

La gestion du spectre radioélectrique : organisations, enjeux et risques pour la météorologie et les sciences du climat

Éric Allaix

Département coordination nationale des fréquences, Direction des systèmes d'observation, Météo-France, Toulouse

eric.allaix@meteo.fr

Résumé

Notre société est de plus en plus sensible aux conditions météorologiques et de moins en moins tolérante envers les observations, prévisions et alertes météorologiques inexactes. Par conséquent, les gouvernements et la société exigent des améliorations continues des prévisions météorologiques et des alertes pour pouvoir gérer les risques croissants et les effets associés aux conditions météorologiques extrêmes (inondations, sécheresses, incendies de forêt...). Sont aussi demandées des informations météorologiques plus nombreuses et plus fiables en temps réel pour des raisons économiques et de sécurité, parfois même pour un usage privé. Le spectre radioélectrique est une ressource indispensable à la collecte de données d'observations météorologiques en vue de répondre à ces demandes. Cette ressource rare et essentielle, qui ne connaît pas les frontières et fait l'objet de beaucoup de convoitises, en particulier du monde « télécoms » (5G, satellites de communication...), nécessite une gestion constante et rigoureuse aux niveaux national et international afin d'assurer sa protection et de pérenniser son utilisation.

Les fréquences radioélectriques sont une ressource naturelle, rare, irremplaçable et essentielle pour de très nombreuses activités des secteurs public et privé. C'est le cas notamment pour les services météorologiques nationaux, partout dans le monde, qui doivent collecter, mesurer et analyser les données d'observation afin de réaliser les prévisions et les alertes qu'implique leur mission de sécurité des personnes et des biens.

Les enjeux sociétaux (transports, aménagement du territoire, pluralisme des médias...), économiques (industriels, commerciaux) et stratégiques (défense, sécurité) sont tels qu'il est très tôt apparu crucial de mettre en place une gestion du spectre radioélectrique optimale, rationnelle et efficace afin d'en assurer un partage équilibré et de limiter les risques de brouillage. Cette gestion s'opère aujourd'hui à trois niveaux : national, régional au sens de l'UIT1 et international.

Cette organisation à trois niveaux a pour objectif d'assurer la pérennité à moyen et long terme des investissements réalisés, en phase avec l'harmonisation internationale. De plus, cette approche, en ce qui concerne la communauté météorologique et climatologique, crée les conditions

permettant la collecte du même type de données sur le long terme et dans des conditions similaires afin de pouvoir analyser sans biais les évolutions observées et ainsi suivre et anticiper au mieux les changements climatiques.

La gestion du spectre radioélectrique décrite dans cet article couvre une fenêtre allant de 8 kHz à 1 000 GHz correspondant aux ondes radio et aux micro-ondes du spectre électromagnétique. Dans cette fenêtre, les bandes de fréquences radioélectriques² opérées par les différentes agences météorologiques dans le monde ont pour beaucoup des caractéristiques spécifiques (pour assurer une bonne propagation en particulier) et surtout sont harmonisées au niveau mondial, ce qui représente un intérêt majeur pour les industriels et opérateurs de communications, car source d'économies d'échelle sur les équipements de communications.

Cette ressource rare et convoitée nécessite d'être protégée et utilisée avec efficacité.

1. UIT : Union internationale des télécommunications, pour laquelle le monde est divisé en trois grandes régions.

2. Une bande de fréquences est une plage de fréquences dans laquelle un équipement radioélectrique peut opérer.

Abstract

Radio spectrum management: organizations, challenges and risks for meteorology and climate sciences

Our society is more and more sensitive to weather and less tolerant to inaccurate weather observations, forecasts and warnings. As a result, governments and society are demanding continuous improvements in weather forecasts and warnings to be able to manage the growing risks and associated effects from severe weather (floods, droughts, wildfires, etc.). In addition, more reliable weather information in real time for economic and safety reasons, and even for private use are requested. Radio spectrum is the essential resource for collecting meteorological observations data to meet these demands. This rare and essential resource, which is borderless and subject to a lot of covetousness, in particular from the "telecom" community (5G, communication satellites...), requires a constant and rigorous management at the national and international levels to ensure its protection and perpetuate its use.

Les besoins des services météorologiques et scientifiques

La figure 1 présente les divers types d'équipements déployés pour la collecte de données météorologiques.

Celle-ci s'appuie sur différents types d'équipements radioélectriques :

- des radiosondes effectuant leurs observations *in situ* depuis des ballons dérivants et utilisant des fréquences autour de 403 MHz pour communiquer ces données au sol ;
- des radars météorologiques à des fréquences de 2,8, 5,6 et 9,4 GHz (permettant principalement la quantification et le suivi des précipitations), mais aussi à des bandes de fréquences plus élevées de 24, 35 et 95 GHz (pour les mesures relatives aux hydrométéores ou aux nuages) ;
- des radars profileurs de vent qui émettent à des fréquences entre 45 et 1 280 MHz ;
- des capteurs de foudre opérant essentiellement dans les bandes basses du spectre (de quelques kilohertz à environ 150 MHz) ;
- des radiomètres passifs terrestres qui permettent de mesurer certaines caractéristiques relatives à la composition gazeuse de l'atmosphère dans les gammes de fréquences 20/30, 50/60, 90, 150 ou 183 GHz ;
- des satellites météorologiques (plates-formes de collecte de données notamment) et d'observation de la Terre (capteurs actifs et passifs) couvrant une très large gamme de fréquences.

Enfin, pour des besoins de diffusion des informations météorologiques, les services météorologiques utilisent les capacités de satellites commerciaux dans les bandes C (3,8-4,2 GHz) et Ku (11-12 GHz). Au niveau national, ces stations terriennes sont notifiées après accord de l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes (Arcep).

La gestion des fréquences

Au niveau national

La loi du 26 juillet 1996 sur la réglementation des télécommunications a défini un nouveau cadre de gestion nationale du spectre radioélectrique. Une Agence nationale des fréquences (ANFR) a été créée, ainsi que des affectataires de fréquences, utilisateurs « en gros » du spectre radioélectrique pour leurs propres besoins ou au profit d'opérateurs (figure 2).

Météo-France est affectataire de bandes de fréquences qu'elle utilise pour déployer les différents équipements d'observation. Météo-France opère également dans des bandes de fréquences dont l'affectataire est le Cnes³ essentiellement dans le domaine des observations par satellite. L'annexe 1 précise les différentes bandes de fréquences attribuées, par système utilisé, pour les besoins météorologiques.

Pour répondre aux missions qui lui ont été confiées par cette loi, l'ANFR a mis en place différents comités et commissions consultatives lui permettant de prendre des décisions en étroite collaboration avec les affectataires et l'ensemble des acteurs impliqués (opérateurs mobiles, opérateurs télévisuels, industriels...).

Le pouvoir politique contrôle cependant les décisions par une représentation des ministres au Conseil d'administration de l'ANFR et les décisions importantes relèvent *in fine* du Premier ministre.

Parmi les décisions importantes qui relèvent de l'ANFR, mentionnons :

- l'approbation du tableau national de répartition des bandes de fréquences. Ce tableau attribue, à chaque affectataire, le spectre radioélectrique

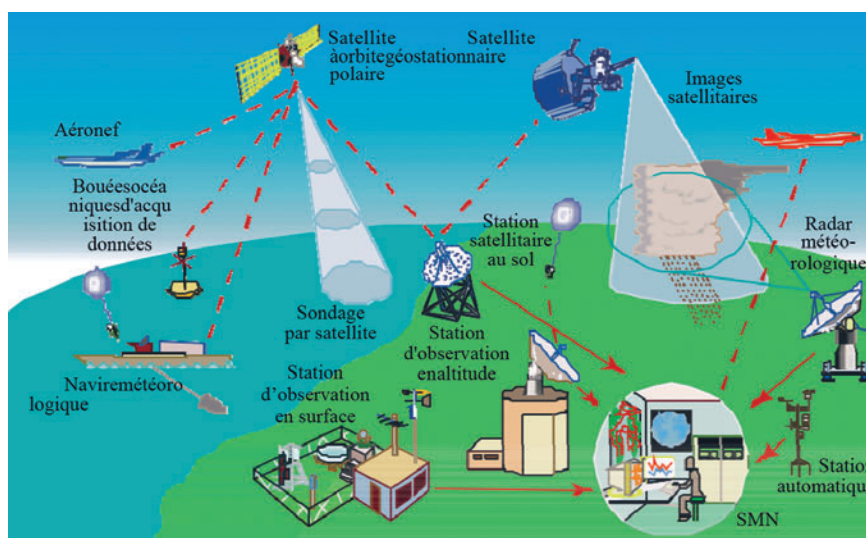
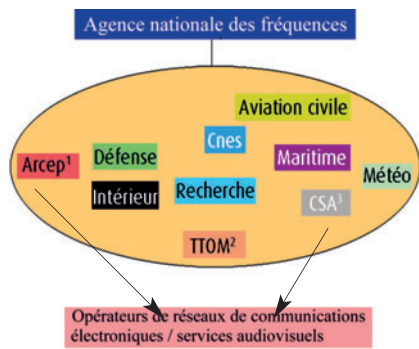


Figure 1. Différents équipements de collecte de données météorologiques qui convergent vers les services météorologiques nationaux (SMN sur le diagramme). Source : UIT/OMM (2017).

3. Centre national d'études spatiales.



1. Arcep : Autorité de régulation des communications électroniques et des postes
2. TTOM : Télécommunications sur les territoires français d'Outre-mer
3. CSA : Conseil supérieur de l'audiovisuel

Figure 2. L'Agence nationale des fréquences (ANFR) et les différents affectataires nationaux.

correspondant à ses compétences et est révisé régulièrement en fonction des évolutions réglementaires et des utilisations du spectre. Il fait l'objet d'un arrêté signé du Premier ministre. Un feuillet de ce tableau est présenté en annexe 2 ;

- les mandats élaborés dans le cadre des comités et commissions idoines pour les conférences mondiales dont la description et les enjeux sont détaillés plus loin dans cet article.

Quelques-unes des responsabilités de l'ANFR sont détaillées ci-après :

- le maintien et la mise à jour des bases de données de l'ensemble des équipements radioélectriques déployés sur le territoire national. Cette base notariale garantit les droits des utilisateurs du spectre et la pérennité des investissements réalisés par une double procédure déclarative, avant tout déploiement d'une station radioélectrique, pour d'une part assurer la compatibilité électromagnétique globale du site visé (beaucoup de sites sont partagés entre plusieurs utilisateurs) et d'autre part assigner le canal radioélectrique opéré grâce à la prise en compte des caractéristiques précises de l'équipement (puissance, largeur de bande...) et du système antenne (diamètre, gain, azimut visé...);

chaque projet d'installation, après coordination et accord de l'ensemble des utilisateurs d'une même bande de fréquences, est enregistré dans les bases de données de l'ANFR suivant la règle de base : premier arrivé, premier servi !

- appliquer ces procédures impose une anticipation quant au déploiement d'un équipement radioélectrique (le délai global étant d'environ 6 mois), mais permet d'acquiescer des droits d'utilisation et surtout de protection contre les brouillages ;

- la constitution, mise à jour et diffusion de la documentation relative aux servitudes radioélectriques. La réglementation permet d'établir des servitudes radioélectriques contre les obstacles et les perturbations électromagnétiques. Cette procédure longue (environ 2 ans) et coûteuse (paiement d'un commissaire enquêteur, publication dans différents journaux...) permet d'assurer la pérennité de certains équipements, comme c'est le cas pour les radars de Météo-France. Les assiettes de ces servitudes sont inscrites dans les plans locaux d'urbanisme des communes. Météo-France est ainsi consulté pour tout projet urbain (immeuble, pylône...) ou d'installation radioélectrique dans des rayons de respectivement 2 et 3 km autour du radar ;

- le contrôle de l'utilisation du spectre, les niveaux d'exposition du public aux champs électromagnétiques. C'est le rôle du gendarme du spectre de faire respecter la réglementation (toute émission doit être déclarée dans ses bases de données et conforme aux caractéristiques déclarées) et d'instruire les plaintes en brouillage ;

- la préparation des positions françaises et la coordination de l'action de la représentation française dans les négociations internationales dans le domaine des fréquences radioélectriques. C'est l'ANFR qui parle au nom de la France dans les instances internationales (européennes et mondiales détaillées ci-après). Ces prises de paroles sont cadrées dans la phase de préparation/négociation des cycles de conférences dans les comités et commissions présidées par l'ANFR et font l'objet d'un mandat approuvé par le Premier ministre pour les négociations finales de ces conférences.

Au niveau européen

Cinq acteurs principaux interviennent dans la gestion du spectre radioélectrique en Europe.

La Commission européenne (CE)

Deux directions générales sont directement impliquées dans la gestion du spectre : Connect et ENT. Celles-ci s'appuient sur le groupe pour la politique en matière de spectre radioélectrique (RSPG) et le comité du spectre radioélectrique (RSCoM).

Le RSPG rédige des avis et des rapports sur la politique du spectre en

général, en soutien à la Commission européenne.

Le RSCoM assiste la Commission pour l'application des décisions communautaires relatives au spectre des fréquences.

Météo-France ne participe en principe pas aux RSPG et RSCoM. En revanche, elle participe à la coordination menée par l'ANFR pour préparer les positions françaises sur les projets de mandats, les rapports et les projets de décisions européennes soumis au RSCoM.

Plusieurs textes européens font référence au partage des ondes radioélectriques, notamment celui du RSPG de novembre 2011 relatif à l'usage collectif du spectre et aux autres modalités de partage du spectre⁴, ainsi que la communication de la Commission européenne du 3 septembre 2012 intitulée « Encourager l'utilisation partagée des ressources du spectre radioélectrique dans le marché intérieur »⁵.

La Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications (CEPT)

La CEPT est composée de 48 membres. Elle est assistée dans ses travaux par le comité des communications électroniques (ECC) qui définit en particulier les conditions harmonisées d'utilisation des fréquences en Europe sur la base des attributions du Règlement des radiocommunications de l'Union internationale des télécommunications (UIT).

Ce comité rassemble les administrations, les représentants de l'industrie et des observateurs (tel qu'Eumetnet, voir plus loin). Il publie des décisions, des recommandations et des rapports techniques sur les possibilités ou pas de partage d'une même bande de fréquences par différents équipements.

L'ECC s'appuie sur trois principaux groupes de travail (technique, réglementaire et préparation des conférences mondiales) et fonctionne selon le principe du consensus ; ses décisions ne lient pas les administrations.

4. http://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2013/05/rspg11_392_report_CUS_other_approaches_final.pdf

5. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012DC0478&from=FR>

Une grande partie du travail habituel de l'ECC est pilotée par la Commission européenne par le biais de mandats ou requêtes de l'Institut européen de normalisation des télécommunications (ETSI) *via* son système de documents de référence.

Météo-France participe activement à ces différents groupes dès qu'un sujet impliquant directement ou indirectement une bande de fréquences utilisée par ses équipements est en discussion.

L'Institut européen de normalisation des télécommunications (Etsi)

L'Etsi produit les normes permettant notamment d'assurer la conformité avec la directive sur les équipements radioélectriques (RED) qui régit la mise sur le marché commun des transmetteurs radioélectriques. Les radars météorologiques sont tout récemment entrés dans le cadre de la directive RED et Météo-France a épaulé les industriels pour s'assurer que les travaux de normalisation des radars étaient bien conformes à la réglementation mise en œuvre au sein de la CEPT.

Le réseau européen des services météorologiques (Eumetnet)

Eumetnet est composé des services météorologiques de 31 pays européens dont les activités sont articulées autour de différents programmes (observation, prévisions, climat...). Concernant la gestion des fréquences, le programme Eumetfreq a pour objectifs :

- le suivi de toute activité susceptible d'impacter les intérêts de la communauté météorologique, en particulier dans le cadre des activités de l'ECC par une participation active aux réunions pertinentes ;
- la coordination avec les experts (membres d'Eumetnet et membres associés), afin d'élaborer des positions communes et d'identifier les actions nécessaires ;
- la représentation d'Eumetnet au sein du groupe de pilotage de la coordination des radiofréquences (SG-RFC) de l'Organisation météorologique mondiale.

Des réunions régulières d'Eumetfreq sont organisées afin de préparer les réunions au niveau européen, notamment au sein de l'ECC, mais également pour que chaque service météorologique national puisse agir

auprès de son autorité de régulation nationale pour défendre au mieux les intérêts de la communauté météorologique au niveau international. Ces actions visent à faciliter et à améliorer les actions d'Eumetfreq lors des réunions européennes sur la gestion des fréquences et du processus de décision, en permettant une meilleure compréhension des préoccupations d'Eumetnet et un soutien plus large aux positions élaborées dans le cadre de la préparation de la Conférence mondiale des radiocommunications détaillées dans cet article.

L'Organisation européenne pour l'exploitation des satellites météorologiques (Eumetsat)

Eumetsat est une organisation intergouvernementale créée en 1986. Elle opère les satellites météorologiques européens et fournit aux services météorologiques nationaux de ses 30 États membres ainsi qu'à d'autres utilisateurs dans le monde entier des données satellitaires, images et produits d'observation, de prévision du temps et sur les évolutions climatiques.

Une étroite collaboration et coordination entre les représentants d'Eumetsat, d'Eumetnet et de Météo-France est établie afin d'anticiper au mieux les évolutions réglementaires et techniques d'utilisation du spectre radioélectrique, notamment dans le cadre de la préparation des Conférences mondiales des radiocommunications (voir ci-dessous).

Au niveau mondial

L'Union internationale des télécommunications (UIT) est une institution spécialisée des Nations unies chargée de faciliter le développement des réseaux et des services de télécommunications dans le monde par l'intermédiaire d'une législation, d'un consensus mutuel et d'une action coopérative. Elle est organisée en trois secteurs : développement, télécommunications et radiocommunications.

Le secteur du développement des télécommunications (UIT-D) fournit une assistance technique aux pays en développement, notamment pour assurer le développement et la modernisation des réseaux de télécommunications.

Le secteur des télécommunications (UIT-T) produit principalement des recommandations normatives qui définissent les modalités d'exploitation et d'interfonctionnement des réseaux de télécommunication.

Le secteur des radiocommunications (UIT-R) couvre l'ensemble des utilisations du spectre (systèmes d'observation, de radioastronomie, faisceaux hertziens, satellites, aéronautique, mobiles...). Ses principales missions sont l'élaboration des caractéristiques techniques des systèmes radioélectriques terrestres et spatiaux. Pour cela, il effectue des études techniques sur lesquelles sont fondées les décisions d'ordre réglementaire prises par les Conférences mondiales des radiocommunications. Ses recommandations et rapports sont les textes de référence utilisés pour toutes les études de compatibilité entre systèmes. Son Règlement des radiocommunications (RR), traité international, est la référence réglementaire d'attribution des bandes de fréquences des agences nationales de réglementation des radiocommunications pour l'élaboration et l'évolution du cadre réglementaire national.

Le rôle de l'UIT-R au niveau mondial rejoint le rôle de chaque agence nationale de gestion du spectre radioélectrique, à savoir l'attribution des bandes de fréquences, l'enregistrement des assignations de fréquences, y compris les positions orbitales associées dans une base de données mondiale, ce qui permet d'éviter et, si besoin, d'aider au traitement des brouillages préjudiciables entre les stations de radiocommunication des différents pays.

Les ondes radioélectriques ne connaissant pas les frontières, afin d'en faciliter leur gestion, le spectre radioélectrique au niveau mondial s'articule autour de trois régions (figure 3).

Sur la base notamment de ce découpage géographique, l'UIT-R élabore le Règlement des radiocommunications (RR), traité international présenté en quatre volumes, dans lequel est spécifié l'ensemble des dispositions de gestion du spectre radioélectrique (réglementaires, techniques, résolutions et recommandations).

Ce Règlement est révisé lors des Conférences mondiales des radiocommunications (CMR) par les administrations et les membres du secteur.

Le RR étant un traité international, il a un caractère contraignant pour les États membres de l'UIT.

Les CMR ont lieu en général tous les quatre ans et durent quatre semaines. Les quatre années sont utilisées, d'une part pour réaliser les études de compatibilité indispensables pour répondre aux différents points élaborés lors de la précédente CMR et, d'autre part pour élaborer des positions communes au niveau national, puis régional afin d'aboutir à des décisions lors des CMR qui valideront les évolutions réglementaires applicables au niveau mondial par modification du Règlement des radiocommunications.

La figure 4 présente les différentes interactions possibles entre les nombreux acteurs et entités nationales, régionales et internationales, avec un zoom sur les échanges et coordinations réalisés au sein de la communauté météorologique.

Tout changement de réglementation, pour être efficace et mis en œuvre de façon effective, doit être négocié. Le processus détaillé sur la figure 4 montre que l'essentiel se décide au niveau international à travers de nombreuses négociations pilotées par les États membres, mais aussi fortement influencées par les organisations sectorielles telles que l'OACI⁶, l'Otan⁷ et bien sûr l'OMM⁸. Un levier qui demande une coordination importante au sein des agences météorologiques nationales, mais qui s'avère efficace quand les positions nationales ne prennent pas suffisamment en compte les intérêts météorologiques.

Il est cependant intéressant de préciser qu'au niveau de l'UIT, comme dans toute agence rattachée à l'ONU, un pays vaut une voix (le Vatican pèse aussi lourd que les États-Unis). Bien que l'objectif soit de ne jamais arriver au vote pour répondre à un point de l'ordre du jour d'une conférence mondiale, avoir un document proposant des positions européennes communes, qui représente 48 voix, pèse sur les négociations. Tout est cependant mis en œuvre pour que chaque décision s'obtienne par consensus. Il faut convaincre plutôt qu'imposer, ce qui oblige à une négociation permanente à tous les niveaux.

Depuis plusieurs années, les évolutions réglementaires ont essentiellement eu pour objectif de répondre aux

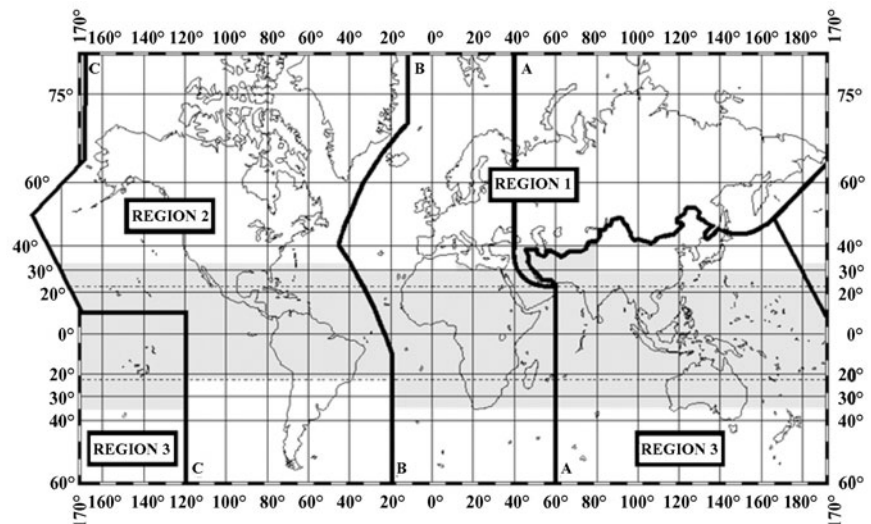


Figure 3. Contour des trois régions de l'UIT-R. La Région 1 comprend la zone limitée à l'est par la ligne A et à l'ouest par la ligne B, à l'exception du territoire de la République islamique d'Iran situé entre ces limites. Elle comprend également l'ensemble des territoires de l'Arménie, de l'Azerbaïdjan, de la Fédération de Russie, de la Géorgie, du Kazakhstan, de la Mongolie, de l'Ouzbékistan, du Kirghizistan, du Tadjikistan, du Turkménistan, de la Turquie et de l'Ukraine, et la zone au nord de la Fédération de Russie entre les lignes A et C. La Région 2 comprend la zone limitée à l'est par la ligne B et à l'ouest par la ligne C. La Région 3 comprend la zone limitée à l'est par la ligne C et à l'ouest par la ligne A, à l'exception du territoire des pays suivants : Arménie, Azerbaïdjan, Fédération de Russie, Géorgie, Kazakhstan, Mongolie, Ouzbékistan, Kirghizistan, Tadjikistan, Turkménistan, Turquie et Ukraine et de la zone au nord de la Fédération de Russie. Elle comprend également la partie du territoire de la République islamique d'Iran située en dehors de ces limites. Source : UIT (2016).

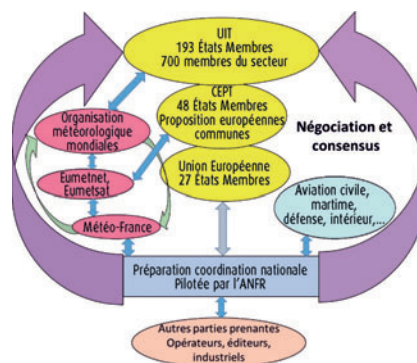


Figure 4. Exemple d'interactions entre acteurs dans le cadre de la préparation d'une Conférence mondiale des radiocommunications.

demandes croissantes de besoins en spectre radioélectrique pour les communications mobiles, avec comme clés des économies d'échelle, le développement des marchés grand public et l'harmonisation internationale des utilisations.

Ce besoin et le poids économique du secteur mobile dans tous les pays créent une pression sur l'ensemble du spectre radioélectrique, notamment celui opéré pour les observations météorologiques, et nécessitent un travail important en amont de défense et de protection des bandes de fréquences.

L'ordre du jour de la prochaine CMR, programmée fin 2019, confirme cette situation.

Le groupe directeur pour la coordination des fréquences radioélectriques de l'OMM (SG-RFC en anglais) est un groupe d'experts de la commission des systèmes de base de l'OMM. Il est notamment chargé de la coordination, avec d'autres commissions techniques de l'OMM et les membres de l'OMM, de la disponibilité du spectre des fréquences radioélectriques pour les services de radiocommunications météorologiques et autres services de surveillance de l'environnement, de l'utilisation future du spectre des fréquences radioélectriques à des fins météorologiques. Il doit également élaborer et coordonner des propositions et des avis aux membres de l'OMM sur les questions réglementaires relatives aux activités météorologiques dans les différentes commissions et réunions traitant des radiocommunications aux niveaux mondial et régional.

Pour cela, le SG-RFC assure la coordination des activités d'utilisation des fréquences de l'OMM avec d'autres organisations internationales traitant de questions de gestion du spectre radioélectrique, y compris des groupes spécialisés tel que le Groupe de coordination des fréquences spatiales (SFCG voir ci-dessous) et des

6. Organisation de l'aviation civile internationale.

7. Organisation du traité de l'Atlantique Nord.

8. Organisation météorologique mondiale.

organisations de télécommunications régionales telles que la CEPT, la Commission interaméricaine des télécommunications (Citel), la commission des télécommunications pour l'Asie et le Pacifique (APT), le Commonwealth régional dans le domaine des communications (RCC), l'Union africaine des télécommunications (ATU) et le Groupe arabe de gestion du spectre (ASMG).

Le groupe de coordination des fréquences spatiales (SFCG en anglais) est le principal collègue d'agences spatiales sur les fréquences radioélectriques et d'organisations nationales et internationales associées, grâce auquel les ressources de spectre des systèmes spatiaux mondiaux sont judicieusement exploitées au profit de l'humanité. Météo-France participe à ce groupe dans le cadre de l'étroite collaboration que l'organisme entretient avec le Cnes. En effet, les données issues des satellites d'observation de la Terre, gérés par le Cnes, sont utilisées par Météo-France, notamment pour les études sur le climat.

Brouillages et potentiels risques à venir

Brouillages

En France et en Europe, les radars météorologiques opérant en bande C (5 600-5 650 MHz) subissent depuis plus de 10 ans de nombreux brouillages dus au déploiement de systèmes WiFi

utilisant la même bande de fréquences. Les figures 5 et 6 illustrent l'impact de ces brouillages sur les images radar.

C'est en 2003, lors de la CMR-03, qu'une nouvelle attribution permettant le déploiement de systèmes WiFi dans la bande de fréquences dédiée aux radars a été décidée. Des contraintes étaient associées à une telle possibilité, notamment un système de sélection dynamique du canal dans lequel le WiFi pourrait opérer, le principe de ce système étant une écoute préalable de la fréquence afin de détecter si un radar météorologique fonctionne sur cette fréquence. Dans l'affirmative, le système change de canal, écoute de nouveau et ainsi de suite jusqu'au moment où il trouve un canal « libre ».

Alors pourquoi de tels brouillages ? Tout d'abord du fait que l'utilisation de fréquences pour des besoins WiFi est libre de droit. C'est-à-dire qu'elle ne nécessite ni déclaration préalable ni délivrance d'autorisation d'émettre dans la mesure où elle respecte les conditions techniques stipulées dans la décision élaborée par l'Arcep sur la base de la normalisation approuvée par l'ETSI. Ensuite, les applications offertes par ce type d'équipement sont nombreuses (accès internet, ouverture de porte, lien point à point...) et s'adressent à un large public, synonyme de prolifération importante et de possibilité d'achat dans des pays où la norme des équipements et la réglementation applicable ne sont pas aussi sévères (problème de la mise sur le marché européen et de son contrôle).

Cet exemple montre ainsi l'intérêt majeur d'une convergence des réglementations, puisque l'absence de

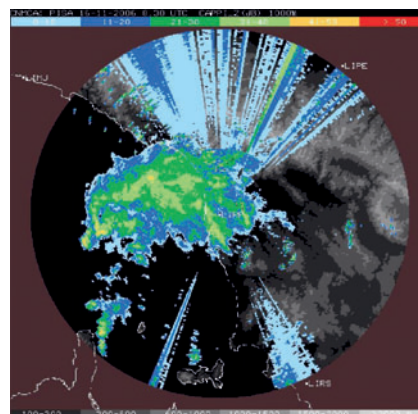


Figure 6. Brouillages de l'image radar de Pise. Source : UIT/OMM (2017).

prise en compte de l'ensemble de la problématique lors de la décision en 2003 a créé les conditions des brouillages subis. Il montre aussi le décalage dans le temps entre une décision et ses impacts opérationnels (environ dix ans), d'où le besoin d'anticipation et de veille active du domaine.

Risques potentiels à venir

Les risques à venir sont essentiellement liés aux décisions qui seront prises lors de la CMR prévue fin 2019 qui conditionneront les travaux et évolutions réglementaires de la prochaine décennie.

Sur les plus de 20 points à l'ordre du jour de la CMR-19, douze sont d'intérêt majeur (auxquels s'ajoutent six suivis de près) pour la communauté météorologique et climatologique. Deux d'entre eux sont présentés ici à titre d'exemples.

Établissement de limites opérationnelles dans la bande 401-403 MHz pour les services de météorologie et d'observation de la Terre par satellite

La bande de fréquences 401-403 MHz a été identifiée il y a plusieurs dizaines d'années pour accueillir les opérations de systèmes météorologiques. À cette époque, la pression sur le spectre radioélectrique n'était pas du tout la même qu'aujourd'hui, la plupart des utilisations étaient réparties en dessous de 1 GHz (télévisions, radio, radioastronomie, communications aéronautiques). Cette identification n'est donc pas liée à des qualités techniques particulières de cette partie du spectre, mais plutôt le résultat de

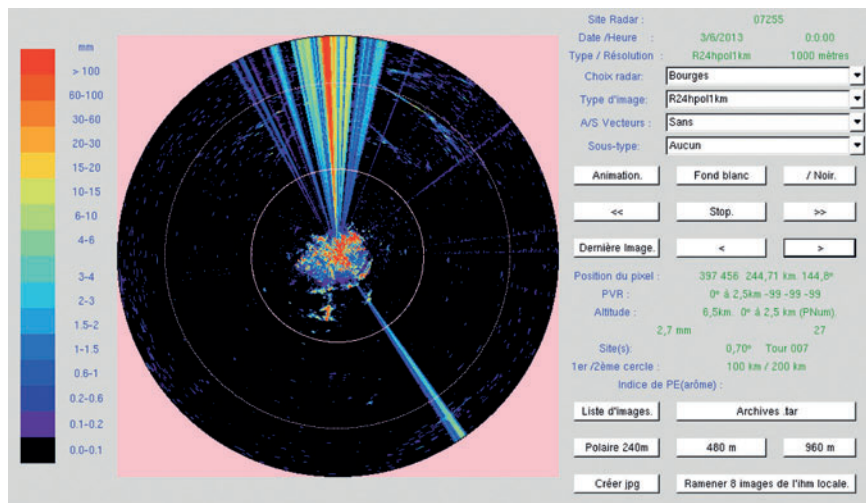


Figure 5. Brouillages de l'image radar de Bourges. Source : Météo-France.

négociations de répartition entre différents usages. Aujourd'hui, cette portion du spectre est très utilisée pour les radiosondes et les plates-formes de collecte des données par satellites météorologiques géostationnaires et défilants. L'objectif du point concerné est d'établir des limites de puissance dans cette bande de fréquence et d'assurer ainsi la protection à long terme des systèmes ci-dessus vis-à-vis des souhaits d'utilisation de cette bande, notamment par les nano et picosatellites.

Les nano et picosatellites (type CubeSat) sont des satellites de 1 à 10 kg utilisés pour des missions à coût limité effectuées par un engin spatial unique dont la durée de vie est généralement inférieure à trois ans, et pour lequel l'opérateur ne lance pas de satellite de ravitaillement ou de remplacement. Cette durée limitée ne permet pas de réaliser la procédure habituelle beaucoup plus longue de coordination et de notification des satellites. Les utilisateurs des nano et picosatellites, essentiellement des universités avec de plus en plus de missions à caractère météorologique ou climatologique créant par conséquent un conflit d'intérêts, sont à la recherche de bandes de fréquences pour opérer, notamment dans la bande 401-403 MHz pour laquelle de nombreuses demandes sont reçues et, jusqu'à présent, refusées eu égard aux risques de brouillages sur les systèmes existants.

Afin d'assurer la pérennité d'utilisation de la bande de fréquences 401-403 MHz et compte tenu de l'absence de

procédure de coordination pour ces types de satellite et du risque de leur prolifération importante, la communauté météorologique a proposé ce point à l'ordre du jour et a fixé des limites maximales de puissance isotrope rayonnée équivalente applicables uniquement aux systèmes par satellites, que les plates-formes de collecte respectent déjà. Ces limites doivent encore être acceptées et validées au cours de la CMR-19.

Déterminer les besoins des futurs systèmes mobiles (5G) dans la gamme de fréquences comprise entre 24-25 et 86 GHz, ainsi que leur compatibilité électromagnétique avec les services existants

Les risques soulevés par ce point concernent la protection des satellites météorologiques et d'observation de la Terre (à l'aide de capteurs actifs et passifs) en cofréquence (réception des satellites par des stations terriennes) et en bandes adjacentes (observation spatiale par capteurs passifs).

Le capteur actif émet et reçoit à bord. Il éclaire la cible et mesure le rayonnement réfléchi par celle-ci. Il y a donc émission d'une forte puissance radioélectrique et détection d'un très faible niveau de signal, actions souvent réalisées par le même équipement (radar, lidar...). Cette particularité impose des contraintes importantes pour le partage des fréquences. Le capteur passif est un

récepteur qui capte les rayonnements d'origine naturelle de très faible intensité provenant du système Terre-atmosphère.

Ces capteurs utilisent de nombreuses techniques d'observation qui couvrent une large gamme de longueurs d'onde du spectre électromagnétique, allant des rayons gamma aux ondes radio. L'intérêt des bandes de fréquences du spectre radioélectrique pour l'observation de la Terre et de sa surface réside tout simplement dans les lois du rayonnement. Ainsi, ne sont intéressantes que certaines parties du spectre micro-ondes (cf. annexe 1), parce que l'on y trouve les bandes d'absorption de l'oxygène, de la vapeur d'eau ou d'autres composants atmosphériques. Le rayonnement reçu par le satellite, qui porte la trace de cette absorption, permet de mesurer certains constituants atmosphériques ou est assimilé dans des analyses et des modèles de prévision météorologiques qui fournissent des cartes de composants tels que la température, l'humidité ou la teneur en eau liquide (figure 7).

Les caractéristiques d'absorption de l'atmosphère sont marquées par des crêtes attribuables à la résonance moléculaire des gaz atmosphériques et par le continuum de la vapeur d'eau, qui augmente sensiblement en fonction de la fréquence.

Un grand avantage des micro-ondes est que, contrairement à l'infrarouge, elles permettent de sonder à travers les nuages. Cela présente un intérêt considérable pour l'observation de la Terre, puisque près des deux tiers du globe sont généralement couverts de nuages. Outre cette possibilité d'observer la Terre quelles que soient les conditions météorologiques, des capteurs passifs dans les micro-ondes peuvent également faire leurs mesures à toute heure du jour ou de la nuit, étant insensibles à la lumière du Soleil ou de la Lune.

Il est à noter que l'intensité des signaux à une fréquence donnée dépendant souvent de diverses variables, l'utilisation de plusieurs fréquences afin de résoudre les multiples inconnues est souvent nécessaire. C'est la technique la plus courante pour mesurer certaines caractéristiques de l'atmosphère et de la surface de la Terre.

Vis-à-vis de la protection des bandes de fréquences pour l'observation de la Terre par capteur spatial passif, les études réalisées dans les groupes techniques de l'UIT pour toutes les bandes de

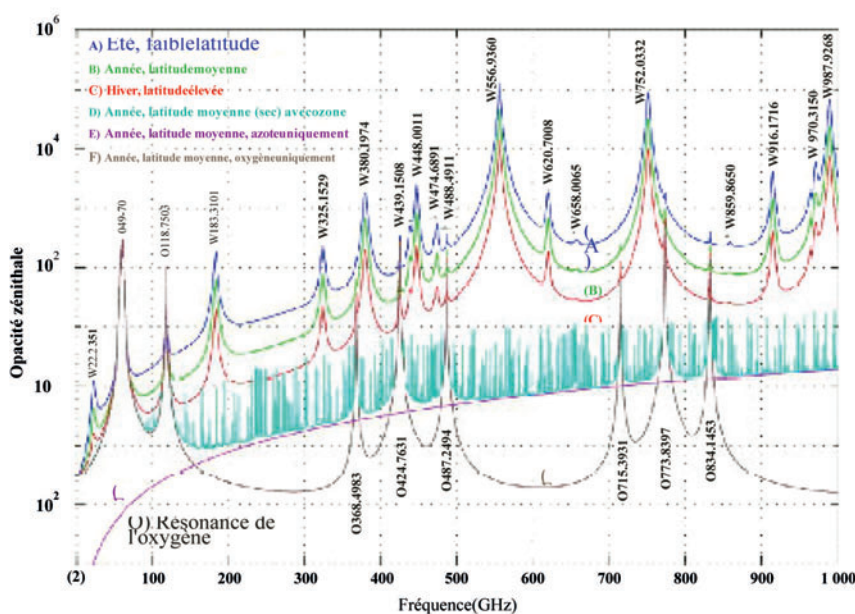


Figure 7. Opacité zénithale de l'atmosphère due à la vapeur d'eau et aux constituants mineurs en fonction de la fréquence. Source : UIT/OMM (2017).

fréquences adjacentes à celles visées pour des utilisations de mobiles montrent la nécessité d'une réduction drastique des rayonnements radioélectriques des futurs systèmes mobiles en dehors de leurs bandes de fréquences de fonctionnement. Malgré ces études, le fort lobbying des industriels et opérateurs mobiles et leur poids économique ont convaincu certaines administrations de soutenir qu'il n'était pas nécessaire de réduire le niveau de ces émissions hors bande. Si une telle approche devait être entérinée, ce serait une catastrophe pour les communautés météorologique et scientifique.

Concernant la protection des stations terriennes de réception existantes des satellites météorologiques et d'observation de la Terre, l'approche est de définir une zone d'exclusion/coordination autour de ces stations. Les résultats des études actuelles montrent des distances comprises entre 3 et 10 km, ce qui peut être très contraignant pour le déploiement d'un réseau de téléphonie mobile lorsque ces stations terriennes se situent à proximité de métropoles. La problématique est encore plus sérieuse vis-à-vis du déploiement de futures stations terriennes. En effet, le risque existe de se retrouver dans une situation, une fois le réseau téléphonique mobile déployé, d'impossibilité de déploiement de nouvelles stations terriennes de réception et donc, à terme, d'un réseau satellitaire figé et in fine partiellement inexploitable. Une méthodologie appropriée est donc indispensable pour répondre à ce problème.

Conclusion

L'impact et l'influence des prévisions météorologiques dans de nombreux domaines de notre vie quotidienne (transports, énergie, agriculture, tourisme, alimentation, construction,

etc.) demandent des améliorations continues, fiables et une mise à jour en temps réel de ces prévisions et des alertes.

La collecte des données météorologiques repose sur une couverture mondiale, répétitive, avec une disponibilité sans perturbation de l'ensemble des ressources de fréquences nécessaires à la bonne exploitation de tous les équipements déployés. Le maintien de cette qualité de spectre est indispensable pour pérenniser les importants investissements réalisés sur des infrastructures spatiales et terrestres et préserver l'homogénéité spatiale et temporelle des conditions de collecte de ces données, indispensable pour toute la recherche sur le changement climatique.

L'objectif final de la gestion du spectre radioélectrique est la recherche d'un compromis qui permet de maximiser le bénéfice de l'utilisation de cette ressource rare, en intégrant l'ensemble des impératifs et enjeux sociétaux, économiques et stratégiques. Cette gestion nécessite un suivi constant pour assurer la protection des équipements opérationnels et une veille active continue pour anticiper de nouveaux besoins et répondre aux tentatives multiples de révision des conditions techniques et réglementaires, pouvant irrémédiablement affecter et rendre inutilisables les données collectées.

Une étroite collaboration de l'ensemble des acteurs des domaines météorologique et scientifique est également indispensable. La pression exercée sur le spectre radioélectrique, essentiellement due aux besoins croissants de mobilité et à la densification des utilisations, nécessite une communication appropriée de la communauté météorologique aux décideurs étatiques pour une prise de conscience des besoins et de l'apport des prévisions météorologiques. Il est à noter que les données météorologiques collectées font l'objet d'un échange libre

et gratuit entre les pays membres de l'OMM dans le cadre du programme international qui définit le système mondial d'observation du climat (GCOS). Ce programme a notamment identifié des variables, dites « variables climatiques essentielles », actuellement au nombre de 50. Elles ont été choisies en raison de leur importance pour le suivi du climat, mais aussi parce qu'elles sont techniquement et économiquement accessibles à l'observation systématique. Les représentants des administrations dans les réunions internationales doivent être informés que, leur pays opérant ou pas des systèmes météorologiques sur leur territoire, notamment des stations terriennes, les bandes de fréquences utilisées dans d'autres pays pour collecter ces données leur sont également indispensables pour leurs propres prévisions météorologiques et doivent impérativement être protégées au niveau mondial.

C'est dans ce cadre que l'Organisation météorologique mondiale et l'Union internationale des télécommunications ont renouvelé leur accord de coopération pour la protection et l'utilisation optimale des fréquences essentielles pour l'observation de la Terre et de son atmosphère, notamment dans le cadre de la préparation de la Conférence mondiale des radiocommunications programmée fin 2019, pour laquelle de nombreux points à l'ordre du jour sont d'intérêt majeur pour les communautés scientifique et météorologique. Cette étroite collaboration a également permis la mise à jour du « Manuel d'utilisation du spectre radioélectrique pour la météorologie : surveillance et prévision du temps, de l'eau et du climat »⁹, qui fournit des informations techniques complètes sur l'utilisation des radiofréquences par les systèmes météorologiques.

9. <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/workshops/RSG7-ITU-WMO-RSM-17/Pages/default.aspx>

Bibliographie

ANFR, 2019. Tableau national de répartition des bandes de fréquences. Annexe à l'arrêté du Premier ministre du 14 décembre 2017, disponible à l'adresse https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/tnrbf/TNRBF_2019-01-10.pdf.

UIT, 2016. Règlement des radiocommunications, Édition de 2016, Volumes I à V, disponible à l'adresse <https://www.itu.int/fr/publications/Pages/default.aspx>

UIT/OMM, 2017. Utilisation du spectre radioélectrique pour la météorologie : surveillance et prévision du temps, de l'eau et du climat, Édition de 2017, publication de l'OMM n° 1197, disponible à l'adresse <https://www.itu.int/fr/publications/Pages/default.aspx>

Annexe 1

Bandes de fréquences attribuées pour les besoins de mesure météorologiques

Transmissions de données des satellites météorologiques		Systèmes d'aide météorologiques (capteurs foudre, radiosonde)	Radars météorologiques	
Sens espace vers Terre	Sens Terre vers espace		Bandes de fréquences	Noms des bandes
137-138 MHz	401-403 MHz	8,3-1,1 kHz	2 700-2 900	Bande S
400,15-401 MHz	2 025-20110 MHz	400,15-401 MHz	5 250-5 725	Bande C
460-470 MHz	8 175-8 125 MHz	401-402 MHz	(principalement 5 600-5 650)	
1 670-1 710 MHz	28,5-30,0 GHz	402-403 MHz	9 300-9 500	Bande X
2 200-2 290 MHz	40,0-40,5 GHz	403-406 MHz		
7 450-7 550 MHz		1 668,4-1 670 MHz		
7 750-7 900 MHz		1 670-1 675 MHz		
8 025-8 400 MHz		1 675-1 690 MHz		
18,0-18,3 GHz		1 690-1 700 MHz		
18,1-18,4 GHz		35,2-36 GHz		
25,5-27,0 GHz				
37,5-40,0 GHz				
	65,0-66,0 GHz			

Radars profileur de vent	
Bandes de fréquences (MHz)	
	46-68
	440-450
	470-494
	904-928
	1 270-1 295
	1 300-1 375

Téledétection passive par satellite (jusqu'à 1 000 GHz)

Bandes de fréquence (GHz)	Principales mesures	Bandes de fréquences (GHz)	Principales mesures
1,4-1,427	Humidité du sol, salinité, température à la surface de l'océan, indice de végétation	275-286	N ₂ O, ClO
2,69-2,7	Salinité, humidité du sol, indice de végétation	296-306	Canal latéral pour les sondages de température, oxygène, N ₂ O, O ₃ , HNO ₂ , HOCl
4,2-4,4	Température à la surface de l'océan	313-355,6	Profils de la vapeur d'eau, canal latéral pour les sondages de température, HDO, ClO, HNO ₃ , H ₂ O, O ₃ , HOCl, CH ₃ Cl, O ¹⁸ O, CO, BrO, CH ₃ CN, N ₂ O, HCN
6,425-7,25	Température à la surface de l'océan (aucune attribution)	361-365	O ₃
10,6-10,7	Intensité de pluie, teneur en eau de fonte des neiges, morphologie glaciaire, état de la mer, vitesse du vent océanique	369-392	Profils de la vapeur d'eau
15,35-15,4	Vapeur d'eau, intensité de pluie	397-399	Profils de la vapeur d'eau
18,6-18,8	Pluie, état de la mer, glace océanique, vapeur d'eau, vitesse du vent océanique, pouvoir émissif et humidité du sol	409-411	Sondage de température
21,2-21,4	Vapeur d'eau, eau liquide des nuages	416-433,46	Oxygène, profil de température
22,21-22,5	Vapeur d'eau, eau liquide des nuages	439,1-466,3	Profil de vapeur d'eau, nuage HNO ₃ , H ₂ O, O ₃ , N ₂ O, CO
23,6-24	Vapeur d'eau, eau à l'état liquide, canal associé pour le sondage atmosphérique	477,75-496,75	Oxygène, profil de température
31,3-31,8	Glace sur la mer, vapeur d'eau, nappes de pétrole répandu, nuages, eau à l'état liquide, température de surface, fenêtre de référence pour la gamme 50-60 GHz	497-502	Canal latéral pour profil de vapeur d'eau, O ₂ , N ₂ O, BrO
36-37	Intensité de pluie, neige, glace sur les océans, nuages	523-527	Canal latéral pour profil de vapeur d'eau
50,2-50,4	Fenêtre de référence pour le profil de température atmosphérique (température de surface)	538-581	Profils de la température, ClO, H ₂ O, O ₃ , HNO ₃
52,6-59,3	Profil de température atmosphérique (raies d'absorption O ₂)	611,7-629,7	Profil de vapeur d'eau, oxygène H ₂ O, ClO ₂ , SO ₂ , HNO ₃ , BrO, CH ₃ CN, (HCl), H ₂ O ₂ , HOCl, O ₃ , HO ₂ , HCl, CH ₃ Cl, O ¹⁸ O
86-92	Nuages, glace, neige, pluie	634-654	Canal latéral pour profil de vapeur d'eau, HOCl, H ₂ O, SO ₂ , ClO, HO ₂ , BrO, HNO ₃ , O ₃ , NO, N ₂ O
100-102	N ₂ O, NO	656,9-692	Profil de vapeur d'eau, nuages, H ₂ O, HO ₂ , ClO, CH ₃ Cl, CO
109,5-111,8	O ₃	713,4-717,4	O ₂
114,25-116	CO	729-733	HNO ₃ , O
115,25-122,25	Profil de température atmosphérique (ligne d'absorption O ₂)	750-754	H ₂ O
148,5-151,5	N ₂ O, température de surface de la Terre, paramètres des nuages, fenêtre de référence pour sondages de température	771,8-775,8	O ₂
155,5-158,5	Paramètres de la Terre et des nuages	823-846	O ₂
164-167	N ₂ O, teneur en eau et glace des nuages, pluie, CO, ClO	850-854	NO
174,8-191,8	N ₂ O, profil de vapeur d'eau, O ₃	857-862	H ₂ O
200-209	N ₂ O, ClO, vapeur d'eau, O ₃	866-882	Nuages, fenêtre
226-231,5	Nuages, humidité, N ₂ O (226,09 GHz), CO (230,54 GHz), O ₃ (231,28 GHz), fenêtre de référence	905-928	H ₂ O
235-238	O ₃	951-956	O ₂ , NO, H ₂ O
250-252	N ₂ O	968-973	H ₂ O
		985-990	H ₂ O

Annexe 2

Extrait du tableau national de répartition des bands de fréquences (ANFR, 2019)

RR				REGION 1					REGION 2					REGION 3						
REGION 1	REGION 2	REGION 3	MHz	France	Ser	Aff	Statut	Notes	France	Ser	Aff	Statut	Notes	France	Ser	Aff	Statut	Notes		
FIXE MOBILE sauf mobile aéronautique RADIODIFFUSION PAR SATELLITE Exploration de la Terre par satellite (passive) Radioastronomie Recherche spatiale (passive) 5.149-5.208B-5.384A- 5.410-5.412-5.413-5.416	FIXE FIXE PAR SATELLITE (espace vers Terre) FIXE PAR SATELLITE (Terre vers espace) MOBILE sauf mobile aéronautique RADIODIFFUSION PAR SATELLITE Exploration de la Terre par satellite (passive) Radioastronomie Recherche spatiale (passive) 5.149-5.208B-5.384A- 5.410-5.413-5.415-5.418	FIXE FIXE PAR SATELLITE (Terre vers espace) MOBILE PAR SATELLITE (Terre vers espace) MOBILE sauf mobile aéronautique Exploration de la Terre par satellite (passive) Radioastronomie Recherche spatiale (passive) 5.149-5.208B-5.384A- 5.410-5.413-5.415-5.420	2 655,000		MXA	ARCEP	EXCL	5.149 5.208B 5.384A F48 F86b			FIX MXA	ARCEP	EXCL	5.149 5.208B 5.416 F86b			FIX MXA	TTOM	EXCL	5.149 5.208B 5.351A 5.419 F81
FIXE MOBILE sauf mobile aéronautique Exploration de la Terre par satellite (passive) Radioastronomie Recherche spatiale (passive) 5.149-5.384A-5.410- 5.412	FIXE FIXE PAR SATELLITE (espace vers Terre) FIXE PAR SATELLITE (Terre vers espace) MOBILE sauf mobile aéronautique Exploration de la Terre par satellite (passive) Radioastronomie Recherche spatiale (passive) 5.149-5.208B-5.384A- 5.410-5.415	FIXE FIXE PAR SATELLITE (Terre vers espace) MOBILE PAR SATELLITE (Terre vers espace) MOBILE sauf mobile aéronautique Exploration de la Terre par satellite (passive) Radioastronomie Recherche spatiale (passive) 5.149-5.351A-5.384A- 5.410-5.415-5.419	2 670,000																	
EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) RADIOASTRONOMIE RECHERCHE SPATIALE (passive) 5.340-5.422			2 690,000		ASR EPS RPS	RST ESP	EGAL	5.340			ASR EPS RPS	RST ESP	EGAL	5.340			ASR EPS RPS	RST ESP	EGAL	5.340
RADIONAVIGATION AERONAUTIQUE Radiolocalisation 5.33-5.423-5.424			2 700,000		RNA LOC	AC DEF DEF MTO	PRIO	5.337 5.423 F87a F87b A8			RNA LOC	AC DEF DEF MTO	PRIO	5.337 5.423			RNA LOC	AC DEF DEF MTO	PRIO	5.337 5.423
RADIOLOCALISATION RADIONAVIGATION 5.424A-5.425-5.426-5.427			2 900,000		LOC RNV	ARCEP DEF PNM AC ARCEP DEF PNM	EGAL	5.424A 5.425 5.426 5.427 F87			LOC RNV	ARCEP DEF PNM AC ARCEP DEF PNM	EGAL	5.424A 5.425 5.426 5.427 F87			LOC RNV	DEF PNM TTOM AC DEF PNM TTOM	EGAL	5.424A 5.425 5.426 5.427 F87

Cette bande de fréquences est harmonisée au niveau mondial, caractéristique très recherchée.

Météo-France est affectataire dans la bande 2 700-2 900 MHz pour une attribution LOC. Cette attribution autorise le déploiement de radars météorologiques dans cette bande de fréquences. Il est à noter que cette bande est partagée avec d'autres affectataires (Défense et Aviation civile).

Exemple de bande de fréquences non harmonisées sur les trois régions de l'Union internationale des télécommunications, secteur radiocommunications.