

FONCTIONS D'EXPLOITATION

Utilisation optimale du radar météorologique

Utilisation optimale de radar météorologique

Au cours des dernières années, il y a eu un certain nombre de vols où les passagers ou l'équipage ont subi des blessures en raison de fortes turbulences. Dans d'autres cas, la structure de l'aéronef a été lourdement endommagé à la suite d'une tempête de grêle. Il est clair que des conditions météorologiques défavorables peuvent constituer une menace pour la sécurité. et la réalisation confortable d'un vol, il faut donc le détecter et l'éviter en temps opportun.

**DAVID
MARCONNET**

Soutien aux
opérations
aériennes et
normes de
formation Normes
de sécurité
Amélioration de
la sécurité

**CHRISTIAN
NORDEN**

Directeur -
Opérations
aériennes et
politique de
formation

**LAURENT
VIDAL**

Gestionnaire des
systèmes de
surveillance

Le radar météorologique aéroporté est un outil essentiel qui permet aux pilotes d'évaluer l'intensité du temps convectif devant l'avion. A cet égard, il permet la planification stratégique et tactique d'une trajectoire de vol sûre.

La technologie des radars météorologiques a beaucoup évolué au cours des dernières années et une gamme de produits améliorés est maintenant disponible. S'ils sont utilisés correctement, ils permettent de réduire considérablement la charge de travail des pilotes tout en diminuant considérablement le nombre de rencontres avec des conditions météorologiques défavorables.

Cet article offre une vue d'ensemble des technologies de radar météorologique existantes et fournit des informations et des conseils sur la façon de régler le système et d'interpréter correctement les affichages disponibles.

PRINCIPE ET FONCTIONNEMENT DU RADAR MÉTÉOROLOGIQUE

Le système radar météorologique installé à bord de l'avion fournit au pilote l'information nécessaire pour éviter - et non pénétrer - les intempéries.

Pour tirer le maximum d'avantages du système radar météorologique, il faut

à l'équipage d'en optimiser soigneusement l'utilisation. Cela repose principalement sur une bonne connaissance météorologique des phénomènes météorologiques, ainsi que sur une bonne compréhension des fonctions radar disponibles.

Voler par mauvais temps : leçons apprises

L'expérience de l'industrie aéronautique montre que même si les aéronefs sont équipés de radars météorologiques aéroportés, des incursions dans des cellules convectives très actives continuent de se produire, causant des blessures ou des dommages importants.

Lorsqu'il s'agit de comprendre pourquoi des avions équipés de radars météorologiques à la fine pointe de la technologie peuvent finir par voler dans des conditions météorologiques aussi défavorables, nous devons

considérer que tirer le meilleur parti de la technologie à bord n'est qu'une partie de la réponse. Un élément clé des stratégies de prévention des intempéries

“

La prévention par l'anticipation est essentielle.

”

dommages à l'aéronef (**fig.1**).

Ces événements nous amènent à nous demander pourquoi de telles rencontres ont lieu et montrent clairement que la prévention par l'anticipation est essentielle.

est la surveillance active de la situation météorologique générale par l'équipage, ainsi que l'utilisation optimale du radar météorologique et la compréhension correcte des informations affichées. Il ne faut pas oublier que le radar météorologique est utile, mais l'évaluation globale de la situation météorologique par l'équipage joue un rôle central.

(fig.1)

Radôme et pare-brise après la grêle

Les radars
météorologiques
sont d'une
grande aide,
mais l'évaluation globale de
l'équipage
de la situation
météorologi-
que joue un
rôle central.

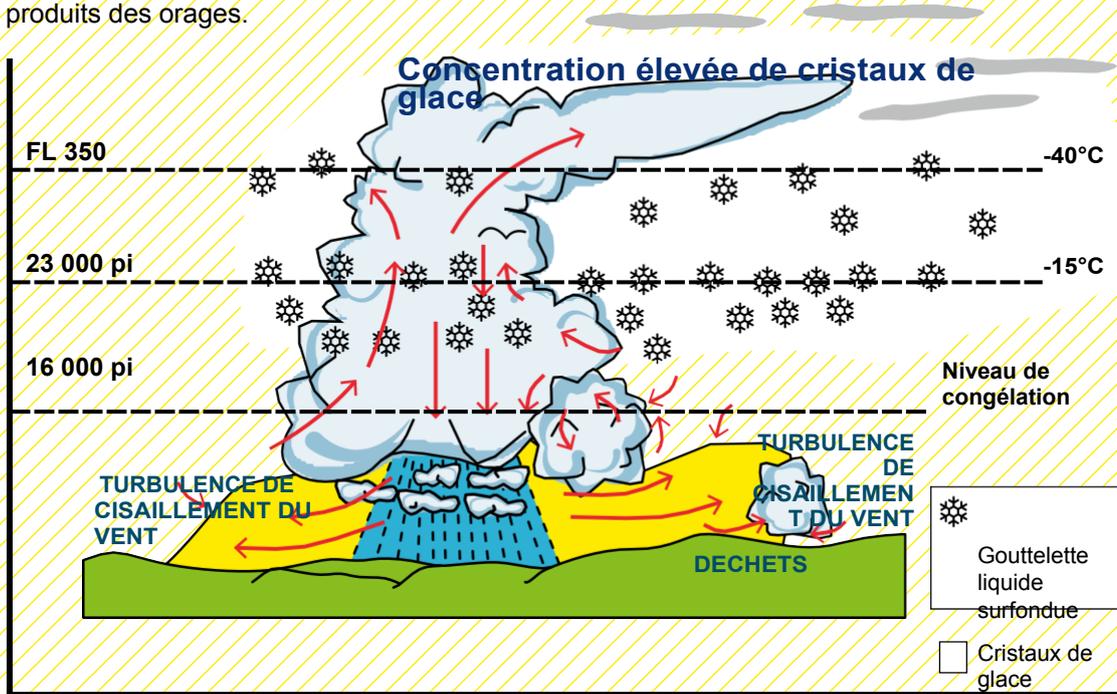
“

”

COMMENT EST STRUCTURÉ UN CUMULONIMBUS, SOUVENT APPELÉ "ORAGE" ?

La turbulence (causée par la collision de deux masses d'air à des vitesses différentes), la grêle et le cisaillement du vent sont trois menaces courantes pour les aéronefs. Ces trois phénomènes sont des sous-produits des orages.

Comprendre comment un cumulonimbus est structuré et évolue est essentiel pour éviter les perturbations météorologiques associées.



Turbulence :

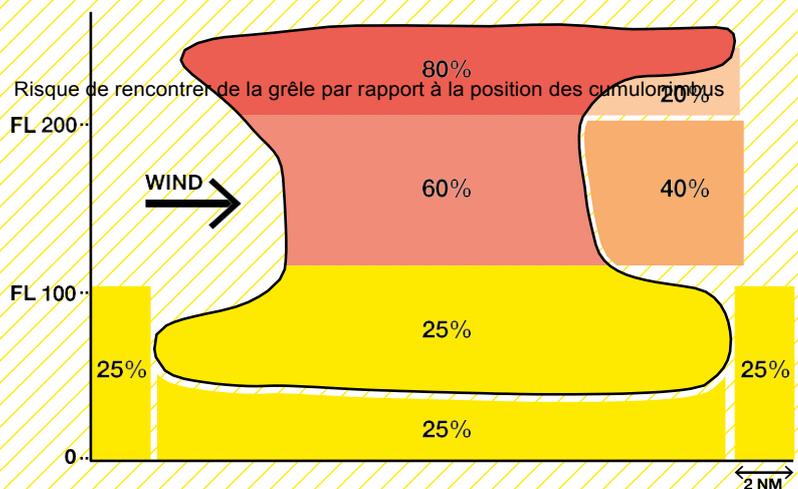
La turbulence associée à un cumulonimbus ne se limite pas à l'intérieur du nuage. Par conséquent, lorsque vous volez dans une zone où des cumulonimbus se sont formés,

il est nécessaire d'appliquer les recommandations pour éviter les intempéries telles que résumées dans cet article.

Je vous salue :

La présence de grêle dans un cumulonimbus varie selon l'altitude et le vent :

- En dessous du FL 100, la grêle est tout aussi susceptible d'être rencontrée sous la tempête, dans les nuages ou autour d'elle (jusqu'à 2 NM).
- Entre le FL 100 et le FL 200, environ 60 % de la grêle se rencontre dans les cumulonimbus et 40 % à l'extérieur des nuages, sous l'enclume.
- Au-dessus du FL 200, la grêle est plus susceptible d'être rencontrée à l'intérieur des nuages.



Lorsqu'on rencontre de la grêle à

l'extérieur du nuage, la

menace de grêle est habituellement

plus grande sous le vent des cumulonimbus parce que l'humidité est

poussé vers le haut dans les nuages par de forts courants d'air. Il gèle ensuite et se transforme en grêle avant d'être soufflé sous le vent. Paradoxalement, il y a là

est moins à risque de grêle dans l'air humide que dans l'air sec. En fait, l'humidité de l'air se comporte comme un conducteur de chaleur et aide à faire fondre la grêle.

Principe du radar météorologique

Une connaissance du principe du radar est primordiale afin d'être en mesure d'évaluer avec précision

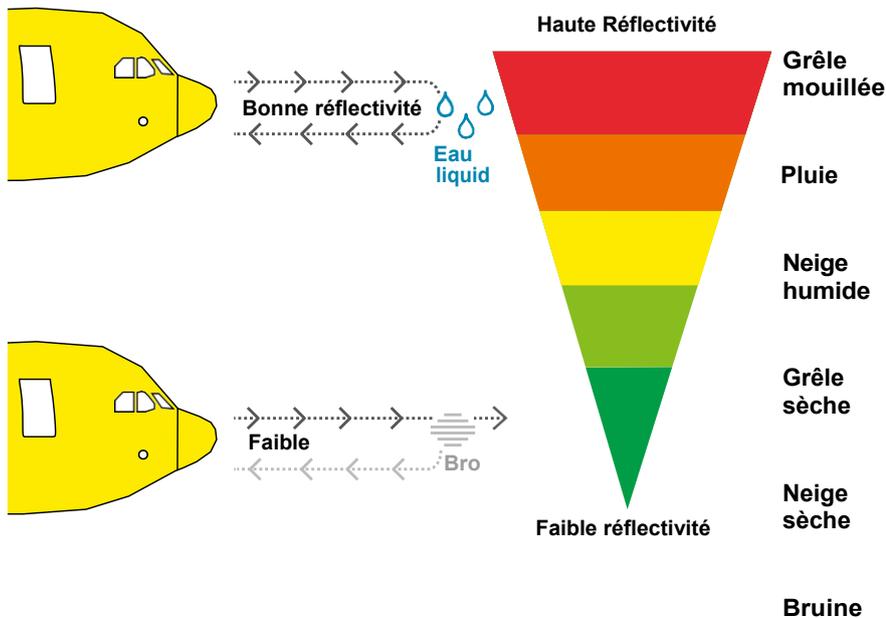
Réflectivité

La détection météorologique est basée sur la réflectivité des gouttelettes d'eau (fig.2). L'écho météorologique apparaît sur l'écran de navigation (ND) avec une échelle de couleurs qui va du rouge (réflectivité élevée) au vert (faible réflectivité).

Réglez ce système et interprétez correctement l'affichage du radar météorologique.

L'intensité de l'écho radar météorologique varie en fonction de la taille, de la composition et de la quantité des gouttelettes. Par exemple, une particule d'eau est cinq fois plus réfléchissante qu'une particule de glace de même taille.

Sur la flotte d'Airbus, tous les radars météorologiques ont la pleine capacité de permettre la détection de turbulences humides.



(fig.2)

Principe du radar météorologique

Certains radars météorologiques sont équipés d'un mode d'affichage des turbulences. Cette fonction (la fonction TURB) est basée sur l'effet Doppler et est sensible au mouvement des précipitations. Comme le radar météorologique, la fonction TURB nécessite un minimum de précipitations pour être efficace. Une zone

- **Contrôle de la portée du ND** : cette fonction

de pluie légère, représentée en vert en mode normal, est représentée en magenta lorsqu'il y a une forte activité de turbulence. La fonction TURB de la plupart des radars météorologiques n'est active que dans une plage de 40 NM (capacité de mesure Doppler) et ne doit être utilisée qu'en cas de turbulence humide.

Fonctionnement du radar météorologique

L'équipage de conduite utilise quatre fonctions pour faire fonctionner le radar :

- **Inclinaison de l'antenne** : c'est l'angle entre le centre du faisceau et l'horizon (fig.3).

a une influence essentielle sur le réglage optimal de l'inclinaison.

- **Commande de gain** : permet de régler la sensibilité du récepteur.
- **Modes radar** : météo (WX) ou météo + turbulence (WX + T).

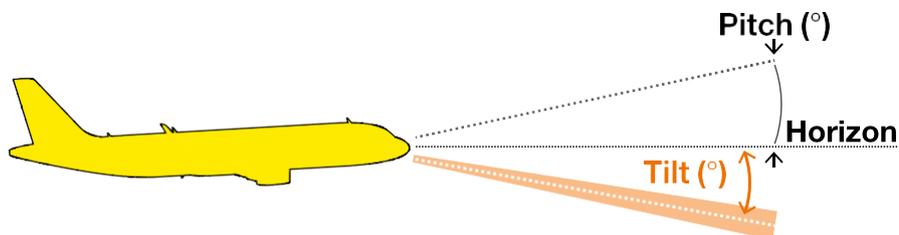
VOUS

Chaque type de radar météorologique a ses propres particularités. Pour obtenir toutes les informations sur les caractéristiques, les



et les recommandations opérationnelles de chaque modèle de radar météorologique, il est nécessaire d'étudier le guide d'utilisation du fabricant du radar.

SAVIEZ-



(fig.3)

Définition de l'inclinaison

“ La réflectivité n'est pas directement proportionnelle au niveau de risque encouru. ”

Limites des radars météorologiques

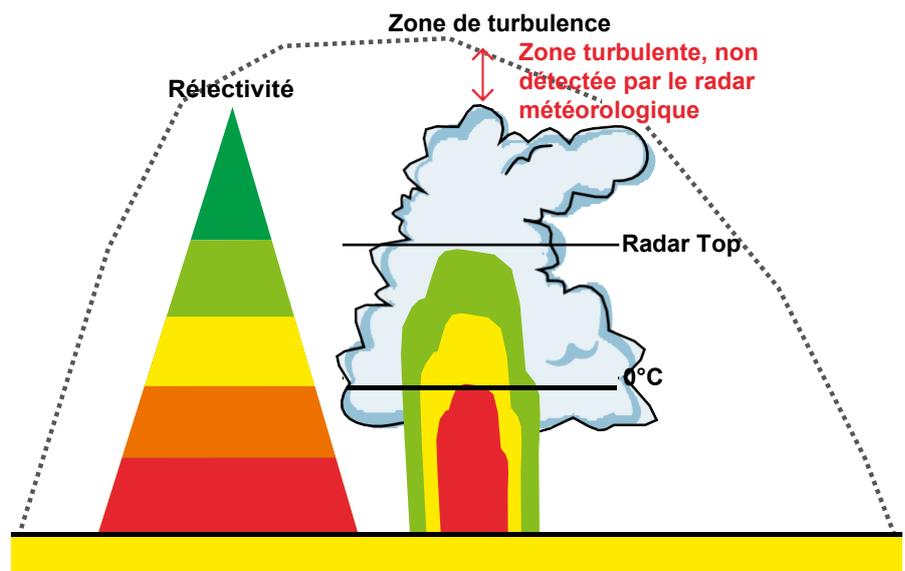
Capacité de détection des radars météorologiques

L'une des limites des radars météorologiques est qu'ils n'indiquent que la présence d'eau liquide. La conséquence est qu'un orage n'a pas la même réflectivité sur sa plage d'altitude car la quantité d'eau liquide dans l'atmosphère diminue avec l'altitude (fig.4). Pourtant, les nuages convectifs et les menaces connexes peuvent s'étendre bien au-delà de la limite supérieure de détection du radar météorologique (appelé " toit radar "). Cela signifie que la réflectivité n'est pas directement proportionnelle au niveau de risque qui peut être rencontré : un nuage convectif peut être dangereux, même si l'écho radar est faible.

C'est particulièrement vrai pour les régions équatoriales terrestres où convergent

les vents produisent des soulèvements d'air sec à grande échelle. Les cellules météorologiques qui en résultent ont une réflectivité beaucoup plus faible que les cellules convectives des latitudes moyennes. Toutefois, la turbulence à l'intérieur ou au-dessus de ces nuages peut avoir une intensité supérieure à celle indiquée par l'image sur l'écran du radar météorologique. Par contre, l'air près de la mer peut être très humide. Dans ce cas, la convection thermique produira des nuages pleins d'eau : ces nuages auront une réflectivité élevée, mais ne constitueront pas nécessairement une menace élevée.

Par conséquent, les limites des radars météorologiques doivent être bien comprises et complétées par des connaissances météorologiques de base de l'équipage et, si possible, par une observation visuelle.



(fig.4)

Image réfléchissante d'un cumulonimbus

Le radar météorologique détecte :	Le radar météorologique ne détecte rien :
-----------------------------------	---

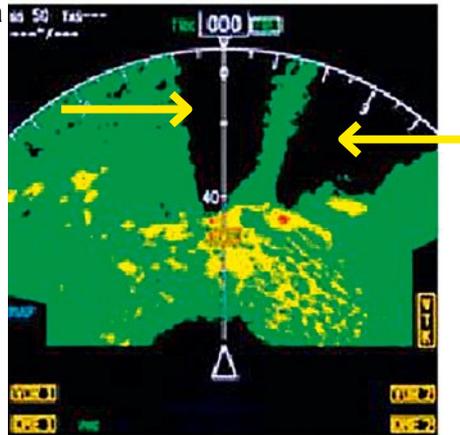
<ul style="list-style-type: none">- Précipitations- Grêle humide et turbulence humide- Cisaillement du vent	<ul style="list-style-type: none">- Cristaux de glace, grêle sèche* et neige- Turbulence d'air clair- Tempêtes de sable (les particules solides sont presque transparentes au faisceau radar)- La foudre *
---	---

* Les dernières générations de radars météorologiques offrent des fonctions de prévision de la grêle et de la foudre (voir les sections suivantes).

Le phénomène d'atténuation du faisceau

Une autre limitation du radar météorologique s'appelle l'"ombrage" ou l'"atténuation". L'affichage du radar météorologique dépend des échos du signal : plus les précipitations sont intenses, moins le radar peut voir à travers. Par conséquent, lorsque l'écho radar n'est pas en mesure d'effectuer le trajet aller-retour à travers de fortes précipitations, un effet d'"ombrage" se produit. Le résultat est double. Tout d'abord, la

taille, la forme et l'intensité de ces conditions météorologiques peuvent ne pas être affichées avec précision au pilote. Ce qui semble être une bande de précipitations mince ou inexistante (fig.5) pourrait en fait être le bord d'attaque d'une zone de précipitations beaucoup plus étendue. Deuxièmement, les conditions météorologiques derrière des cellules d'ombrage aussi fortes ne seront pas détectées. Cela peut entraîner des conditions météorologiques



“ Un trou noir derrière une zone rouge sur un radar météorologique l'affichage doit toujours être pris en compte comme une zone potentiellement très active et les ombres s'estompent plus loin sur le chemin balayé ”

(fig.5) Atténuation causée par des précipitations modérées à extrêmes

LA TECHNOLOGIE DES RADARS MÉTÉOROLOGIQUES : LES DIFFÉRENTS TYPES DE RADARS MÉTÉOROLOGIQUES

En coopération avec ses fournisseurs, Airbus a constamment et activement soutenu l'évolution de la technologie des radars météorologiques au fil des ans.

Radars à commande manuelle

Radars à commande entièrement manuelle

Les premières générations de radars ne sont pas équipées d'une fonction d'inclinaison automatique ; par conséquent, l'inclinaison de l'antenne doit être réglée manuellement de haut en bas à

Ces améliorations continues ont permis à l'équipage de disposer de fonctions d'observation et d'évaluation des menaces météorologiques optimisées.

mesure que le vol avance en fonction de l'altitude de l'avion,

NOTE

Les premières générations de radars à commande manuelle sans inclinaison automatique sont : Rockwell Collins WXR-

les conditions météorologiques prévues sur la trajectoire et le choix de la distance ND. Ensuite, le pilote doit analyser et comprendre les différentes tranches radar des conditions météorologiques affichées afin d'obtenir une vue d'ensemble.

701X jusqu'à l'émetteur-
récepteur radar météorologique
référence 622-5132- 624 et
Honeywell RDR-4B jusqu'à
l'émetteur-récepteur radar
météorologique référence 066-
50008-0407.

Radar Autotilt (famille Honeywell RDR-4B PN 066-50008-0409)

Honeywell a présenté le premier radar météorologique doté d'un calcul automatique de l'inclinaison appelé "Autotilt".
En mode Autotilt, le radar utilise les fonctions suivantes

la base de données du terrain de l'EGPWS et ajuste automatiquement l'inclinaison de l'antenne en fonction de la position et de l'altitude de l'avion et de la portée ND sélectionnée (fig.6).

(fig.6)
Honeywell Autotilt



“ Les radars automatiques optimisent la détection des conditions météorologiques et réduisent considérablement la charge de travail des pilotes. ”

Radars entièrement automatiques

La prochaine génération de radars comprend des fonctions automatiques, qui :

- Balayer l'espace aérien en avant de l'avion avec des faisceaux multiples
- Disposer d'une mémoire tampon tridimensionnelle (3D) pour stocker les données météorologiques
- Calculer et ajuster automatiquement l'inclinaison de l'antenne

- Offrir une commande pilote indépendante et la sélection de l'affichage.

Ces nouveaux radars optimisent la détection des conditions météorologiques et réduisent considérablement la charge de travail des pilotes nécessaires pour comprendre le tableau complet des conditions météorologiques à venir.

Familles A320 et A330 :

Radar à balayage multiple (famille Rockwell Collins WXR-2100)

Le radar météorologique WXR-2100 Multiscan fait partie de cette nouvelle génération de radars météorologiques qui offre un calcul automatique du contrôle de l'inclinaison et du gain à toutes les portées, à toutes les altitudes et à tout moment (fig.7).

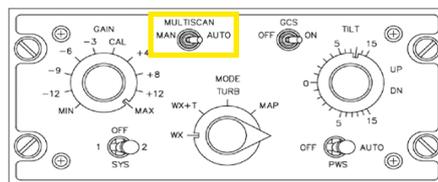
Ce radar météorologique est conçu pour fonctionner en mode automatique Multiscan. Les pilotes choisissent seulement la portée désirée pour l'affichage et le radar balaie alternativement à deux reprises.

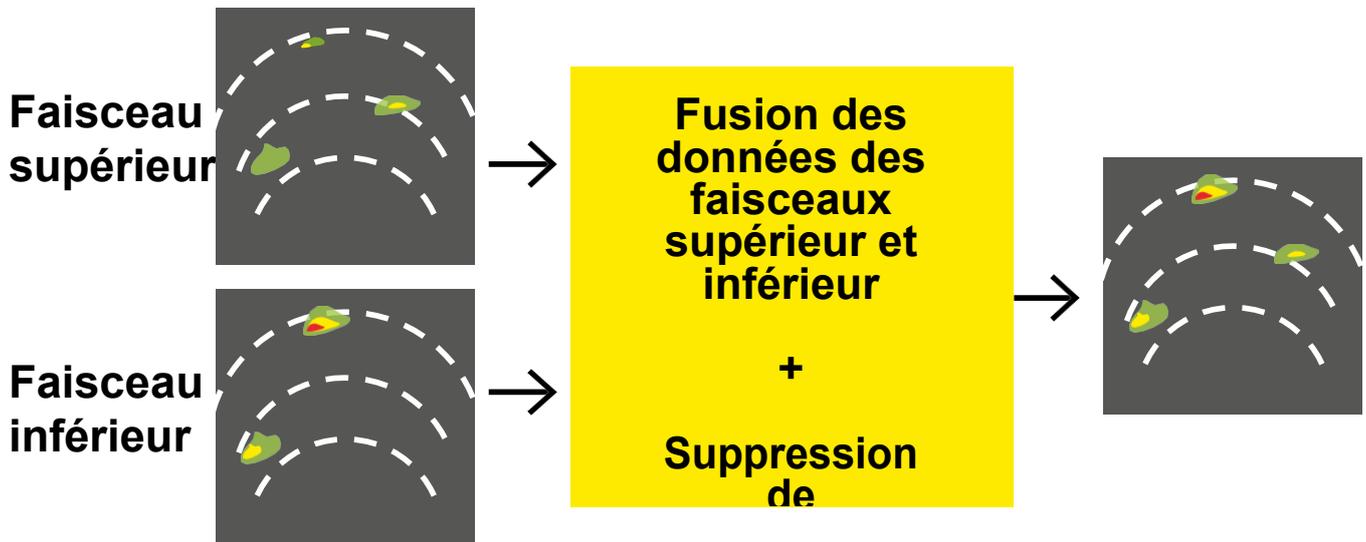
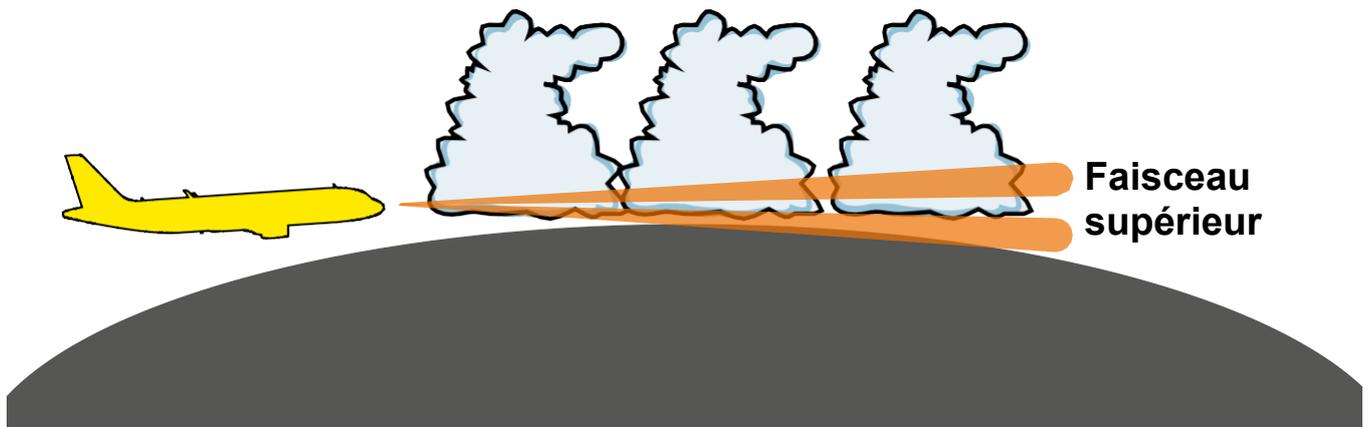
réglage de l'inclinaison de l'antenne. L'image affichée sur le ND est le résultat des informations stockées et combinées de chaque faisceau.

Le radar ajuste automatiquement le gain et l'inclinaison en fonction de divers paramètres (altitude de l'avion, zone géographique, saison, heure de la journée) pour obtenir le meilleur affichage météorologique dans chaque région géographique.

(fig.7)

Rockwell Collins Multiscan





Familles A320 & A330 & A350 & A380 : Honeywell RDR-4000

Le modèle Honeywell RDR-4000 fait partie de la nouvelle génération de radars météorologiques incluant un tampon volumétrique 3D.

Il peut sonder des centaines de kilomètres à l'avance (jusqu'à 320 milles marins sur les familles A320 et A330 et jusqu'à 640 milles marins sur A350 et A380).

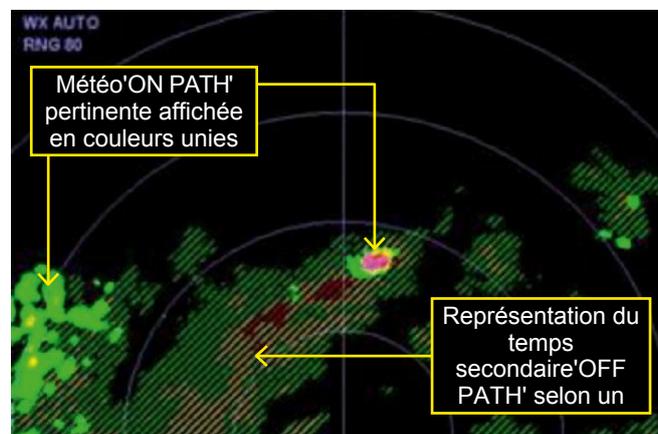
pour afficher l'image météorologique en route, ainsi qu'un balayage automatique à partir du sol jusqu'à 60 000 pieds pour fournir des informations ciblées à différentes altitudes. Les données d'affichage nécessaires sont ensuite accessibles à partir de la mémoire tampon 3D (fig.8 et 9).

Lorsqu'il est activé en mode automatique, le radar RDR-4000 prend en compte une enveloppe de trajectoire verticale (nominalement +/- 4000 ft) le long de la trajectoire verticale de l'avion en fonction de l'angle de trajectoire. Il définit ensuite si l'écho météo se trouve à l'intérieur de cette enveloppe (pertinent 'ON PATH') ou non (secondaire).

'OFF PATH') en fonction du profil de vol. Les conditions météorologiques le long de la trajectoire de l'avion sont affichées en couleurs fixes, tandis que les échos verticaux plus éloignés sont représentés en bandes pour aider les pilotes à déterminer si une manœuvre d'évitement ou un changement de route est nécessaire (**fig.10**).

(fig.10)

Afficheur Honeywell RDR-4000



NOTE

Ces radars météorologiques améliorés sont fournis à l'entrée en service des nouveaux programmes (A380, A350) et en option pour les familles A320 et A330.

Le RDR-4000 peut également être utilisé en mode manuel (mode élévation) comme outil d'analyse des conditions météorologiques à des altitudes choisies par l'utilisateur et ainsi évaluer l'expansion verticale et la structure des nuages convectifs.

Ce système est disponible sur l'A380 ainsi que sur l'A350 avec une fonction d'alerte météo supplémentaire. Sur ces avions, la météo affichée est une image calculée :

- le ND, pour les vues le long de la trajectoire verticale (en mode AUTO) ou le long de l'altitude sélectionnée (en mode ELEVN) ou selon l'angle d'inclinaison sélectionné (en mode TILT)
- ainsi que sur l'affichage vertical (VD) pour les vues le long de la trajectoire latérale (en mode AUTO) ou le long de l'azimut sélectionné (en mode AZIM) (**fig.11**).

Prédiction de grêle et de foudre : les nouvelles fonctions introduites par les radars automatiques'étape 2

Dans la continuité du RDR-4000 et du Multiscan WXR-2100, une nouvelle étape de développement a été récemment introduite :

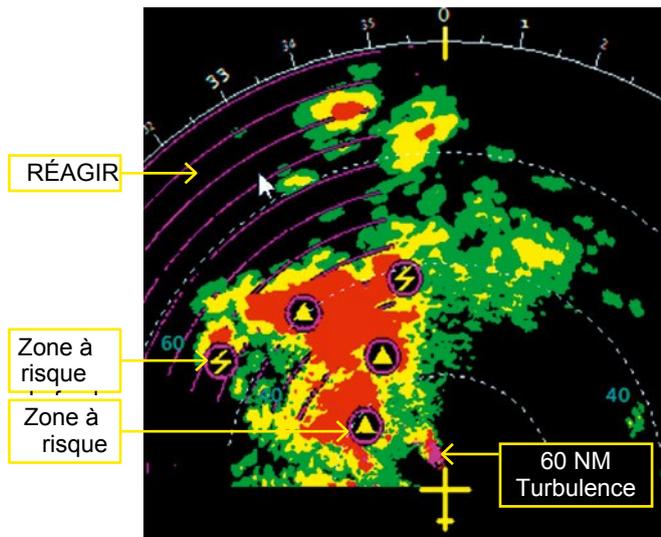
- Prédiction de grêle et de foudre
- Amélioration de l'information météorologique.

» **Le Honeywell RDR-4000 (V2)** inclut de nouvelles fonctions pour améliorer l'évaluation des risques météorologiques en fournissant automatiquement les informations supplémentaires suivantes (**fig.12**) :

- Alerte météo ('WEATHER

AHEAD') pour alerter l'équipage lorsque le ND n'est pas en mode météo

- Offre de **fonctions de danger** :
 - Prédiction de la foudre et de la grêle
 - Technique de compensation de l'atténuation de l'écho de pluie (REACT) : cette fonction indique les zones où l'intensité de l'écho radar a été atténuée par les conditions météorologiques intermédiaires.
 - Détection de turbulence étendue (jusqu'à 60 NM au lieu de 40).



(fig.12)

Afficheur Honeywell RDR-4000 V2

» Le **Rockwell Collins Multiscan WXR-2100 (V2)** inclut une évaluation automatique des menaces météorologiques (fonction "Track While Scan"). Dans la continuité du Multiscan, le but de cette version est de fournir non seulement une représentation de la réflectivité des cellules météorologiques environnantes, mais aussi une évaluation de la menace pour chaque cellule détectée.

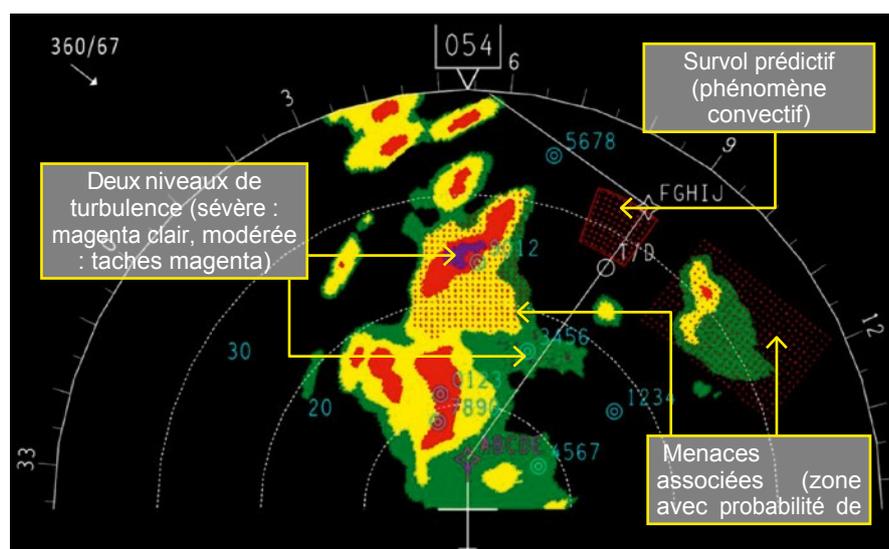
Les cellules météorologiques sont d'abord suivies, puis d'autres balayages verticaux sont effectués automatiquement pour évaluer les conditions météorologiques.

la menace correspondante sur la base des caractéristiques de réflectivité (**fig.13**). Ce nouveau radar offre également des **fonctions de danger**, à savoir :

- Prédiction de la foudre et de la grêle
- Survol prédictif (cette fonction avertit l'équipage de la présence de cellules en croissance qui pourraient se trouver sur la trajectoire de l'avion).
- Amélioration de la détection de turbulence permettant d'afficher un niveau supplémentaire de turbulence modérée.

(fig.13)

Détection et analyse des menaces Multiscan V2 de Rockwell Collins



NOTE

Les radars météorologiques Honeywell RDR-4000 V2 et Rockwell Collins Multiscan WXR-2100 V2 ont été certifiés en juillet 2015 pour les familles A320 et A330/A340 et sont disponibles en option.

Prochainement.... l'évolution future de l'information météorologique

Airbus, en coopération avec les fournisseurs de radars météorologiques, poursuit ses efforts dans la conception et la production de nouvelles fonctions de surveillance météorologique. Aujourd'hui, au niveau de la recherche, l'accent est mis sur trois dimensions principales dans le but de sensibiliser davantage les pilotes aux conditions météorologiques à venir.

1. Détection de cristaux de glace à haute altitude (HAIC) pour éviter de voler dans les zones de cristaux de glace.

De multiples menaces sont attribuées aux cristaux de glace, par exemple, les vibrations du moteur, la perte de puissance du moteur, les dommages au moteur ou le givrage des sondes de données d'air. En fait, la formation de cristaux de glace à haute altitude et leurs effets sur les performances des aéronefs sont reconnus comme un problème à l'échelle de l'industrie. Airbus, en particulier, dirige le projet de recherche HAIC avec plusieurs partenaires. Ce projet vise à caractériser et à identifier les conditions environnementales des cristaux de glace, à améliorer l'exploitation des aéronefs grâce à la mise au point de technologies de détection et de sensibilisation appropriées à installer.

dans les avions. La prochaine génération de radars météorologiques devrait bénéficier de ces travaux de recherche et permettre la détection des cristaux de glace pour éviter le temps convectif lié au givrage des cristaux de glace.

2. Fusion de l'affichage météo pour offrir un affichage unique des données météorologiques couvrant toutes les menaces météorologiques.

La possibilité de collecter toutes les informations "météorologiques à bord" ainsi que les informations météorologiques collectées par le radar (réflectivité, turbulence et dangers) et de les regrouper sur un seul écran est actuellement à l'étude.

3. Analyse météorologique 3D : réacheminement automatique

Des travaux sont également en cours pour permettre le calcul automatique d'une route de déviation optimisée en fonction des conditions météorologiques réelles (météo à bord et données radar), du trafic en cours et du plan de vol enregistré. On s'attend à ce qu'une telle fonction facilite la prise de décision du pilote et la planification du réacheminement au besoin. De plus, il améliore le confort.

METTRE LA THÉORIE EN PRATIQUE : COMMENT UTILISER AU MIEUX LE RADAR MÉTÉOROLOGIQUE AÉROPORTÉ

Le radar météorologique est un outil de détection, d'analyse et de prévention des intempéries et des turbulences. Comme pour tout autre outil, des compétences adéquates et l'implication de l'équipage sont nécessaires pour l'utiliser efficacement. En fait, la gestion des conditions météorologiques défavorables dépend toujours principalement de l'équipage pour surveiller activement la situation météorologique tout au long du vol, et utiliser pleinement la technologie disponible grâce à :

- Connaissance des capacités et des limites des radars météorologiques, selon les particularités décrites dans le manuel d'utilisation du FCOM et du fabricant.
- Briefing avant le vol (connaissance de la climatologie de la route et des prévisions météorologiques -

et simulation en ligne) et en vol (mise à jour des informations météorologiques)

- Utilisation adaptée du radar météorologique, l'équipage évaluant régulièrement la portée, le gain et l'inclinaison, et utilisant les fonctions d'évaluation des menaces météorologiques lorsqu'elles sont disponibles afin d'afficher une image radar météorologique optimale sur le ND.
- L'équipage effectue régulièrement des balayages verticaux et horizontaux manuels afin d'accroître la sensibilisation à la situation.
- Compréhension correcte de l'image radar affichée.
- Prise de décisions stratégiques (à moyen terme) et tactiques (à court terme) adéquates pour la planification de la trajectoire.

Comment régler de façon optimale le radar météorologique et gérer les vols par temps convectif ?

Planification des vols : l'importance des exposés météorologiques et des bulletins météorologiques

toutes les informations météorologiques disponibles.

L'évitement des conditions météorologiques commence déjà dans la salle de briefing avant le début du vol, avec une évaluation approfondie des conditions météorologiques en route et des décisions sur les moyens d'atténuation possibles.

Avant l'embarquement, un exposé météorologique devrait révéler les zones où l'on prévoit une activité météorologique importante. De même, cette séance d'information devrait comprendre l'évaluation des conditions météorologiques typiques dans la région. Par exemple sous les tropiques, l'intensité

“ Une fois en vol, le radar météorologique devrait être utilisé et réglé régulièrement en combinaison avec ”

FONCTIONS

et D'EXPLOITATION des cumulonimbus sont plus importants à certains moments de la journée. L'équipage a la possibilité, à ce stade, de planifier une route pour éviter les conditions météorologiques actives.

sur le briefing météo et leur connaissance de la climatologie locale. Changer la route de vol pourrait être une option, en plus de prendre du carburant supplémentaire pour améliorer les options stratégiques et tactiques en vol.

Une fois en vol, le radar météorologique devrait être utilisé et réglé régulièrement en combinaison avec toute l'information disponible, par exemple, l'exposé pré-vol, les connaissances et l'expérience du pilote sur la typicité de la région, les turbulences signalées, les rapports météorologiques à jour... Si possible, les renseignements météorologiques devraient être mis à jour régulièrement en vol. L'information recherchée par l'ATC sur les rencontres de turbulence est un moyen supplémentaire.



INFORMATION

L'exploitation sûre par temps convectif exige une bonne connaissance théorique de la météorologie, en particulier de la formation, du développement et des caractéristiques des nuages convectifs dans différentes régions du monde. Ces connaissances sont habituellement fournies dans le cadre de la délivrance des licences de pilote et de la formation opérationnelle et ne sont pas couvertes par la documentation de l'aéronef (FCOM et FCTM).

Inclinaison de l'antenne du radar météorologique

Une gestion efficace de l'inclinaison de l'antenne ainsi qu'une sélection appropriée de la portée ND sont des outils clés pour obtenir un affichage radar météorologique informatif sur le ND.

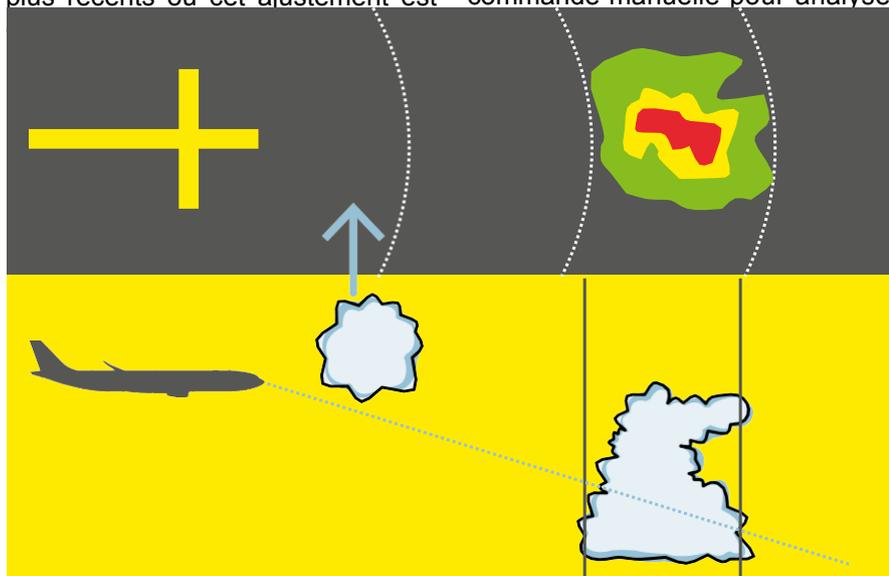
Le ND peut ne pas afficher les cellules au niveau de vol de l'avion, seules les cellules qui sont coupées par le faisceau radar sont affichées (fig.14). Pour cette raison, l'inclinaison de l'antenne doit être ajustée régulièrement vers le haut et vers le bas pour balayer la météo à l'avance, et elle doit être ajustée à la sélection de portée ND (sauf avec les modèles radar les plus récents où cet ajustement est

L'équipage de conduite doit effectuer un balayage périodique :

- Verticalement, en utilisant la fonction d'inclinaison de l'antenne
- Horizontalement, en utilisant le changement de gamme.

Si disponible, le mode automatique doit être utilisé comme mode par défaut (sauf mention contraire dans le FCOM), pour la détection et l'évaluation initiale de la météo affichée. Ensuite, si l'on soupçonne des conditions météorologiques défavorables (p. ex. selon les renseignements recueillis au cours de l'exposé pré-vol), il faut utiliser régulièrement et activement la commande manuelle pour analyser

Le mode automatique devrait être utilisé comme mode par défaut, pour la détection et l'évaluation initiale du temps affiché. Ensuite, la commande manuelle doit être utilisée périodiquement pour analyser le temps.”



(fig.14)

Affichage le long du faisceau radar



MEILLEURE PRATIQUE

Même lorsque l'inclinaison est réglée automatiquement, il est conseillé aux pilotes de passer régulièrement en mode manuel "MAN" afin de balayer les conditions météorologiques immédiates qui les attendent. Cette mesure permet à l'équipage d'évaluer la structure verticale et l'expansion des nuages convectifs.

Les facteurs qui peuvent affecter la pertinence de l'affichage ND et qui devraient déclencher une correction d'assiette sont les suivants :

- Un changement de cap
- Un changement d'altitude, ou

même un changement de profil de vol régulier (par ex. de montée à croisière)

■ FONCTIONS D'EXPLOITATION

- La forme des brages

- U
n

r
a
p
p
o
r
t

d
e

p
i
l
o
t
e

d
'
u
n

a
u
t
r
e

a
v
i
o
n

d
a
n
s

l
e
s

e
n
v
i
r
o
n
s

.
E
n

c
a
s

d

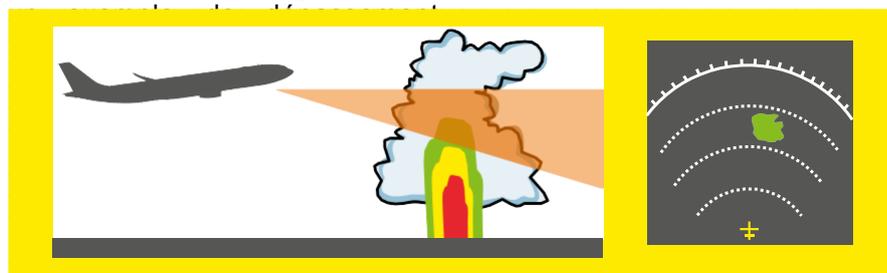
e changement de cap ou d'altitude, le fait de laisser l'inclinaison de l'antenne en mode automatique peut entraîner un risque de ne pas tenir compte des conditions météorologiques ou de sous-estimer l'angle d'inclinaison.

(fig.15)

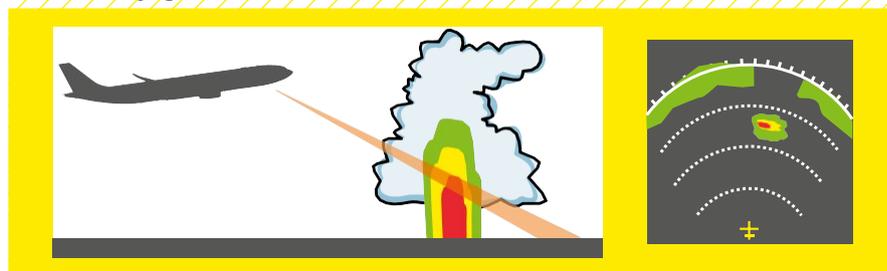
Affichage radar météo avec différents réglages d'inclinaison

la sévérité des conditions météorologiques. Par exemple, au décollage ou en montée, l'inclinaison devrait être réglée si des conditions météorologiques défavorables sont prévues au-dessus de l'avion. La **figure 15** est

parce que l'inclinaison est mal réglée (trop élevée dans ce cas) en mode d'inclinaison automatique. Lorsque l'antenne est inclinée vers le bas, le ND montre une activité beaucoup plus forte.



Surbalayage



Affichage correct de

“ La présence de zones jaunes ou vertes à haute altitude, au-dessus d'un globule rouge, peut indiquer une zone très turbulente. ”

Pour analyser une cellule convective, l'équipage de conduite doit utiliser le bouton d'inclinaison pour obtenir un affichage correct et diriger le faisceau radar météorologique vers la partie la plus réfléchissante de la cellule. À haute altitude, un orage peut contenir des particules de glace à faible réflectivité. Si le réglage d'inclinaison n'est pas adapté, le ND peut n'afficher que la partie supérieure (moins réfléchissante) du nuage convectif (overscanning). Par conséquent, l'équipage de conduite peut sous-estimer le temps ou ne pas détecter un orage. Afin d'obtenir une détection météorologique précise, l'antenne du radar météorologique doit également être orientée vers les niveaux inférieurs (c'est-à-dire en dessous du niveau de congélation), où l'eau peut encore se trouver. Si une zone rouge se trouve à un niveau inférieur, l'inclinaison de l'antenne doit

puis être utilisé pour scanner la zone verticalement. La présence de zones jaunes ou vertes à haute altitude, au-dessus d'un globule rouge, peut indiquer une zone très turbulente.

Dans la plupart des cas en vol, le réglage adéquat de l'inclinaison de l'antenne montre quelques retours au sol au bord supérieur du ND, qui peuvent être difficiles à différencier des véritables échos météorologiques. Un changement d'inclinaison de l'antenne modifie rapidement la forme et la couleur des retours au sol et finit par les faire disparaître. Ce n'est pas le cas pour les échos météorologiques. Certains radars météorologiques sont équipés d'une fonction de suppression du bruit au sol (GCS). Lorsqu'il est allumé, il supprime le retour à la masse de l'affichage.

Gestion des plages
d'affichage

SAVIEZ-

VOUS



FONCTIONS

D'EXPLOITATION

Il est possible de sélectionner des informations utiles pour régler correctement le radar météorologique en fonction de la phase de vol.

Pour maintenir une bonne connaissance de la situation, l'équipage de conduite doit surveiller les conditions météorologiques sur de courtes et de longues distances. À cette fin, l'équipage doit sélectionner des portées différentes sur le moniteur de pilotage (PM) et le pilote aux commandes (PF) ND.

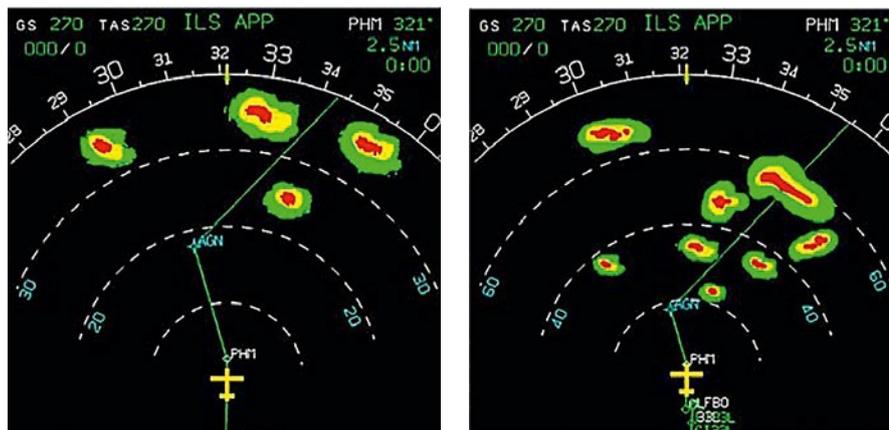
Pour éviter de menacer le temps convectif, l'équipage de conduite devrait prendre des décisions d'écart tout en étant à au moins 40 NM de distance ;

par conséquent, les plages suivantes devraient être sélectionnées dans les AD :

- La surveillance pilote (PM) ajuste les plages pour planifier la stratégie d'évitement météorologique à long terme (en croisière, habituellement 160 NM et moins).
- Le pilote aux commandes (PF) ajuste les distances pour surveiller la gravité du mauvais temps et décider des tactiques d'évitement (en croisière, généralement à 80 NM ou moins, au besoin).

Les changements de cap pour éviter le mauvais temps doivent être déterminés à l'aide des deux affichages. Cela permet d'éviter l'effet "d'impasse" : un changement de cap qui pourrait

sembler sûres en cas d'utilisation d'un affichage ND à faible portée peut révéler un passage bloqué lorsqu'il est observé à une portée plus élevée (fig.16).



“ L'équipage doit sélectionner des portées différentes sur le moniteur de pilote (PM) et le pilote aux commandes (PF) ND.”

(fig.16)
Effet d'impasse

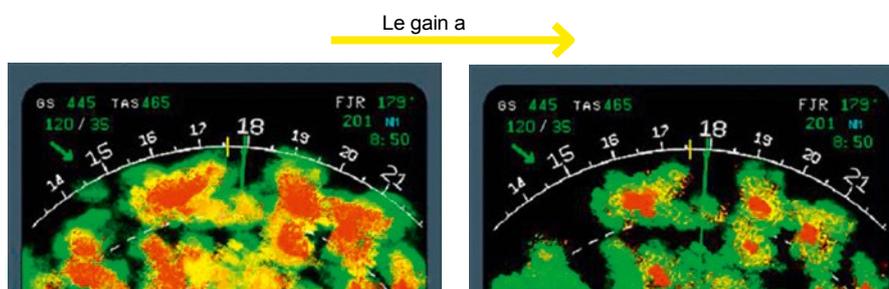
Réglage du gain

La sensibilité du récepteur peut varier d'un type de système radar à l'autre. En position CAL (AUTO), le gain est dans la position optimale pour détecter les nuages convectifs standard. Des réglages manuels sont également disponibles et peuvent être utilisés pour analyser la météo.

À basse altitude, la réduction du gain pourrait être justifiée pour une analyse météorologique appropriée. En raison de l'humidité accrue aux niveaux inférieurs, les cellules convectives sont habituellement plus réfléchissantes et l'écran du radar météorologique peut avoir tendance à montrer beaucoup de zones rouges. Cela peut également être le cas à des altitudes plus élevées avec

des écarts positifs importants de l'AIS dans une atmosphère très humide (généralement la mousson indienne). Dans ces cas, la réduction lente du gain permet de détecter les zones menaçantes : la plupart des zones rouges deviennent lentement jaunes, les zones jaunes deviennent vertes et les zones vertes disparaissent lentement. Les autres zones rouges - i.e. les zones rouges qui sont les dernières à jaunir, - sont les parties les plus actives de la cellule et doivent être évitées (fig.17).

À haute altitude, les particules d'eau sont gelées et les nuages sont moins réfléchissants. Dans ce cas, le gain devrait être augmenté aux fins de l'évaluation de la menace.



(fig.17)
Effet de la réduction du gain

“ Le TURB a besoin d'humidité ; par conséquent, la turbulence de l'air clair ne s'affiche pas. ”

Détection des turbulences et des menaces météorologiques

La turbulence peut être difficile à prévoir, mais des signes tels que des éclairs fréquents et forts et/ou la forme particulière des nuages (voir la section suivante) peuvent alerter l'équipage de la présence probable de turbulence forte. Si nécessaire et si disponible (selon le standard des radars météorologiques à bord), la fonction TURB peut être utilisée en plus pour confirmer la présence de turbulence humide jusqu'à 40 NM (ou 60 NM selon le type de radar).

l'étalon radar) (**fig.18**). Rappelez-vous que la fonction TURB a besoin d'humidité ; par conséquent, la turbulence de l'air clair ne s'affiche pas.

De plus, l'équipage de conduite peut être alerté par des repères visuels fournis par les dernières générations de radars météorologiques qui offrent des fonctions d'évaluation des menaces météorologiques, comme la grêle ou les prévisions de foudre.



(fig.18)

Détection de turbulence (en magenta)

COMMENT RÉGLER CORRECTEMENT LE RADAR MÉTÉOROLOGIQUE EN UN COUP D'ŒIL



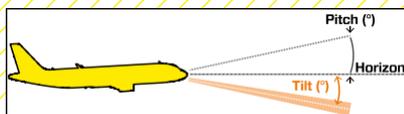
Avant le vol

Étudiez les spécificités et les limites du radar météorologique à l'aide du FCOM, du FCTM et du **guide d'utilisation du radar météorologique**



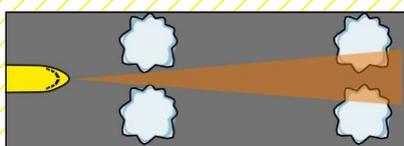
Avant et après en vol

Rassemblez des informations sur la **météo prévue** et les mettre à jour régulièrement en vol : briefing météo, connaissance de la climatologie de la route, turbulence rapportée



Pendant le vol

Réglez l'**inclinaison de l'antenne** sur auto comme mode par défaut pour la détection et l'évaluation initiale de la météo, et utilisez périodiquement le manuel pour balayer et analyser la



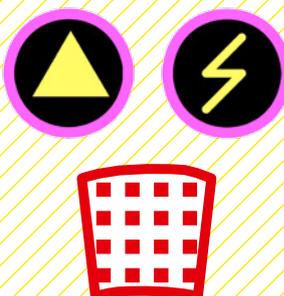
Pendant le vol

En croisière, la combinaison des **gammes** suivantes permet d'avoir une bonne connaissance des conditions météorologiques et d'éviter l'"effet d'angle mort" :
- 160 NM sur les PM ND
- 80 NM sur le DE ND



Pendant le vol

Utilisez le **gain** en mode AUTO/CAL par défaut, puis réduisez régulièrement le gain pour l'évaluation de la sévérité du temps



Pendant le vol

Soyez attentif aux indices visuels et oraux fournis par les **fonctions d'évaluation des menaces et des dangers météorologiques** (telles

Compréhension des données radar météorologiques : comment décider d'une stratégie d'évitement efficace ?

Avant d'entreprendre toute manœuvre d'évitement, il est essentiel que l'équipage de conduite effectue une analyse de l'affichage radar météorologique. Ce faisant, l'équipage peut

d'effectuer une analyse approfondie de la situation du temps convectif sur la trajectoire et hors trajectoire et, au besoin, de prendre des mesures au besoin.

Il est primordial de bien comprendre l'affichage de la météo.

Une fois que le radar météorologique a été correctement réglé, les données affichées doivent être complétées par les cartes et rapports météorologiques disponibles et les connaissances météorologiques du pilote. L'ensemble de ces données permet à l'équipage de conduite d'obtenir une image météorologique complète et d'établir une "zone de menace". Cette "zone de menace" correspond

les conditions sont trop dangereuses pour voler.

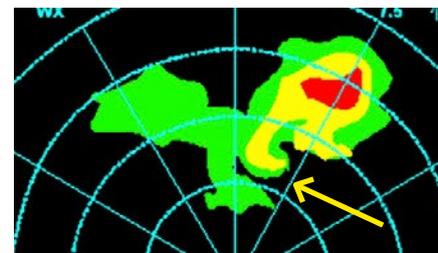
Certains affichages ND contiennent des indices spécifiques qui devraient alerter l'équipage de conduite. Les formes des nuages, en plus des couleurs, doivent être observées attentivement afin de détecter les conditions météorologiques défavorables. Des zones très rapprochées de couleurs différentes indiquent généralement des zones très turbulentes (fig.19).



(fig.19)

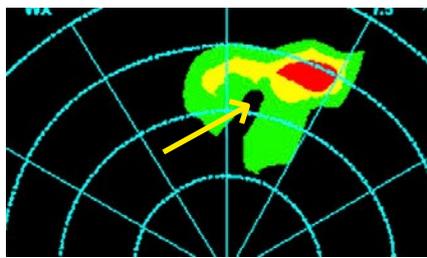
Indication d'une menace : zones très rapprochées de couleurs différentes

Certaines formes sont de bons indicateurs d'une forte grêle qui indiquent également de forts courants d'air verticaux (fig.20). Enfin, rapidement



(fig.20)

Formes indiquant des conditions météorologiques défavorables

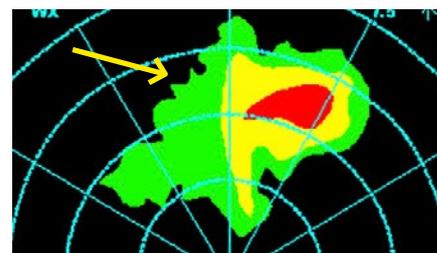
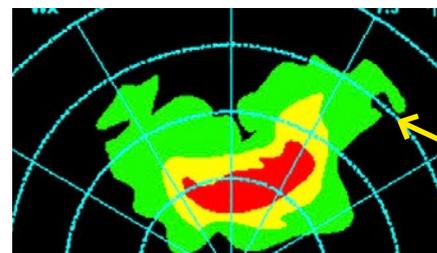


Doigt

Forme en U

es changements de forme,
quelle qu'en soit la forme,
ndiquent également une
orte activité
météorologique.

Croche
t



Bords
festonn
és

Stratégie d'évitement

L'équipage de conduite doit demeurer vigilant et actif dans l'utilisation et le réglage du radar météorologique afin de pouvoir amorcer une manœuvre d'évitement le plus tôt possible. En effet, l'information radar météorologique s'intensifie à mesure que l'avion s'approche de la zone de temps convectif, ce qui rend les décisions d'évitement plus difficiles. Pour cette raison, les équipages devraient envisager une distance minimale de 40 NM à partir du nuage convectif pour amorcer la manœuvre d'évitement.

Une fois que la décision de s'écarter du cap a été prise

les équipages de conduite doivent tenir compte des précautions et des limites suivantes avant de décider de la trajectoire de la manœuvre d'évitement.

Si possible, il est préférable d'effectuer une évitement latéral plutôt qu'une évitement vertical. En effet, l'évitement vertical n'est pas toujours possible (en particulier à haute altitude) en raison de la réduction des marges de buffet et de performance. De plus, certains nuages convectifs peuvent avoir une vitesse d'accumulation importante, qui s'étend bien au-dessus du sommet visible au radar.

“ Considérez une distance minimale de 40 NM à partir de un nuage convectif menaçant pour lancer la manœuvre d'évitement.”

» Évitement latéral

- Dans la mesure du possible, il est conseillé d'essayer d'éviter une tempête en volant du côté au vent d'un cumulonimbus. Habituellement, il y a moins de turbulence et de grêle au vent d'un nuage convectif.
- La "zone de menace" identifiée par l'équipage de conduite (par exemple, un cumulonimbus) devrait être dégagée d'au moins 20 NM latéralement chaque fois que possible.

(fig.21). Une marge supplémentaire peut être appliquée dans le cas où les nuages convectifs sont très dynamiques ou ont une vitesse d'accumulation significative.

- Si la trajectoire de l'avion passe entre plusieurs nuages convectifs, maintenir si possible une marge d'au moins 40 NM avec la "zone de menace" identifiée.

» Évitement vertical

- N'essayez pas de voler sous un nuage convectif, même lorsque vous pouvez voir de l'autre côté, à cause de la turbulence, du cisaillement du vent, des microrafales et de la grêle. Si un aéronef doit voler sous un nuage convectif (p. ex. pendant l'approche), l'équipage de conduite doit tenir compte des éléments suivants

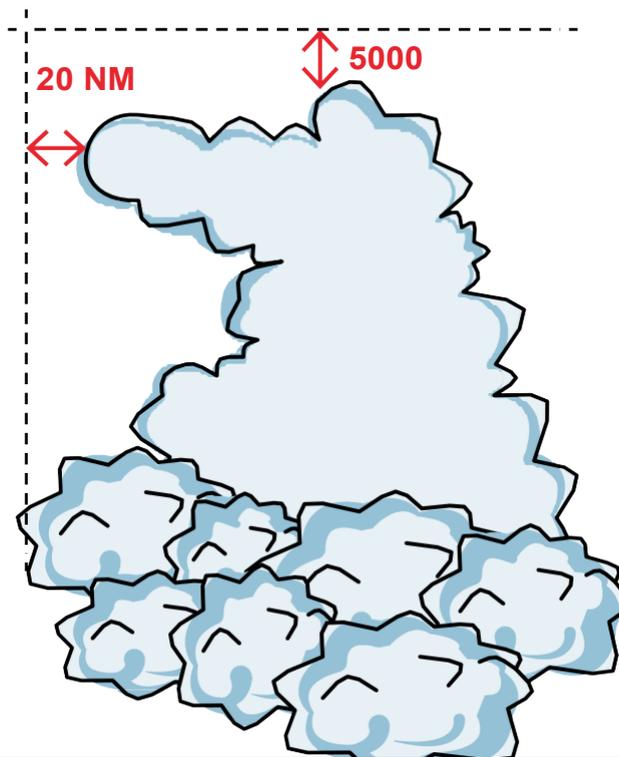
toutes les indications (jugement visuel, radar météorologique, rapport météorologique, rapport du pilote, etc) avant de prendre la décision finale.

- S'il est impossible d'éviter le survol d'un nuage convectif, appliquer une marge verticale de 5 000 pieds (fig. 21).

FONCTIONS D'EXPLOITATION

Utilisation optimale du radar météorologique

“ Si possible, il est préférable d'effectuer un évitement latéral plutôt qu'un évitement vertical. ”



(fig.21)

Marges de contournement latérales et verticales

Exemple pratique : scénario typique d'une stratégie d'évitement des phénomènes météorologiques violents

La figure 22 montre un écran radar météorologique typique indiquant plusieurs zones de temps violent. Quel itinéraire serait l'option à privilégier ?

Route A :

c'est la route la plus directe vers la destination, mais elle traverse la zone la plus sévère et la plus active ; c'est donc le chemin qui comporte le plus de risques et ne devrait pas être une option.

Route B :

cet itinéraire pourrait être tentant car il ne nécessite que peu de déviation par rapport à l'itinéraire principal et il semble que les zones rouges les plus actives soient évitées. Néanmoins, cette trajectoire mène sous le vent de la zone convective, ce qui augmente le risque de rencontrer du temps violent. De plus, les cellules convectives en dessous peuvent se développer rapidement et vers le haut, comblant ainsi l'écart entre les zones rouges. Avant d'envisager cette option,

t incliner l'antenne radar vers le bas pour analyser les conditions météorologiques et voir ce qui se trouve sous l'espace apparent.

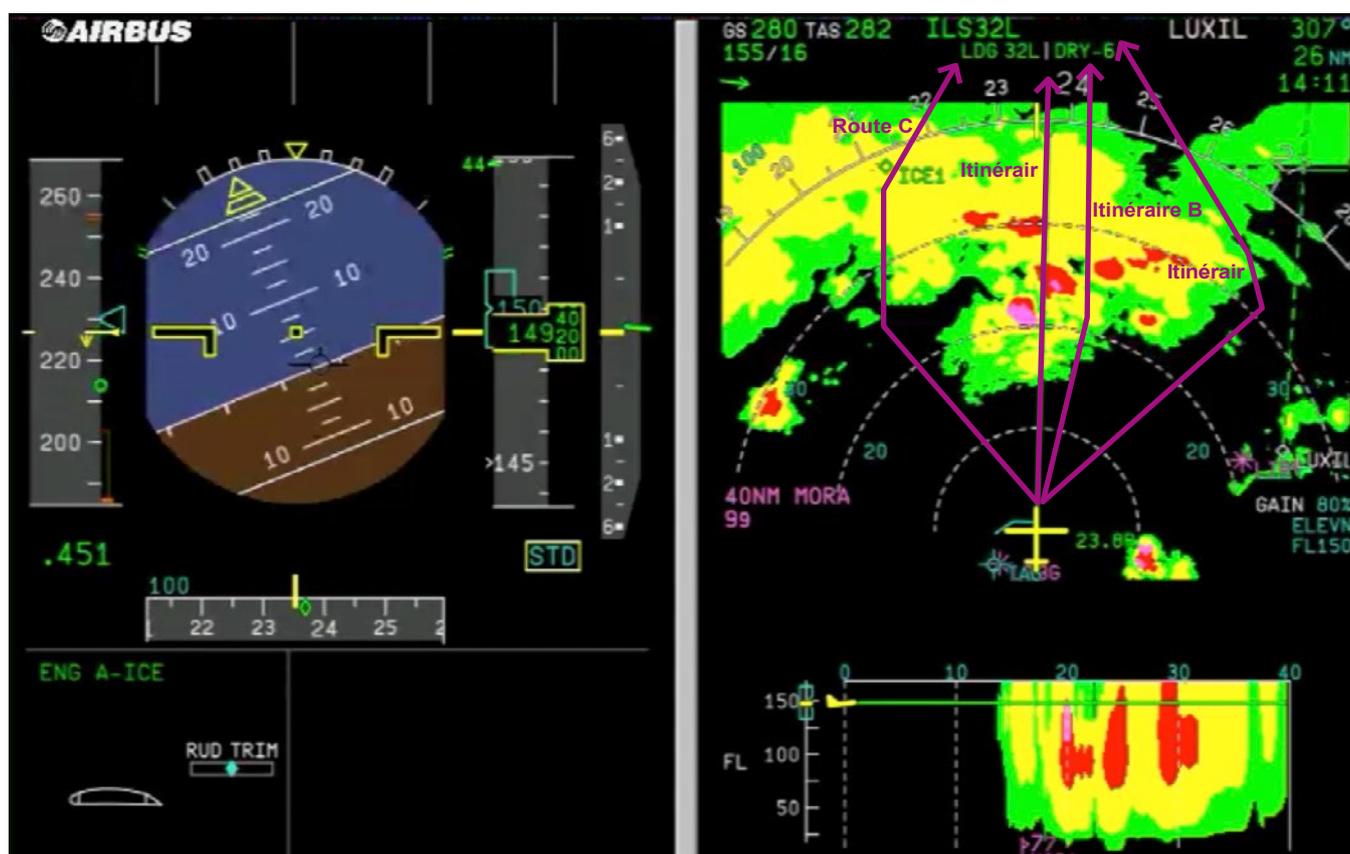
Route C :

cet itinéraire ressemble à une voie d'évacuation possible car il contourne la plupart des tempêtes avec une grande marge de sécurité. Cependant, ce faisant, l'équipage de conduite devrait garder un oeil sur la cellule située à gauche de cette route et voir si elle se développe rapidement ou non. De plus, cette route s'éloigne du plan de vol initial et pourrait donc avoir des implications opérationnelles telles que la consommation de carburant ou des retards.

Route D :

cette voie serait l'option préférable en termes d'atténuation des risques.

Face à une situation où les conditions météorologiques à venir révèlent l'existence d'un vaste système de tempête, plusieurs options sont toujours possibles. Avant que l'équipage de conduite ne prenne une décision, il est prudent d'analyser soigneusement les conditions météorologiques en balayant l'expansion verticale des diverses cellules et, si possible, d'envisager un autre itinéraire.



(fig.22)

Options disponibles pour éviter les intempéries

Quelle que soit la façon dont vous localisez une zone de temps violent - visuellement, par radar ou à partir d'un rapport - le temps est un paramètre clé d'une planification de route réussie et d'une stratégie d'évitement. Le radar météorologique, et plus particulièrement les modèles améliorés, peuvent vous aider à analyser et à comprendre avec précision le temps lointain et à évaluer les scénarios météorologiques à distance. Ce système est un outil clé pour planifier à l'avance afin d'éviter les décisions de dernière minute et prendre la décision de contourner une cellule convective désagréable avec une marge de sécurité confortable. En plus de la technologie, vous devez rester actif dans le maintien de la conscience de la situation tout au long du vol. Complétez

régulièrement les images radar affichées par un balayage vertical manuel des cellules environnantes, ainsi que par des réglages de gain et d'inclinaison si nécessaire. Enfin, et ce n'est pas le moins important, respectez vos connaissances de base en météorologie, de la climatologie locale et des exposés météorologiques afin d'adopter la meilleure ligne de conduite à adopter et de naviguer en toute sécurité, efficacement et confortablement vers votre destination.