

## Mémoire

**Beaussier Alain**

alain.beaussier@meteo.fr

### «Surveillance de la qualité des données radar»

*Stage réalisé à la division Développement Etudes et Perspectives du Centre de Météorologie Radar de Trappes, sous la direction de M. Kim Do Khac et M. Jacques Parent du Chatelet.*

*Du 6 mars 2006 au 30 juin 2006.*

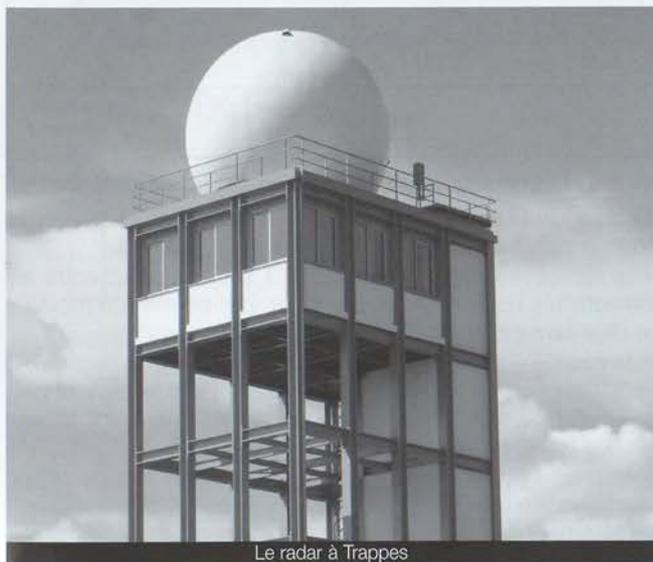
*Promotion d'élèves Techniciens Supérieurs en Instruments et Installations de la Météorologie 2004/2006.*

## Résumé

L'étude porte sur la mise en place d'un moyen de surveillance et d'un outil de suivi opérationnel de calibration des paramètres Zdr (rapport de réflectivité horizontale avec la réflectivité verticale) et dp (phase différentielle) obtenus avec le radar en double polarisation. Cette démarche a été réalisée dans le cadre du projet PANTHERE visant à introduire dans le réseau opérationnel la mesure en double polarisation. Cette nouvelle technologie offre de grandes perspectives pour améliorer la précision de l'estimation du taux de pluie ainsi que pour la classification des divers hydrométéores détectés.

La sélection des données a été déterminante. Il a tout d'abord fallu sélectionner les épisodes pluvieux et ensuite traiter directement les données. Les procédures de filtrage des artéfacts ont été testés mais n'ont pu être validées pour une utilisation avec les tirs verticaux. C'est pourquoi nous avons réalisé également des profils verticaux afin de fixer des seuils de filtrage pour les paramètres non concernés par les biais et pour d'autres paramètres d'écart-type. Ces seuils ont pour but de permettre le traitement de l'ensemble des données disponibles, et de ne sélectionner que les informations nécessaires au calcul des biais sur les deux paramètres mentionnés. Ces différentes étapes ont permis de calculer les biais pour les paramètres Zdr et dp en utilisant l'ensemble des données disponibles. Ainsi les services CMR/DEP et CMR/IMI de Météo-France disposent d'un affichage du suivi temporel de ces deux biais depuis décembre 2004 jusqu'à juin 2006.

Ce suivi temporel a permis de mettre en évidence un problème sérieux sur le radar de Trappes. En effet, les deux paramètres étudiés indiquaient des dérèglements majeurs. La mise en évidence de cette défaillance du radar, la recherche de la panne et la réparation de celle-ci a permis de montrer tout l'intérêt de l'outil de suivi et de son bon fonctionnement.



Le radar à Trappes

## 1. Introduction

Le radar est un système qui utilise les ondes radioélectriques pour détecter et déterminer la distance et/ou la vitesse d'objets tels que les avions, les bateaux ou encore les gouttes de pluie. Un émetteur envoie des ondes radioélectriques réfléchies par la cible et détectées par un récepteur, souvent situé au même endroit que l'émetteur. La position est mesurée par le temps de retour du signal et la vitesse est mesurée à partir du changement de fréquence du signal par effet Doppler. Dans le contexte de la météorologie, les radars peuvent détecter et suivre des systèmes précipitants jusqu'à une distance de trois cents kilomètres. Les radars permettent de détecter et de quantifier les précipitations, qu'elles soient liquides ou solides, et, ce qui est très important, ils aident les prévisionnistes à identifier à l'avance les systèmes de temps violent susceptibles de causer de sérieux dégâts aux biens et aux personnes. Les nombreux projets de développement de matériel et de traitement d'image actuellement en cours doivent contribuer à améliorer et à diversifier les observations de précipitations. Ces recherches permettent de mettre en évidence les carences du précédent système opérationnel, mais imposent un plus grand suivi de la qualité des mesures radar.

## 2. Les projets PANTHERE et FLYSAFE

Le réseau radar opérationnel ARAMIS (Application Radar à la Météorologie Infra-Synoptique) de Météo-France est placé sous la responsabilité de la Direction des Systèmes d'Observation (DSO). Ce réseau doit être étendu à 24 radars sur le territoire métropolitain, dans le cadre du projet PANTHERE (Programme ARAMIS Nouvelles Technologies Hydrométéorologiques et Extensions et Renouvellement).

Outre l'acquisition de huit nouveaux radars, le projet PANTHERE prévoit le test et la mise en opérationnel sur le réseau de nouvelles technologies (diversité de polarisation, exploration volumique et signal Doppler). L'utilisation de l'exploration volumique doit permettre le calcul d'une nouvelle image lame d'eau et le suivi des systèmes convectifs. La technologie Doppler permet, quant à elle, de mesurer la composante radiale du vent. Enfin, la double polarisation permet, entre autres avantages, de mieux évaluer les quantités de précipitations, de corriger l'atténuation due à la pluie, de calibrer le radar, de supprimer les artéfacts (avions, insectes, air clair...) et d'ouvrir de nouvelles perspectives pour la classification des hydrométéores.

Le projet FLYSAFE est un projet européen qui démarre et doit être développé sur la période 2005-2008. Il a pour objectif de définir et tester les nouveaux systèmes devant contribuer à la sécurité des vols. Les nouvelles technologies radar seront utilisées au maximum pour diagnostiquer à haute résolution spatio-temporelle les risques météorologiques sur la zone d'approche des aéroports parisiens.

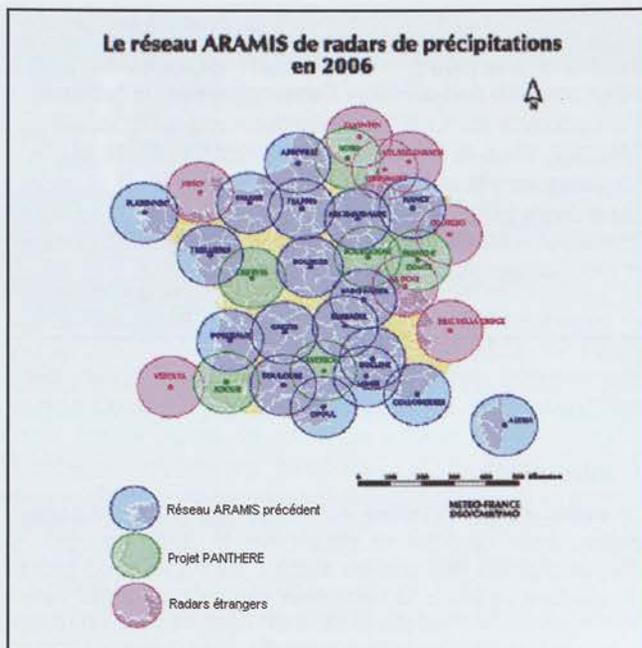


FIG. 1 : Carte du réseau ARAMIS

### 3. Les enjeux de la double polarisation

L'étude a porté essentiellement sur la problématique d'un fonctionnement opérationnel du radar en double polarisation. Ce mode d'utilisation devrait marquer le franchissement d'une étape déterminante pour l'utilisation du radar météorologique. Le service DEP (Développement, Étude et Prospectives) met beaucoup d'espoir dans cette nouvelle technologie susceptible d'apporter de nombreuses améliorations pour éliminer les artefacts, corriger les effets de l'atténuation, augmenter la précision de la mesure des précipitations, prendre en compte la distribution des gouttelettes et discriminer le type de précipitation. Afin de mener à bien tous ces développements, le projet PANTHERE a pris forme sur le site de Trappes avec l'installation du premier radar à double polarisation au cours de l'année 2004. La première année d'exploitation du radar en 2005 a servi à accumuler des données afin de disposer d'une masse d'informations assez conséquente pour effectuer les études actuelles. L'utilisation en opérationnel de la double polarisation constitue une première mondiale dans un service météorologique. Une telle utilisation requiert un suivi de qualité important afin de garantir la bonne représentativité des informations obtenues. La mesure correcte de pluie nécessite l'élimination des artefacts qui altèrent le pouvoir de détection pluie/non pluie. Les premiers résultats obtenus permettent de se rendre compte des lacunes des systèmes du passé et du présent : « en fait on ne sait pas réellement détecter la pluie ... ». L'introduction de la double polarisation devrait considérablement améliorer la situation dans ce domaine.

### 4. Les besoins d'un suivi de la qualité des données

La double polarisation offre donc de belles perspectives, à condition cependant que les données soient de bonne qualité ; il faut donc les surveiller afin de s'assurer que cette nouvelle technologie n'introduit pas des erreurs de mesure. Afin de pouvoir utiliser la double polarisation en opérationnel, il était donc indispensable de mettre au point un outil destiné à surveiller et à calibrer les divers paramètres. La sécurité des biens et des personnes ainsi que les enjeux économiques liés au risque météorologique (grêle, neige, inondations...) contribuent à renforcer l'exigence de qualité des données radar. Le suivi du fonctionnement opérationnel a donc posé problème, étant donné que les outils de surveillance du nouveau logiciel CASTOR2 n'étaient pas adaptés au contrôle des données en double polarisation. La comparaison des radars entre eux tout comme la comparaison des radars avec les

réseaux de pluviomètres est également possible mais n'est pas adaptée aux mesures en double polarisation. C'est donc pour assurer un fonctionnement opérationnel correct qu'il a été nécessaire de développer un nouvel outil de surveillance et de calibration des deux paramètres principaux obtenus avec le radar en double polarisation : Zdr, rapport de la réflectivité horizontale à la réflectivité verticale et dp, phase différentielle.

### 5. La physique de la double polarisation et la méthode de surveillance

La double polarisation est une technologie qui consiste pour le radar à émettre des ondes polarisées à la fois horizontalement et verticalement. Ces ondes sont émises, reçues et traitées par deux voies parallèles, identiques mais distinctes. Le traitement conjoint des deux voies fournit des renseignements sur la microphysique des précipitations, et donc sur la nature des hydrométéores. L'onde électromagnétique émise par un radar est caractérisée par une série d'oscillations dans l'espace des champs électrique **E** et magnétique **B**.

Par convention la direction de polarisation correspond à la direction du champ électrique **E**. Le type de polarisation définit donc la façon suivant laquelle le vecteur champ électrique vibre dans l'espace.

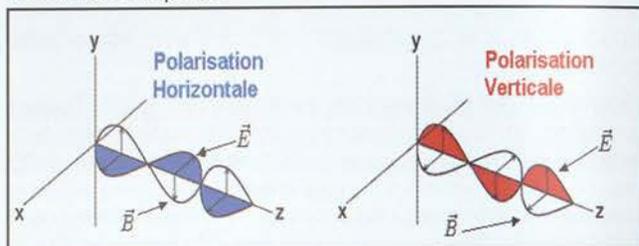


FIG. 2 : Représentation des polarisations

En général, la plupart des hydrométéores liquides sont asymétriques, l'axe principal étant généralement horizontal - les gouttes de pluie, par exemple, ont tendance à s'aplatir en tombant à cause de la résistance de l'air -. C'est pour cette raison que la majorité des radars envoie une onde polarisée horizontalement afin d'obtenir un retour maximal. Si l'on envoie simultanément une impulsion à polarisation verticale et une autre à polarisation horizontale, il est alors possible de comparer les signaux retrodiffusés en calculant les divers paramètres (rapport des amplitudes, coefficient de corrélation, ...) qui fournissent des informations sur la taille, la forme et la nature des hydrométéores.

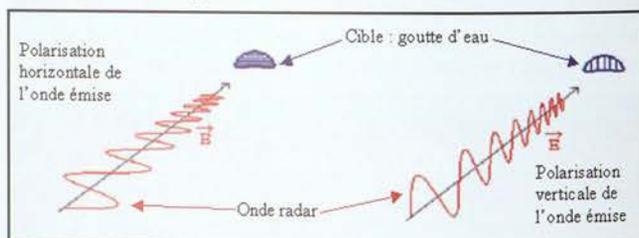


FIG. 3 : Illumination de la cible avec la double polarisation

En plus de la classique réflectivité radar ZH, les paramètres fournis par la double polarisation sont :

- la réflectivité différentielle Zdr, qui est le rapport entre les réflectivités horizontale et verticale). Zdr permet de mesurer le diamètre moyen des gouttes d'eau ;
- le coefficient de corrélation RHV entre les deux signaux H et V. Ce coefficient est très proche de 1 pour la pluie et nettement plus petit pour les signaux provenant d'artefacts (échos fixes, échos de ciel clair...);
- la phase différentielle dp, qui est la différence de phase entre les deux voies H et V. Cette phase différentielle est directement liée à l'atténuation du signal par la pluie.

Pour des échos météorologiques la plage de valeur de Zdr est comprise entre -2 dB et 6 dB. Pour les grandes valeurs

de Zdr, cela signifie que l'hydrométéore est aplati horizontalement car le diamètre horizontal est plus grand que le diamètre vertical. A l'inverse, pour les valeurs négatives de Zdr, cela signifie que l'hydrométéore est aplati verticalement (ce qui ne se rencontre que dans le cas de la glace). Dans le cas particulier où Zdr est proche de zéro, cela signifie que l'hydrométéore est presque sphérique.

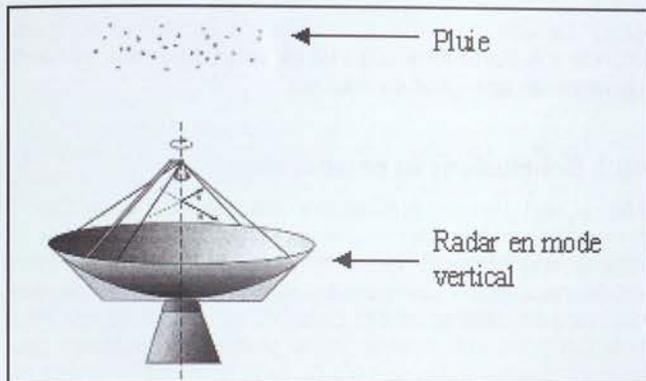


FIG. 4 : Représentation du tir vertical

Le mode d'exploitation du radar de Trappes comprend depuis le début de l'expérimentation un tour systématique à 90° d'élévation, donc à la verticale du radar. Les gouttes d'eau sont d'autant plus aplaties qu'elles sont plus grosses mais dans cette configuration, le radar observe les gouttes par en bas et leur aspect est donc circulaire ; cela signifie que le Zdr doit être nul et les valeurs non nulles de Zdr peuvent donc être attribuées à un défaut de calibration. De la même façon, on sait qu'en début de portée la phase différentielle doit être nulle. C'est donc à partir de ces constatations que l'étude a pu commencer.

### 6. Sélection des données et analyse d'épisodes pluvieux

Au vu des premières observations, la nécessité d'effectuer un filtrage des données est clairement apparue. Il s'agissait de tester toutes les données afin de ne travailler que sur celles qui pouvaient nous renseigner sur la présence d'un biais puisque la situation qui donne un Zdr nul pour un tir vertical n'est réalisée que dans le cas de pluie au dessus du radar. Ensuite la démarche a consisté à tester les procédures de filtrage des artefacts sur les tirs verticaux puis à étudier le comportement des paramètres Zdr, ZH, RHV et dp en fonction de l'altitude. Enfin ces tests ont été effectués sur les profils verticaux.

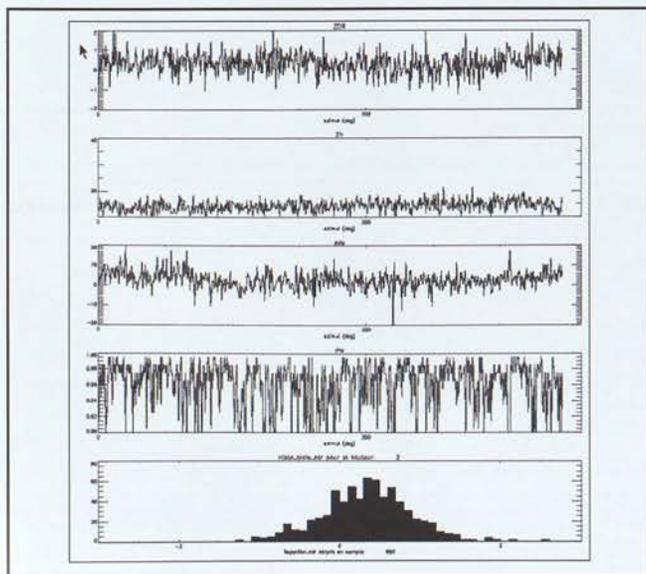


FIG. 5 : Etude des paramètres le 24/03/2005 pour la porte 2 (720m)

Une fois le filtrage des fichiers réalisé, nous avons sélectionné des fichiers images et nous avons étudié le comportement de divers paramètres pour les différentes altitudes. La figure 5 fournit un exemple de résultat obtenu le 24/03/2005 à 10h, pour la porte 2 (720m). De haut en bas, on trouve successivement la représentation de Zdr sur l'ensemble des azimuts (en °) entre -2 dB et +2 dB, la représentation de ZH sur l'ensemble des azimuts (en °) entre 0 dBz et +40 dBz, la représentation de dp sur l'ensemble des azimuts (en °) entre -20° et +20°, la représentation de RHV sur l'ensemble des azimuts (en °) entre 0.9 dB et 1.0 dB et enfin l'histogramme de Zdr pour les valeurs entre -3 dB et +3 dB.

Pour ce type d'étude nous n'avons observé qu'une image à la fois, c'est à dire que ces réponses sont valables à un instant précis; ce ne sont pas des évolutions temporelles. Nous pouvons ainsi observer le comportement des paramètres Zdr, ZH, dp et RHV sur 360° à une altitude donnée ; dans le cas étudié il s'agit de la porte 2, c'est à dire l'altitude 720m. Le dernier graphique montre un histogramme réalisé avec le logiciel PV-Wave.

A titre d'exemple le résultat obtenu sur le cas du 23/06/2005 à 15h45 est très intéressant : il s'agit d'un cas typique d'une « bonne pluie » juste au dessus du radar de Trappes. La figure 6 montre les profils verticaux des moyennes et écart-types obtenus pour les divers paramètres entre les portes 0 et 20 (c'est à dire entre 0 m et 5 040m). Nous avons trois courbes par graphique, celle du milieu représente la valeur moyenne du paramètre étudié, et les deux autres courbes représentent la valeur moyenne moins l'écart type du paramètre, et la valeur moyenne plus l'écart type du paramètre. Cette méthode permet d'obtenir une meilleure observation du comportement des paramètres et de leur écart-type en le comparant à la plage de valeur des ces paramètres.

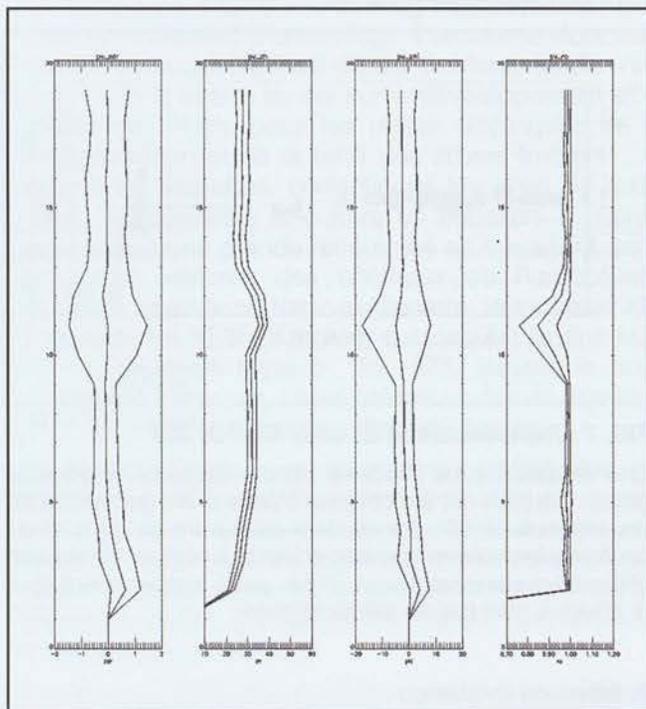


FIG. 6 : Profils verticaux le 23/06/2005 à 15 h 45 pour : Zdr (en dB), ZH (en dBZ), RHV et dp (en °)

Ces résultats sont très intéressants car ils permettent de bien mettre en évidence les changements que l'on observait suivant l'altitude. Ils présentent aussi un grand intérêt pour d'autres études en cours notamment pour la détection de la bande brillante. Dans le cas qui nous intéresse, elle aura permis de fixer des seuils de filtrage afin de traiter l'ensemble des données disponibles et de ne sélectionner que les informations susceptibles de permettre le calcul des biais sur les deux paramètres qui nous intéressent.

## 7. Calcul du biais

Cette étape finale a donné l'occasion de tester différents programmes en changeant la méthode de calcul des moyennes ainsi que les méthodes de filtrage ; le calcul du biais en lui-même est assez simple. Une fois que les données ont été filtrées, c'est à dire que l'on a supprimé toutes les données n'étant pas qualifiées de « bonne pluie », il ne reste plus qu'à faire des moyennes. Pour le biais d'une image, il est nécessaire d'effectuer une moyenne par porte (par altitude) pour tous les azimuts. Le terme de porte définit en fait une zone géographique (que vise le radar), et dans notre cas particulier d'un tir à 90° plus précisément une altitude. Afin d'améliorer la précision, il a été décidé de ne prendre en compte que les cas où un quart au moins des pixels de la porte passe le filtrage. Ensuite on effectue la moyenne du biais, dont la valeur a pu être validée, sur l'ensemble des portes prises en compte ; on obtient ainsi une moyenne de Zdr pour l'image et donc son biais.

## 8. Résultats et validation

Au cours de l'étude il a pu être démontré que les deux sources de problèmes, qui avaient été identifiées auparavant avaient effectivement un impact sur la qualité des données. La première était une estimation du biais de Zdr, effectuée il y a quelques mois par J.Gourley, au service CMR/DEP ; cette estimation avait été faite par une méthode différente de celle qui a été utilisée dans cette étude et portait sur le biais de Zdr de la fin de l'année 2004 au début de l'année 2005, qui s'approchait 0.08 dB. La seconde source de problèmes était l'incident survenu sur le radar lors de travaux en août 2005 ; une partie du guide d'onde avait dû être changée, cette modification ayant entraîné un saut brutal des biais pour les paramètres Zdr et dp.

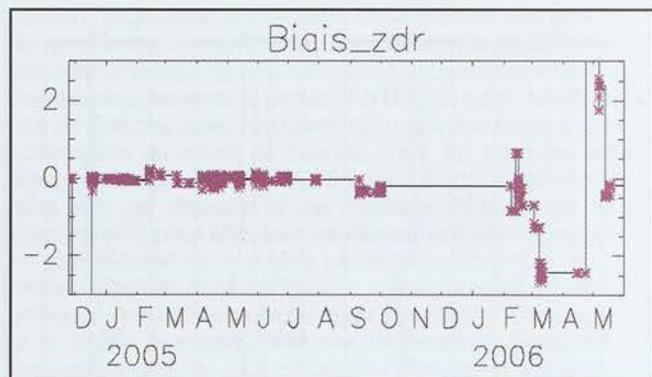


FIG. 7 : Représentation du biais final de Zdr

Une validation a été effectuée dans le cadre de la présente étude : les biais ont été obtenus à partir d'images venant de tirs effectués à 90°. La manière de valider ce biais et de confirmer les valeurs trouvées consiste à corriger ce biais en utilisant les données issues d'une autre image venant d'un tir effectué plus bas au même moment.

## 9. Mise en évidence de la défaillance du radar de Trappes

En observant les graphiques de biais obtenus, nous avons trouvé des résultats très surprenants. A partir de février 2006, le biais de dp et surtout celui de Zdr devient complètement instable. Ce dernier paramètre varie énormément en très peu de temps et atteint des valeurs qui n'ont plus de réalité physique. Contrairement à des cas connus, ces changements de valeur n'ont pas de liens avec des interventions ou des incidents durant cette période. Après vérification de ces résultats, l'examen du suivi du comportement des paramètres ZH et ZV a permis de confirmer le fort soupçon d'un dysfonctionnement majeur du radar. Ces résultats ont conduit le ser-

vice CMR/DEP à invalider les dernières données en double polarisation obtenues au cours de l'année 2006, et donc à suspendre leur utilisation. Les résultats de ces travaux ont donc confirmé les doutes du service de maintenance CMR/IMI sur le fonctionnement correct du radar et démontré l'urgence d'une intervention. Après arrêt et inspection du radar et de l'antenne, le joint tournant du radar de Trappes a été mis en cause ; il s'agit d'une pièce de structure très complexe car elle fait la transition entre la partie fixe du guide d'onde et la partie mobile qui doit s'adapter aux mouvements du radar (en azimut et en hauteur).

## 10. Conclusions et perspectives

Mis à part l'étude préliminaire réalisée par J.Gourley, il n'existait pas d'étude antérieure concernant le suivi de la qualité des mesures radar en double polarisation. Cette étude innovante a donc permis de réaliser un outil de surveillance de calibration des paramètres Zdr et de dp. Pour cela il a donc fallu trouver un ou plusieurs indicateurs permettant d'assurer le contrôle de la qualité des données en double polarisation. Après la mise en opérationnel de ce nouveau système, les services CMR/DEP et CMR/IMI disposent désormais d'un affichage de suivi temporel des deux biais depuis le mois de décembre 2004 jusqu'au mois de juin 2006. Cet outil a permis d'obtenir des résultats concrets avec la mise en évidence d'un problème sérieux sur le radar de Trappes.

Des études complémentaires peuvent également être envisagées afin d'améliorer les performances de la technique utilisée. L'un des points faibles de cet outil de surveillance est sa dépendance des conditions météorologiques. En effet, avec cette méthode, un biais n'est calculable que dans certaines conditions de pluie et particulièrement pour une pluie tombant juste à la verticale du radar de Trappes. Un élargissement des possibilités de calcul de biais serait souhaitable. On pourrait, par exemple, tester l'utilisation des données pour les élévations plus faibles. Une autre amélioration envisageable consisterait à tenir compte de l'azimut pour le calcul du biais. Comme cela a déjà été prouvé auparavant, le paramètre dp dépend de l'azimut et se trouve affecté par les défauts du joint tournant et par les perturbations introduites par la barrière de sécurité entourant le radôme.