les flux radiatifs ont été mesurés par le radiomètre CLIMAT.

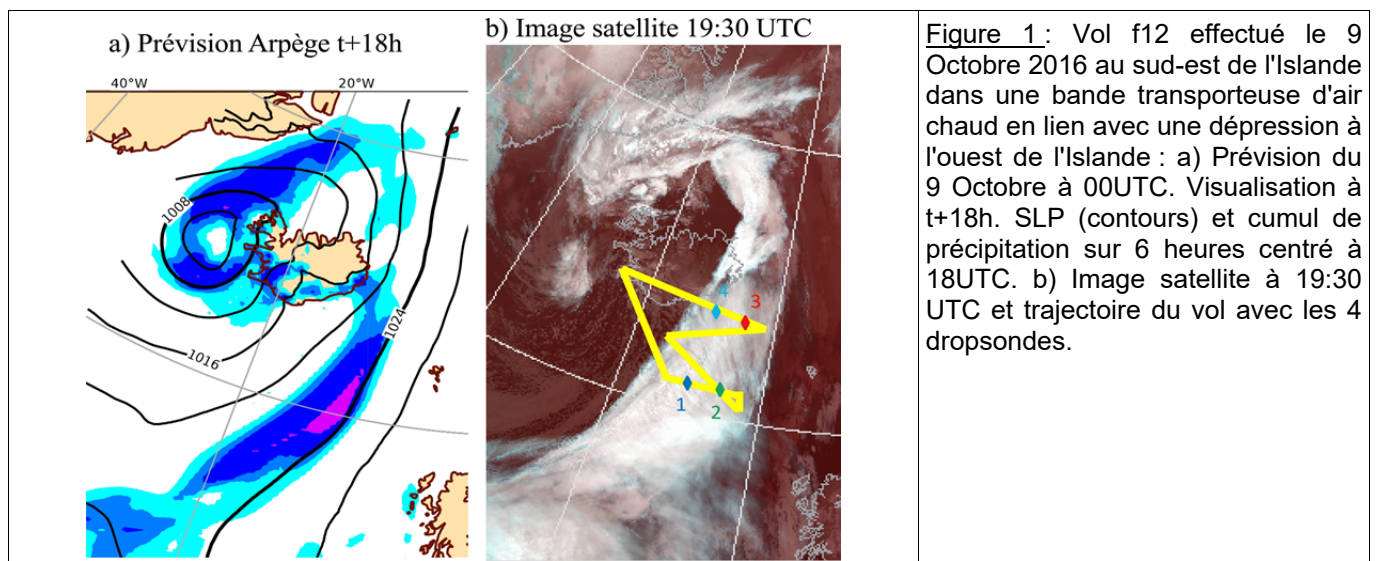
Table 1: Liste des vols effectués par le F20 de SAFIRE lors de la campagne NAWDEX. NAWDEX-EPATAN correspond aux vols financés par l'ESA et satisfaisant les objectifs du projet EPATAN; NEAREX correspond aux vols financés par EUFAR (10 heures).

Numéro de vol	Date	Projet	Description	Drops	Coordination avions	Trace satellite
f5	01/10/16	NAWDEX-EPATAN	Vol test avec calibration instrumentale dans une dépression d'intensité modérée à l'ouest de l'Islande	3	...	...
f6	02/10/16	NAWDEX-EPATAN	Foliation de tropopause au nord-ouest d'une dépression intense. Sortie cyclonique de la WCB. Validation A2D avec F20 du DLR.	9	F20 du DLR	...
f7	02/10/16	NAWDEX-EPATAN	Partie ascendante de la WCB (la même que f6).	0	...	X
f8	04/10/16	NAWDEX-EPATAN	Sortie anticyclonique d'une WCB au nord d'une dépression creuse.	5	...	...
f9	05/10/16	NAWDEX-EPATAN	Même dépression que f8 mais déjà plus creuse (~970 hPa). Focus sur la sortie cyclonique de la WCB. Précipitations orographiques sur le Groenland.	4	...	X
f10	07/10/16	NEAREX	« Rivière atmosphérique » au nord est d'une dépression modérée avec flux de sud-est d'air chaud et humide.	7	...	...
f11	09/10/16	NAWDEX-EPATAN	Dépression entre Islande et Groenland avec WCB au sud-est de l'Islande où le vol a lieu.	4	5 mins avec HALO	...
f12	09/10/16	NAWDEX-EPATAN	Même WCB que f11 mais plus dans la zone d'ascendance. Vols coordonné avec 3 avions au dessus de la WCB.	4	HALO+F20 du DLR	...
f13	10/10/16	NEAREX	« Rivière atmosphérique » à l'est de l'Islande qui est la continuité de la WCB de f11 et f12.	6	...	...
f14	11/10/16	NAWDEX-EPATAN	Région d'ascendance d'une WCB d'une dépression d'intensité modérée	4		
f15	12/10/16	NEAREX	« Rivière atmosphérique » ou WCB très active	8		

			orientée du sud vers le nord (continuité de f14 mais en plus actif) apportant pluies et vent sur l'Islande. Mesures dans la partie ascendante de la WCB.			
f16	13/10/16	NAWDEX-EPATAN	Mesures dans la zone d'ascendance et la sortie cyclonique de la même WCB que f15. Ondes orographiques au dessus de l'Islande.	1	HALO	
f17	14/10/16	NAWDEX-EPATAN	Mesures sur des zones faiblement nuageuses mais suffisantes pour permettre confrontation avec 3 instruments à bord de 3 avions. Stop à Inverness	1	HALO+BAe146	
f18	14/10/16	NAWDEX-EPATAN	Vol de retour vers l'Islande coordonné avec HALO et sous la trace du satellite. Suffisamment de nuages sous la trace mais très peu après.	1	HALO	X
f19	16/10/16	NAWDEX-EPATAN	Dépression sur les îles britanniques apporte de l'air humide sur l'Islande mais faiblement active. Tests sur la configuration ADM du lidar.	2		

Données de dropsondes sur le GTS: un système a été mis en place par SAFIRE en utilisant le logiciel Planet pour envoyer en temps réel les données des dropsondes au système GTS et permettre de les inclure dans les schémas d'assimilation des centres opérationnels de prévision. Sur les 59 dropsondes déployées au cours de la campagne, 38 sont bien arrivées sur le GTS. La différence entre les deux nombres est due à la mise en place tardive du système à bord du F20, de quelques loupets pour des raisons de rodage, et enfin à quelques données de dropsondes qui ont été rejetées par le GTS car pas conformes.

Exemple de vol et de mesures obtenues:



Le Vol f12, effectué le 9 Octobre 2016 au sud-est de l'Islande a permis de couper plusieurs fois une bande transporteuse d'air chaud active. Un des segments a été survolé par trois avions (F20 de SAFIRE, F20 du DLR et HALO).

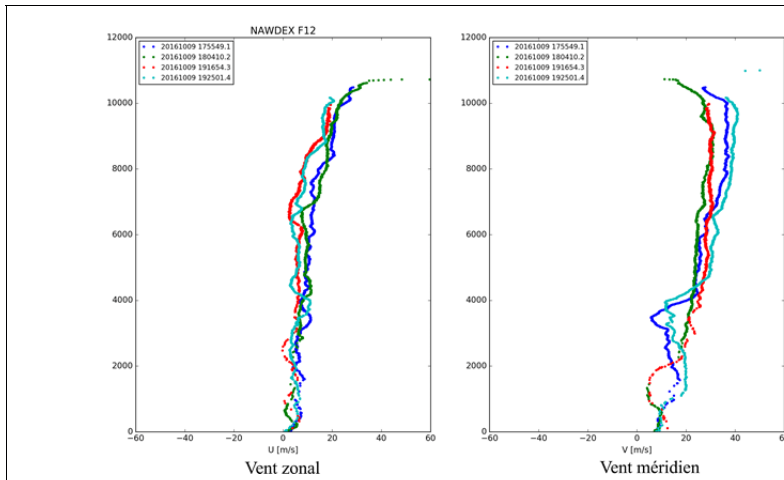


Figure 2 : Profil des composantes du vent zonal et méridienne des 4 dropsondes déployées lors du vol f12.

Les 4 dropsondes déployées lors du vol f12 mettent en évidence des cisaillements de vent horizontaux au sein de la bande transporteuse d'air chaud, c'est à dire à l'avant du front froid), qui ne sont pas triviaux : cisaillement anticyclonique en dessous de 2 km d'altitude et cisaillement cyclonique entre 2 et 4 kms d'altitude.

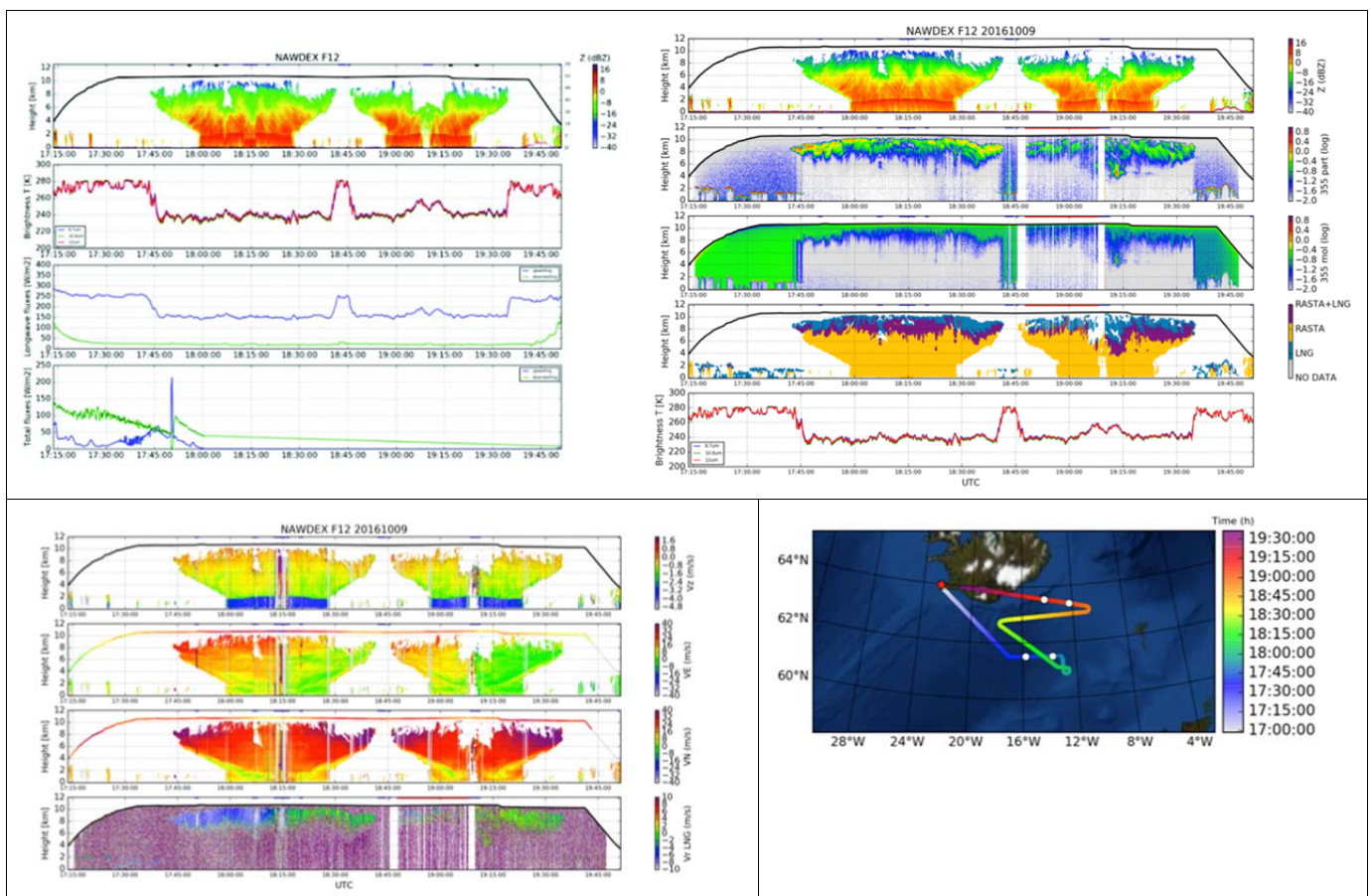


Figure 3 : En bas à droite, vol f12 en fonction des heures. En haut, réflectivité fournie par le radar RASTA, la mesure de rétrodiffusion particulaire et moléculaire de LNG à 355nm. Les zones de détection du radar et du lidar sont présentées en dessous du signal moléculaire ainsi que les températures de brillance du radiomètre CLIMAT. L'image du bas à gauche illustre les mesures de la dynamique avec RASTA (composante zonale, méridionale et verticale du vent nuage) et LNG (vitesse radiale).

La figure 3 présente les données issues des instruments de télédétection. On remarque l'asymétrie est-ouest de la bande transporteuse chaude avec des nuages hauts uniquement sur son bord ouest et une réflectivité importante s'étendant de la tropopause jusqu'à la surface sur son bord est. Le radar RASTA permet de détecter les précipitations en dessous de 2km d'altitude (on note l'augmentation brutale de la vitesse verticale en raison de la fonte des cristaux de glace pour devenir des gouttes de pluie). On observe également les cisaillements de vent à la

base du nuage (que l'on retrouve dans les mesures des dropsondes). Le lidar permet d'identifier avec précision le sommet du nuage et de localiser les parties les plus optiquement fines. Les instruments seront combinés pour restituer les propriétés microphysiques/radiatives (contenu en glace, extinction, rayon effectif) et dynamiques (vitesse de chute) des nuages.

4 – Principaux résultats obtenus (avec quelques illustrations)

La campagne ayant eu lieu à l'automne 2016, il n'y a pas encore de résultats. Cependant, voici les différents axes de recherche poursuivis par les partenaires qui permettront de valoriser les mesures effectuées grâce aux vols du F20 de SAFIRE. Les différents partenaires français qui ont organisé la campagne ont élargi le consortium en intégrant des modélisateurs de prévision numérique du temps et du climat à Météo-France et à l'IPSL à travers le projet ANR DIP-NAWDEX (www.lmd.ens.fr/DIPNAWDEX/index.html) qui est financé de décembre 2017 à décembre 2020 et dont le but est précisément de confronter les données observées aux sorties des modèles et de faire une analyse critique de ceux-ci afin d'améliorer les paramétrisations des processus diabatiques comme la microphysique des nuages, la turbulence ou encore les processus radiatifs.

La première étape du projet consiste à une étape de vérification de la qualité des données à partir de comparaison entre diverses données colocalisées : cela peut concerner les comparaisons entre diverses mesures de radars dans le cas de vols en parallèle entre plusieurs avions, les comparaisons entre les données des radars sol et aéroporté (BASTA et RASTA), les comparaisons entre les données satellites et les données de télédétection active aéroportée et enfin les comparaisons entre données de dropsondes et des instruments de télédétection (cf. figure 4).

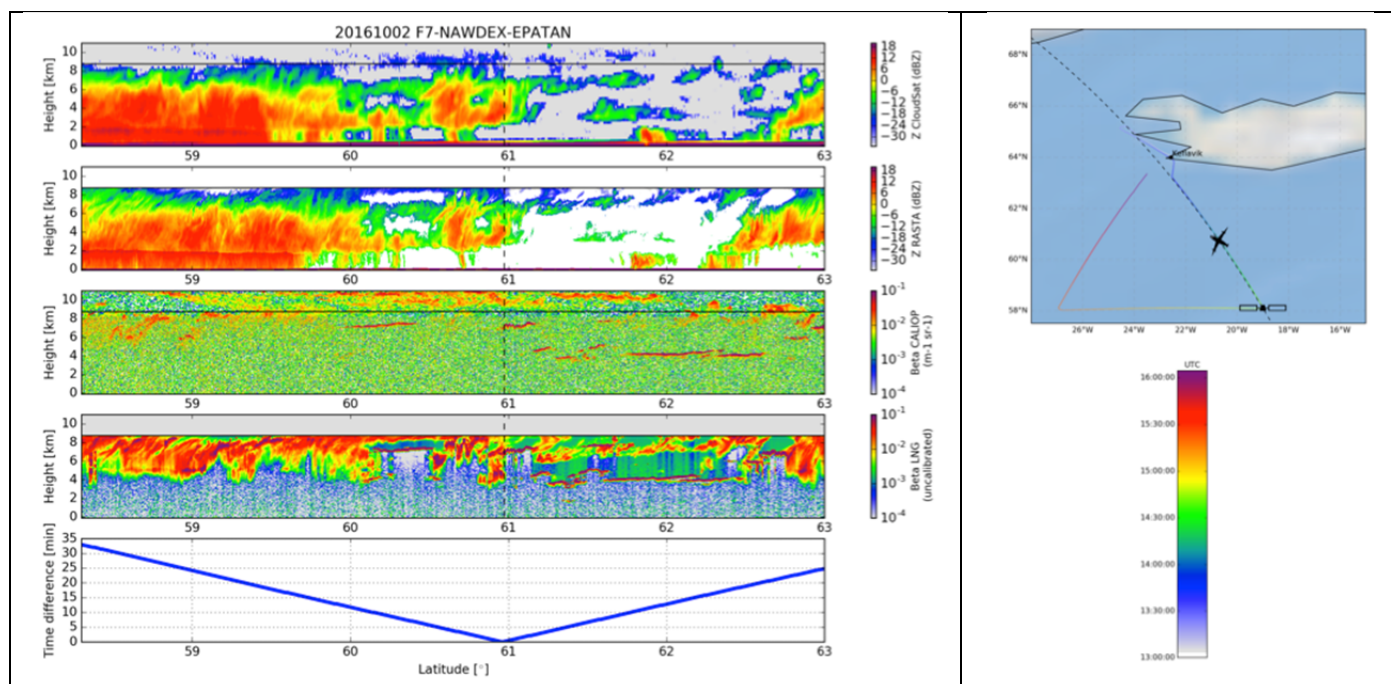


Figure 4 : Comparaison des mesures satellites et aéroportées récoltées lors de la campagne (vol 7). Lorsque le F20 vole en dessous de la trace des satellites CloudSat et CALIPSO on peut comparer directement les mesures. L'image de droite représente la trace de l'avion (en couleur) et celle du satellite en pointillé.

La figure 4 illustre une comparaison entre les mesures du radar CloudSat (réflectivité) et du lidar CALIOP (de CALIPSO) (rétrodiffusion à 523 nm) et les mesures aéroportées de RALI. La figure du bas montre la différence temporelle entre les mesures aéroportées et spatiales. On constate le bon accord entre les mesures des deux radars alors que le lidar de CALIPSO est fortement pénalisé de jour par la contamination des photons solaires. On note tout de même l'identification de fines couches fortement retrodiffusantes correspondant à de l'eau liquide surfondue.

Un volet d'assimilation de données a déjà été amorcé par nos collègues allemands qui veulent étudier l'effet de l'impact des données des dropsondes déployées par le HALO et le F20 de SAFIRE au cours de la campagne. Ainsi, la première expérience numérique utilisant le modèle opérationnel de l'ECMWF a été lancée et a consisté à

retirer toutes les données de dropsondes reçues par le GTS au cours de la campagne pour voir leur impact sur l'analyse.

Des études de processus sont actuellement menées à partir de modèles numériques de différente nature. D'un côté, les modèles régionaux à méso-échelle comme Meso-NH, Arôme seront utilisés sur des cas d'observation intensive. De l'autre côté, les composantes atmosphériques des modèles de climat (LMDZ, Arpege) sont également utilisées en mode de prévision numérique du temps sur les mêmes cas pour identifier les origines de certains biais des modèles de climat et donner des pistes pour leur amélioration (travail en cours de David Flack en postdoc au LMD). La confrontation avec les observations se fait soit dans l'espace des observations (confrontation entre réflectivité RASTA et simulateur de réflectivité du modèle ; cf figure 5) soit dans l'espace des variables du modèle (confrontation entre le contenu en glace nuageuse issu de l'information de la plateforme RALI et le celui du modèle). Sur la figure 5, on compare la réflectivité observée pour le vol F6 à la réflectivité simulée par une simulation du modèle Meso-NH. Le modèle capture assez bien les structures spatiales des réflectivités mais sous-estime leur intensité au dessus de la zone de la zone de pluie entre 2km et 6km d'altitude. Toutes ces études de processus en cours dans le cadre de l'ANR vont faire l'objet de publications soumises en 2019 et 2020.

Enfin, Un article de revue sur la campagne est paru en 2018 dans Bull. Amer. Meteor. Soc (Schaefer et al. 2018).

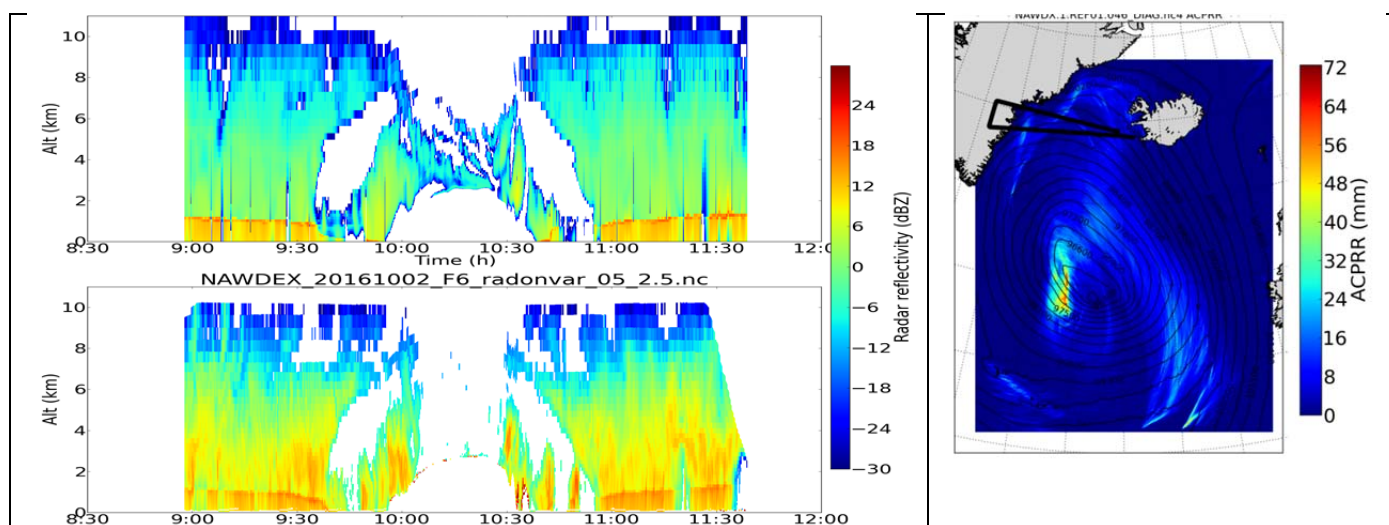


Figure 5 : (en haut à gauche) Réflectivité simulée dans le cadre d'une simulation du modèle Meso-NH à 2.5 km de résolution et (en bas à gauche) réflectivité observée par le radar RASTA interpolée sur la grille du modèle pour le vol F6 du 2 Octobre 2016. (A droite) domaine dans lequel est effectuée la simulation Meso-NH. Sont représentés la pression au niveau de la surface de la mer (contours noirs), les précipitations (plages colorées) ainsi que le vol F6 au nord de la dépression. Issu du travail postdoctoral de Marie Mazoyer au CNRM.

Tableau récapitulatif

		Nombre
1	Publications d'articles originaux dans des revues avec comité de lecture référencées dans JCR (<i>Journal Citation Reports</i>) (ajouter des lignes si nécessaire)	
	Année n+1 :	
	Année n+2 :	1
	Année n+3 :	
	Année n+4 :	
	Année n+5 :	
	Année n+6 :	
	Année n+7 :	
	Total	
2	Publications dans d'autres revues ou ouvrages scientifiques faisant référence dans le domaine	
3	Publications sous forme de rapports techniques	
4	Articles dans des revues ou journaux « grand public »	1
5	Communications dans des colloques internationaux	2
6	Documents vidéo-films	1
7	DEA ou MASTER 2 ayant utilisé les données de la campagne	2
8	Thèses ayant utilisé les données de la campagne	2
9	Transmission à une banque de données	Non/Oui
10	Considérez-vous la publication des résultats terminée ? Si en cours, préciser et donner les échéances	en cours. Une bonne partie des résultats sera obtenue à l'issue de l'ANR (fin 2020)

Références

R1 - Références des publications d'articles originaux dans des revues avec comité de lecture référencées dans JCR (vérifier dans la base « Journal Citation Reports » via « ISI Web of Knowledge » si les revues sont bien référencées) **et résumés des principales publications.** (Les classer par années croissantes).

Schäfler et co-auteurs, 2018 : The North Atlantic Waveguide and Downstream impact Experiment. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 99, 1607-1637.

R2 – Références des publications parues dans d'autres revues ou des ouvrages scientifiques faisant référence dans la discipline. (Les classer par année).

R3 – Références des rapports techniques. (Les classer par année).

R4 – Références des articles parus dans des revues ou des journaux « grand public ». (Les classer par année).

Rivière, G., J. Delanoë, J. Pelon, P. Arbogast, J.-P. Chaboureau, 2016 : La campagne NAWDEX. La Météorologie, 95, 5-6

R5 – Références des communications dans des colloques internationaux. (Les classer par années croissantes).

2017:

- Rivière, G. et J. Delanoë : NAWDEX workshop, 8-10 March 2017, Munich, Allemagne. French SAFIRE Falcon Observations.

2018 :

- Rivière, G. NAWDEX workshop, 28 février-2 mars 2018, Munich, Allemagne. 1st présentation : Overview of the Stalactite Cyclone. 2nd présentation: Representation of the Stalactite Cyclone and the Scandinavian blocking in Arpege ensemble forecasts and comparison with RALI observations.

R6 – Liste des documents vidéo-films. (Les classer par année).

Voir le site web de l'ANR DIP-NAWDEX www.lmd.ens.fr/DIPNAWDEX/index.html

R7 – DEA ou MASTER 2 ayant utilisé les données de la campagne (Nom et Prénom de l'étudiant, Laboratoire d'accueil. Sujet du DEA ou MASTER, Date de soutenance)

Wimmer Meryl, CNRM, Première analyse de la campagne NAWDEX : le cas de la dépression Stalactite (2 Octobre 2016). Soutenue en juin 2018

Blanchard Nicolas, LA, les tempêtes à fort impact pendant NAWDEX, soutenue en juin 2017.

R8 – Thèses ayant utilisé les données de la campagne (Nom et Prénom de l'étudiant, Laboratoire d'accueil. Sujet de la thèse, Date de soutenance)

Cazenave Quitterie, LATMOS, Development and evaluation of multisensor methods for EarthCare mission based on A-Train and airborne measurements, 14 janvier 2019
Blanchard Nicolas, LA, Les tempêtes à fort impact pendant NAWDEX, thèse en cours encadrée par J.P. Chaboureau.

R9 – Liste des données transmis (Préciser les destinataires, SEDOO, autres banques de données, équipes scientifiques ...)

R10 – Liste des résultats restant à publier – échéance

ANR DIPNAWDEX : fin prévue fin 2020.