

Recommandation UIT-R RA.314-11

(12/2023)

Série RA: Radio astronomie

**Bandes de fréquences préférées pour
les mesures en radioastronomie
au-dessous de 1 THz**

Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en œuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Également disponible en ligne: <https://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Émissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2024

© UIT 2024

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R RA.314-11

**Bandes de fréquences préférées pour les mesures
en radioastronomie au-dessous de 1 THz**

(Question UIT-R 145/7)

(1953-1956-1959-1966-1970-1974-1978-1982-1986-1990-1992-2002-2003-2023)

Domaine d'application

La présente Recommandation fournit des renseignements relatifs aux bandes de fréquences préférées pour les mesures en radioastronomie jusqu'à 1 000 GHz. Les Tableaux 1 et 2 indiquent les bandes de fréquences associées aux transitions atomiques et moléculaires; le Tableau 3 indique les bandes de fréquences préférées pour les observations du continuum radioélectrique; le Tableau 4 indique les bandes de fréquences destinées à des applications particulières des émissions décalées dans le rouge de l'hydrogène neutre. Les figures présentées dans l'Annexe illustrent les processus naturels qui déterminent les bandes de fréquences préférées pour la radioastronomie.

Mots clés

Radioastronomie, physique fondamentale, transitions atomiques et moléculaires, émission du continuum, transparence atmosphérique.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les progrès de la radioastronomie ont conduit à d'importants perfectionnements d'ordre technologique, en particulier dans les techniques de réception, ainsi qu'à une meilleure connaissance des limites fondamentales imposées par le bruit radioélectrique d'une grande importance pour les radiocommunications et que ces progrès laissent prévoir d'autres résultats importants;
- b) que pour réaliser des progrès en matière de radioastronomie, il faut protéger certaines bandes de fréquences contre les brouillages;
- c) que l'Union astronomique internationale (UAI) tient à jour et actualise la liste des raies spectrales présentant le plus d'importance pour la radioastronomie;
- d) que les radioastronomes étudient les raies spectrales à la fois dans les bandes attribuées à la radioastronomie et, pour autant que le permet l'utilisation du spectre par d'autres services, à l'extérieur des bandes attribuées, et qu'il a ainsi été possible de détecter des milliers de raies spectrales, comme le montre la Fig. 1 de l'Annexe 1;
- e) qu'il convient de tenir compte du déplacement de fréquence des raies par effet Doppler dû au mouvement relatif des sources et de l'observateur;
- f) que les fréquences observées des raies spectrales atomiques ou moléculaires fortement décalées vers le rouge (en raison de l'effet Doppler) provenant de l'Univers distant sont bien plus basses que les fréquences de repos de ces raies spectrales, comme le montrent le Tableau 4 et la Fig. 3 de l'Annexe 1;
- g) que, certaines bandes de fréquences ont été attribuées pour les observations du continuum, et que les positions exactes de ces bandes dans le spectre n'ont pas une importance déterminante, comme le montre la Fig. 4 de l'Annexe 1, mais que leurs fréquences centrales doivent être dans un rapport de un à deux au maximum, compte tenu de la largeur des fenêtres atmosphériques pertinentes (voir la Fig. 1 de l'Annexe 1);

h) que les radioastronomes ont fait des observations astronomiques utiles à partir de la surface de la Terre dans toutes les fenêtres atmosphériques disponibles (voir la Fig. 1 de l'Annexe 1) entre 2 MHz et 1 000 GHz et au-dessus;

i) que la radioastronomie spatiale, dans le cadre de laquelle on utilise des radiotélescopes sur des plates formes spatiales, permet d'accéder à l'ensemble du spectre radioélectrique au-dessus d'environ 10 kHz, y compris aux parties du spectre non accessibles depuis la Terre en raison de l'absorption dans l'atmosphère;

j) que certains types d'observations interférométriques à grand pouvoir de résolution exigent une réception simultanée, sur la même fréquence radioélectrique, par des systèmes de réception situés dans des pays ou des continents différents, ou sur des plates formes spatiales;

k) que les conférences administratives mondiales des radiocommunications et les conférences mondiales des radiocommunications ont fait bénéficier la radioastronomie d'attributions de fréquences plus satisfaisantes, mais que, dans bien des bandes, notamment celles utilisées en partage avec d'autres services, la protection des observations de radioastronomie exigera peut-être encore une planification minutieuse,

notant

que les bandes préférées entre 1 et 3 THz figurent dans la Recommandation UIT-R RA.1860,

recommande

1 que les administrations se chargent d'assurer le maximum de protection possible aux fréquences employées par les radioastronomes dans leurs propres pays et dans les pays voisins;

2 qu'une attention particulière soit accordée à la protection adéquate des bandes de fréquences inscrites dans les Tableaux 1 et 2, où figurent les fréquences de repos et les fréquences Doppler observées sur les raies spectrales les plus importantes pour l'astrophysique, telles que les a identifiées l'Assemblée générale de l'UAI ainsi que dans le Tableau 3, où figurent les bandes de fréquences attribuées au service de radioastronomie qui sont préférées pour les observations du continuum;

3 que les administrations soient priées d'apporter leur concours dans la coordination des observations de raies spectrales dans les bandes non attribuées à la radioastronomie.

TABLEAU 1

Raies de fréquence radioélectrique présentant le plus d'importance pour la radioastronomie aux fréquences inférieures à 275 GHz

Corps	Fréquence de repos	Bande minimale suggérée	Notes ⁽¹⁾
Deutérium (D I)	327,384 MHz	327,0-327,7 MHz	
Hydrogène (H I)	1 420,406 MHz	1 370,0-1 427,0 MHz	(2), (3)
Radical oxhydryle (OH)	1 612,231 MHz	1 606,8-1 613,8 MHz	(4)
Radical oxhydryle (OH)	1 665,402 MHz	1 659,8-1 667,1 MHz	(4)
Radical oxhydryle (OH)	1 667,359 MHz	1 661,8-1 669,0 MHz	(4)
Radical oxhydryle (OH)	1 720,530 MHz	1 714,8-1 722,2 MHz	(3), (4)
Méthylidyne (CH)	3 263,794 MHz	3 252,9-3 267,1 MHz	(3), (4)
Méthylidyne (CH)	3 335,481 MHz	3 324,4-3 338,8 MHz	(3), (4)
Méthylidyne (CH)	3 349,193 MHz	3 338,0-3 352,5 MHz	(3), (4)
Formaldéhyde (H ₂ CO)	4 829,660 MHz	4 813,6-4 834,5 MHz	(3), (4)
Méthanol (CH ₃ OH)	6 668,518 MHz	6 661,8-6 675,2 MHz	(3)

TABLEAU 1 (suite)

Corps	Fréquence de repos	Bande minimale suggérée	Notes ⁽¹⁾
Hélium ($^3\text{He}^+$)	8 665,650 MHz	8 657,0-8 674,3 MHz	(3), (6)
Méthanol (CH_3OH)	12,178 GHz	12,17-12,19 GHz	(3), (6)
Formaldéhyde (H_2CO)	14,488 GHz	14,44-14,50 GHz	(3), (4)
Cyclopropénylidène (C_3H_2)	18,343 GHz	18,28-18,36 GHz	(3), (4), (6)
Vapeur d'eau (H_2O)	22,235 GHz	22,16-22,26 GHz	(3), (4)
Ammoniac (NH_3)	23,694 GHz	23,61-23,71 GHz	(4)
Ammoniac (NH_3)	23,723 GHz	23,64-23,74 GHz	(4)
Ammoniac (NH_3)	23,870 GHz	23,79-23,89 GHz	(4)
Monoxyde de soufre (SO)	30,002 GHz	29,97-30,03 GHz	(6)
Méthanol (CH_3OH)	36,169 GHz	36,13-36,21 GHz	(6)
Monoxyde de silicium (SiO)	42,519 GHz	42,47-42,57 GHz	(6), (8)
Monoxyde de silicium (SiO)	42,821 GHz	42,77-42,86 GHz	
Monoxyde de silicium (SiO)	43,122 GHz	43,07-43,17 GHz	
Monoxyde de silicium (SiO)	43,424 GHz	43,37-43,47 GHz	
Monosulfure de dicarbone (CCS)	45,379 GHz	45,33-45,44 GHz	(6)
Monosulfure de carbone (CS)	48,991 GHz	48,94-49,04 GHz	
Oxygène moléculaire (O_2)	61,1 GHz	56,31-63,06 GHz	(5), (6), (7)
Vapeur d'eau deutérée (HDO)	80,578 GHz	80,50-80,66 GHz	
Cyclopropénylidène (C_3H_2)	85,339 GHz	85,05-85,42 GHz	
Monoxyde de silicium (SiO)	86,243 GHz	86,16-86,33 GHz	
Formylium (H^{13}CO^+)	86,754 GHz	86,66-86,84 GHz	
Monoxyde de silicium (SiO)	86,847 GHz	86,76-86,93 GHz	
Radical éthyne (C_2H)	87,3 GHz	87,21-87,39 GHz	(5)
Cyanure d'hydrogène (HCN)	88,632 GHz	88,34-88,72 GHz	(4)
Formylium (HCO^+)	89,189 GHz	88,89-89,28 GHz	(4)
Isocyanure d'hydrogène (HNC)	90,664 GHz	90,57-90,76 GHz	
Diazénylium (N_2H^+)	93,174 GHz	93,07-93,27 GHz	
Monosulfure de carbone (CS)	97,981 GHz	97,65-98,08 GHz	(4)
Monoxyde de soufre (SO)	99,300 GHz	99,98-100,18 GHz	
Méthylcétyle ($\text{CH}_3\text{C}_2\text{H}$)	102,5 GHz	102,39-102,60 GHz	(5)
Méthanol (CH_3OH)	107,014 GHz	106,91-107,12 GHz	
Monoxyde de carbone (C^{18}O)	109,782 GHz	109,67-109,89 GHz	
Monoxyde de carbone (^{13}CO)	110,201 GHz	109,83-110,31 GHz	(4)
Monoxyde de carbone (C^{17}O)	112,359 GHz	112,25-112,47 GHz	
Radical cyano (CN)	113,5 GHz	113,39-113,61 GHz	(5)
Monoxyde de carbone (CO)	115,271 GHz	114,88-115,39 GHz	(4)
Oxygène moléculaire (O_2)	118,750 GHz	118,63-118,87 GHz	(6), (7)
Formaldéhyde (H_2^{13}CO)	137,450 GHz	137,31-137,59 GHz	
Formaldéhyde (H_2CO)	140,840 GHz	140,69-140,98 GHz	
Monosulfure de carbone (CS)	146,969 GHz	146,82-147,12 GHz	

TABLEAU 1 (*fin*)

Corps	Fréquence de repos	Bande minimale suggérée	Notes ⁽¹⁾
Monoxyde d'azote (NO)	150,4 GHz	149,95-150,85 GHz	(5)
Méthanol (CH ₃ OH)	156,602 GHz	156,45-156,76 GHz	
Vapeur d'eau (H ₂ O)	183,310 GHz	183,12-183,50 GHz	
Monoxyde de carbone (C ¹⁸ O)	219,560 GHz	219,34-219,78 GHz	
Monoxyde de carbone (¹³ CO)	220,399 GHz	219,67-220,62 GHz	(4)
Radical cyano (CN)	226,6 GHz	226,37-226,83 GHz	(5)
Radical cyano (CN)	226,8 GHz	226,57-227,03 GHz	(5)
Monoxyde de carbone (CO)	230,538 GHz	229,77-230,77 GHz	(4)
Monosulfure de carbone (CS)	244,953 GHz	244,72-245,20 GHz	
Monoxyde d'azote (NO)	250,6 GHz	250,35-250,85 GHz	(5)
Radical éthynyle (C ₂ H)	262,0 GHz	261,74-262,26 GHz	(5)
Cyanure d'hydrogène (HCN)	265,886 GHz	265,62-266,15 GHz	
Formylium (HCO ⁺)	267,557 GHz	267,29-267,83 GHz	
Isocyanure d'hydrogène (HNC)	271,981 GHz	271,71-272,25 GHz	

(1) Les limites de bande, pour toutes les raies spectrales figurant dans ce Tableau à l'exception de celles qui portent les Notes⁽²⁾ ou ⁽⁴⁾, sont les fréquences décalées par un effet Doppler correspondant à des vitesses radiales de ± 300 km/s (compatibles avec le rayonnement se produisant dans la Voie lactée).

(2) Une extension vers le bas de l'attribution de la bande 1 400-1 427 MHz est nécessaire afin de tenir compte des importants effets Doppler qui agissent sur H I observé dans les galaxies éloignées. On trouvera dans le Tableau 4 des gammes de fréquences préférées supplémentaires pour l'observation de l'hydrogène neutre décalé vers le rouge correspondant à des époques astronomiques pertinentes.

(3) L'attribution internationale actuelle n'est pas une attribution primaire et/ou ne répond pas aux besoins de largeur de bande. On trouvera des précisions à ce sujet dans le Règlement des radiocommunications (RR).

(4) Ces raies spectrales étant observées également dans des galaxies autres que la Voie lactée, les largeurs de bande ci-dessus tiennent compte des effets Doppler correspondant à des vitesses radiales allant jusqu'à 1 000 km/s. Quelques raies spectrales correspondant aux molécules les plus abondantes, ainsi que la raie H I, ont été détectées dans des galaxies à des vitesses de récession très élevées dues à l'expansion de l'Univers, les fréquences observées étant dans ce cas sensiblement plus basses que la fréquence d'émission dans le référentiel de repos (voir la Fig. 3).

(5) Plusieurs raies spectrales très proches les unes des autres sont associées à ces molécules. Les bandes indiquées sont suffisamment larges pour permettre d'effectuer des observations dans toutes ces raies.

(6) Cette raie spectrale est en-dehors des bandes attribuées au service de radioastronomie.

(7) Ces raies ne sont observables qu'à l'extérieur de l'atmosphère terrestre au moyen, par exemple, de récepteurs situés dans des ballons à haute altitude, des aéronefs, des satellites ou d'autres plates-formes non terriennes (voir également la Section V de l'Article 22 du RR).

(8) Une portion de la «bande minimale suggérée» de cette raie dépasse la bande attribuée au service de radioastronomie. La protection des observations faites dans cette portion de la bande risque de ne pas être possible.

NOTE 1 – Une liste plus exhaustive des raies de fréquence importantes pour l'astrophysique et souvent observées est disponible à l'adresse <https://splatalogue.online/#/home>. Cette base de données de raies spectrales destinée à la spectroscopie astronomique est tenue à jour de manière collaborative par une vaste communauté d'astronomes et de spécialistes de la spectroscopie atomique et moléculaire.

TABLEAU 2

Raies de fréquence radioélectrique présentant le plus d'importance pour la radioastronomie aux fréquences comprises entre 275 et 1 000 GHz (dans le RR, il n'existe aucune attribution sur ces fréquences)

Corps	Fréquence de repos	Bande minimale suggérée	Notes ⁽¹⁾
Diazénylium (N_2H^+)	279,511	279,23-279,79	
Monosulfure de carbone (CS)	293,912	292,93-294,21	
Hydronium (H_3O^+)	307,192	306,88-307,50	
Vapeur d'eau deutérée (HDO)	313,750	313,44-314,06	
Monoxyde de carbone ($C^{18}O$)	329,330	329,00-329,66	
Monoxyde de carbone (^{13}CO)	330,587	330,25-330,92	
Monosulfure de carbone (CS)	342,883	342,54-343,23	
Monoxyde de carbone (CO)	345,796	345,45-346,14	
Cyanure d'hydrogène (HCN)	354,484	354,13-354,84	
Formylium (HCO^+)	356,734	356,37-357,09	
Oxygène moléculaire (O_2)	368,498	368,13-368,87	
Diazénylium (N_2H^+)	372,672	372,30-373,05	(2)
Vapeur d'eau (H_2O)	380,197	379,81-380,58	(2)
Hydronium (H_3O^+)	388,459	388,07-388,85	
Monosulfure de carbone (CS)	391,847	390,54-392,24	
Oxygène moléculaire (O_2)	424,763	424,34-425,19	
Monoxyde de carbone ($C^{18}O$)	439,088	438,64-439,53	
Monoxyde de carbone (^{13}CO)	440,765	440,32-441,21	
Monoxyde de carbone (CO)	461,041	460,57-461,51	
Vapeur d'eau deutérée (HDO)	464,925	464,46-465,39	
Carbone atomique (C I)	492,162	491,66-492,66	
Vapeur d'eau deutérée (HDO)	509,292	508,78-509,80	
Cyanure d'hydrogène (HCN)	531,716	529,94-532,25	(2)
Monosulfure de carbone (CS)	538,689	536,89-539,23	(2)
Vapeur d'eau ($H_2^{18}O$)	547,676	547,13-548,22	(2)
Monoxyde de carbone (^{13}CO)	550,926	549,09-551,48	(2)
Vapeur d'eau (H_2O)	556,936	556,37-557,50	(2)
Ammoniac ($^{15}NH_3$)	572,113	571,54-572,69	(2)
Ammoniac (NH_3)	572,498	571,92-573,07	(2)
Monoxyde de carbone (CO)	576,268	574,35-576,84	(2)
Monosulfure de carbone (CS)	587,616	587,03-588,20	(2)
Vapeur d'eau deutérée (HDO)	599,927	599,33-600,53	(2)
Vapeur d'eau (H_2O)	620,700	620,08-621,32	(2)
Chlorure d'hydrogène (HCl)	625,040	624,27-625,67	
Chlorure d'hydrogène (HCl)	625,980	625,35-626,61	
Monosulfure de Carbone (CS)	636,532	634,41-637,17	
Monoxyde de carbone (^{13}CO)	661,067	658,86-661,73	

TABLEAU 2 (*fin*)

Corps	Fréquence de repos	Bande minimale suggérée	Notes ⁽¹⁾
Monoxyde de carbone (CO)	691,473	690,78-692,17	
Oxygène moléculaire (O ₂)	715,393	714,68-716,11	(2)
Monosulfure de carbone (CS)	734,324	733,59-735,06	(2)
Vapeur d'eau (H ₂ O)	752,033	751,28-752,79	(2)
Oxygène moléculaire (O ₂)	773,840	773,07-784,61	(2)
Cyanure d'hydrogène (HCN)	797,433	796,64-798,23	
Formylium (HCO ⁺)	802,653	801,85-803,85	
Monoxyde de carbone (CO)	806,652	805,85-807,46	
Carbone atomique (C I)	809,350	808,54-810,16	
Monosulfure de carbone (CS)	832,057	829,28-832,89	
Oxygène moléculaire (O ₂)	834,146	833,31-834,98	
Monosulfure de carbone (CS)	880,899	877,96-881,78	
Vapeur d'eau (H ₂ O)	916,172	915,26-917,09	(2)
Monoxyde carbone (CO)	921,800	918,72-922,72	(2)
Monosulfure de carbone (CS)	929,723	926,62-930,65	
Vapeur d'eau (H ₂ O)	970,315	969,34-971,29	(2)
Monosulfure de carbone (CS)	978,529	977,55-979,51	(2)
Vapeur d'eau (H ₂ O)	987,927	986,94-988,92	(2)

⁽¹⁾ Les limites des bandes considérées correspondent à des fréquences qui ont subi un décalage Doppler dû à des vitesses radiales de ± 300 km/s (compatibles avec les raies émises dans la Voie lactée).

⁽²⁾ Ces raies ne sont observables qu'à l'extérieur de l'atmosphère terrestre au moyen, par exemple, de récepteurs situés dans des ballons à haute altitude, des aéronefs, des satellites ou d'autres plates-formes non terriennes (voir également la Section V de l'Article 22 du RR).

TABLEAU 3

Bandes de fréquences attribuées au service de radioastronomie, ou visées au numéro 5.565 du RR, qui sont préférées pour les observations du continuum

Bande de fréquences (MHz)	Bande de fréquences (GHz)
13,360-13,410	10,6-10,7
25,550-25,670	15,35-15,4
37,5-38,25 ⁽¹⁾	22,21-22,50
73-74,6 ⁽²⁾	23,6-24,0
150,05-153 ⁽³⁾	31,3-31,8
322-328,6	42,5-43,5
406,1-410	76-116 ⁽¹⁾
608-614 ⁽⁴⁾	123-158,5 ⁽¹⁾
1 400-1 427	164-167
1 660-1 670	200-231,5

TABLEAU 3 (fin)

Bande de fréquences (MHz)	Bande de fréquences (GHz)
2 655-2 700 ⁽¹⁾	241-510 ^{(1), (5)}
4 800-5 000 ⁽¹⁾	602-720 ⁽⁶⁾
	787-950 ⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Ces bandes comprennent des attributions à titre secondaire.

⁽²⁾ Attribution (à titre primaire) dans la Région 2, protection recommandée dans les Régions 1 et 3.

⁽³⁾ Attribution (à titre primaire) dans la Région 1, Australie et Inde.

⁽⁴⁾ Attribution (à titre primaire) dans la Région 2, la Zone africaine de radiodiffusion (606-614 MHz), en Chine (606-614 MHz) et en Inde. Dans la Région 1 (à l'exception de la Zone africaine de radiodiffusion) et dans la Région 3, cette bande est attribuée à titre secondaire au service de radioastronomie.

⁽⁵⁾ En vertu du numéro **5.565** du RR, les administrations peuvent utiliser les gammes de fréquences 275-323 GHz, 327-371 GHz, 388-424 GHz, 426-442 GHz et 453-510 GHz pour le service de radioastronomie, et les gammes de fréquences 323-327 GHz, 371-388 GHz, 424-426 GHz et 442-453 GHz pour les autres services passifs.

⁽⁶⁾ En vertu du numéro **5.565** du RR, les administrations peuvent utiliser la gamme de fréquences 623-711 GHz pour le service de radioastronomie, et les gammes de fréquences 611-630 GHz et 713-718 GHz pour les autres services passifs.

⁽⁷⁾ En vertu du numéro **5.565** du RR, les administrations peuvent utiliser les gammes de fréquences 795-909 GHz et 926-945 GHz pour le service de radioastronomie, et la gamme de fréquences 909-926 GHz pour les autres services passifs.

TABLEAU 4

Bandes de fréquences associées à l'hydrogène neutre décalé vers le rouge

Corps	Fréquence de repos	Gamme de décalage vers le rouge ⁽¹⁾	Gamme de fréquences	Notes ⁽¹⁾
Hydrogène (H I)	1 420,406 MHz	$20,9 > z > 6$	65,0-200,0 MHz	(2)
		$2 > z > 1$	473,0-710,0 MHz	(3)
		$0,48 > z > 0,22$	960,0-1 164,0 MHz	(4),
		$0,093 > z > 0$	1 300,0-1 427,0 MHz	(5)

⁽¹⁾ Le paramètre $z [(f_{\text{emit}} - f_{\text{obs}})/f_{\text{obs}}]$ représente le décalage vers le rouge. Voir la Fig. 3.

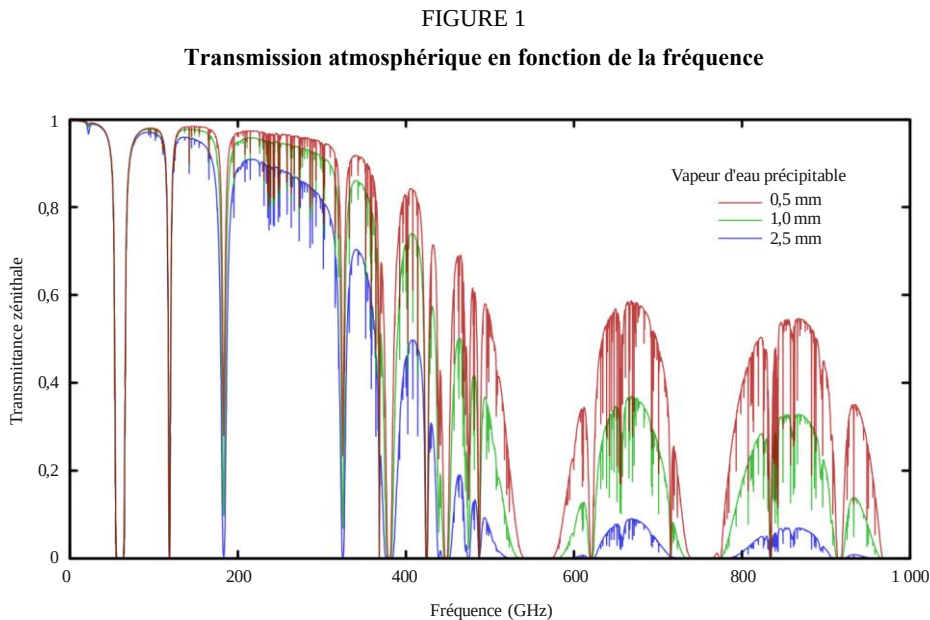
⁽²⁾ Des parties de cette gamme de fréquences sont attribuées à titre primaire dans la Région 2 (73-74,6 MHz) et à titre primaire dans la Région 1 (150,05-153,0 MHz), et identifiées dans le numéro **5.149** du RR pour les Régions 1 (73-74,6 MHz et 150,05-153 MHz) et la Région 3 (73-74,6 MHz). Il est précisé dans certaines réglementations nationales qu'aucune station ne doit être autorisée à émettre dans la bande 73-74,6 MHz. On peut s'attendre à observer les décalages vers le rouge de la raie H I de l'époque de réionisation ($6,0 < z < 20$), époque importante pour la physique, dans une gamme de fréquences allant de 65,0 à 200,0 MHz. Voir le graphique de gauche dans la Fig. 3.

Notes relatives au Tableau 4 (suite):

- (3) Des parties de cette gamme de fréquences sont attribuées à titre primaire dans la Région 2 (608-614 MHz), dans la Zone africaine de radiodiffusion (606-614 MHz, numéro **5.304** du RR), en Chine (606-614 MHz, numéro **5.305** du RR) et en Inde (608-614 MHz, numéro **5.307** du RR). Dans la Région 1 (à l'exception de la Zone africaine de radiodiffusion) et la Région 3, une partie de cette bande est attribuée à titre secondaire (608-614 MHz, numéro **5.306** du RR). La bande de fréquences 608-614 MHz est identifiée dans le numéro **5.149** du RR pour les Régions 1 et 3. Il est précisé dans certaines réglementations nationales qu'aucune station ne doit être autorisée à émettre dans la bande 608-614 MHz, à l'exception des appareils de télémétrie médicale. Cette gamme de fréquences correspond à une gamme de décalage vers le rouge dans laquelle se produit la plus forte activité de formation d'étoiles ($1 < z < 2$). Voir le graphique du milieu dans la Fig. 3.
- (4) Le Règlement des radiocommunications ne comporte actuellement aucune attribution internationale pour la radioastronomie dans cette gamme de fréquences. Cette dernière correspond à une gamme de décalage vers le rouge dans laquelle l'hydrogène neutre demeure directement observable dans le spectre d'émission des galaxies, au sein duquel l'évolution cosmique peut déjà être observée ($0,5 > z > 0,2$, environ). Voir le graphique du milieu dans la Fig. 3.
- (5) Une partie de cette gamme de fréquences est visée au numéro **5.149** du RR (1 330-1 400 MHz); une autre partie est attribuée à titre primaire au service de radioastronomie et visée au numéro **5.340** du RR (1 400-1 427 MHz). Une extension vers le bas de l'attribution est nécessaire afin de tenir compte des effets Doppler qui agissent sur le rayonnement H I observé dans les galaxies éloignées; la limite supérieure de l'attribution tient compte du décalage vers le bleu des galaxies du volume local. Voir le graphique du milieu dans la Fig. 3.

Annexe 1

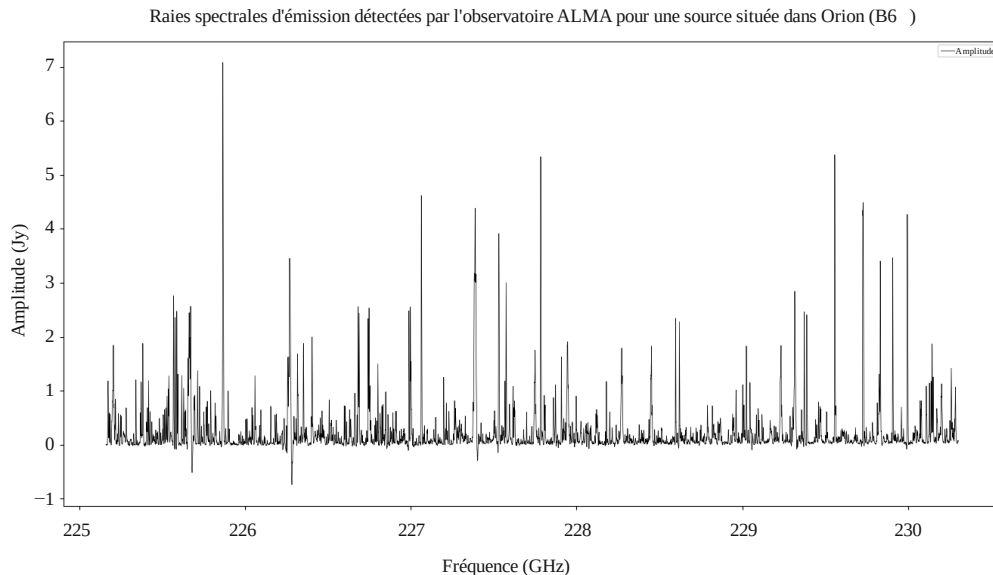
Les bandes de fréquences préférées pour les observations de radioastronomie sont déterminées par des processus naturels, comme le montrent les figures ci-après.



Appelées «fenêtres atmosphériques», les régions spectrales de forte transparence coïncident avec les bandes de fréquences préférées pour les observations de radioastronomie effectuées depuis la Terre. Les courbes de transmittance spectrale présentées ci-dessus correspondent à différentes valeurs de vapeur d'eau précipitable au niveau d'un site de haute altitude au climat sec. Les trois valeurs utilisées ici correspondent approximativement aux quartiles annuels des relevés effectués sur le site du grand réseau d'antennes millimétrique/submillimétrique d'Atacama (observatoire ALMA).

FIGURE 2

Spectre de raies d'émission illustrant l'abondance de raies spectrales détectées pour les sources cosmiques

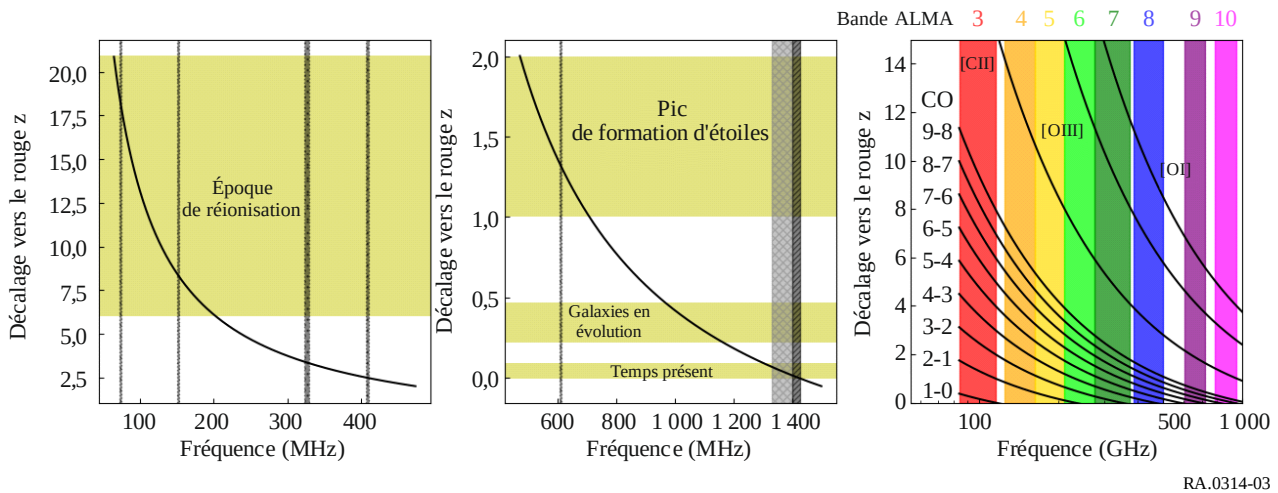


RA.0314-02

Les observations de radioastronomie montrent qu'une seule observation sur de grandes largeurs de bande permet de détecter de très nombreuses raies spectrales. L'intensité de chaque raie dépend des conditions physiques de la source astronomique, notamment sa température et sa densité. Les raies spectrales recensées dans les Tableaux 1 et 2 comprennent certaines des raies de plus forte intensité et certaines des transitions les plus intéressantes d'un point de vue astronomique détectées à partir de sources cosmiques, mais de nombreuses autres transitions spectrales offrent des renseignements d'importance pour la recherche astronomique. La Figure 2 présente une petite partie du spectre d'une source située dans la nuage moléculaire d'Orion, sur une partie de la bande 6 de l'observatoire ALMA (211-275 GHz). Un signal est détecté dans presque tous les canaux, chaque raie correspondant à une transition atomique ou moléculaire. Des milliers de raies ont déjà été observées dans l'ensemble de la région du spectre qui va de 10 MHz à 1 THz et au-delà. L'axe vertical représente une mesure de densité de flux par faisceau, où 1 jansky (Jy) = $10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$.

FIGURE 3

Décalage apparent des raies spectrales de sources éloignées,
dû à l'effet Doppler causé par l'expansion de l'Univers



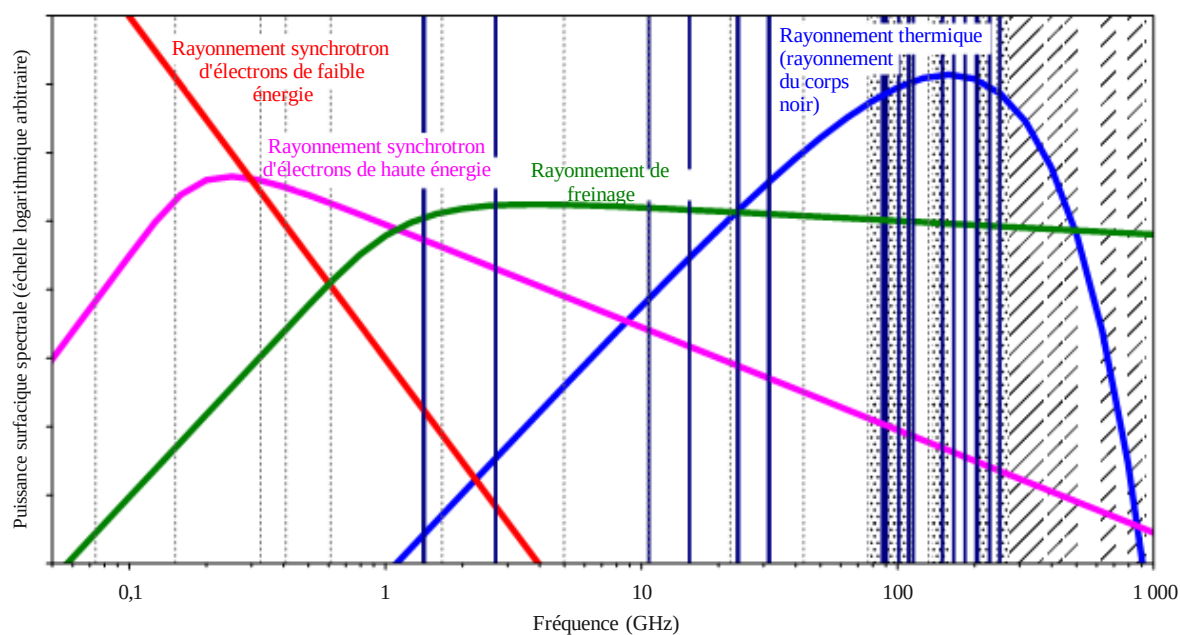
RA.0314-03

Le paramètre z représente le décalage vers le rouge; il est donné par la formule $(f_{\text{emit}} - f_{\text{obs}})/f_{\text{obs}}$.

Le graphique de gauche et le graphique du milieu de la Fig. 3 montrent les fréquences décalées vers le rouge de la raie spectrale de l'hydrogène atomique neutre, H I. Les rectangles jaune-vert mettent en évidence les gammes de décalage vers le rouge présentant un intérêt particulier pour la recherche astronomique (Tableau 4); les rectangles gris à pois représentent les bandes de fréquences dans lesquelles le service de radioastronomie bénéficie d'une attribution à titre primaire avec égalité des droits dans une région au moins; les rectangles quadrillés représentent les bandes identifiées uniquement dans le numéro 5.149 du RR; et les rectangles hachurés représentent une allocation à titre primaire et une identification dans le numéro 5.340 du RR. Toutes les fréquences figurant dans le graphique de gauche et le graphique du milieu sont actuellement observables par les radiotélescopes et elles seront observées dans leur totalité par le «Square Kilometre Array», l'un des plus gros radiotélescopes dont la construction sera terminée dans un proche avenir. Le graphique de droite dans la Fig. 3 présente les fréquences décalées vers le rouge de transitions rotationnelles choisies de CO, ainsi que les raies à structure fine [CII], [OIII] et [OI] figurant dans les Tableaux 1 et 2 ci-dessus et dans la Recommandation UIT-R RA.1860 (on notera que les raies entre crochets sont des raies interdites). Les rectangles verticaux de couleur indiquent les gammes de fréquence ou «bandes» des récepteurs de l'observatoire ALMA. L'observation de plusieurs raies CO provenant d'une même source permet d'étudier les conditions physiques (température et densité) de nuages moléculaires et de régions de formation d'étoiles situés dans des objets proches ou très éloignés.

FIGURE 4

Répartition spectrale de l'énergie pour les sources cosmiques les plus puissantes connues



RA.0314-04

La définition du spectre du continuum des étoiles, galaxies, quasars, pulsars et autres sources radioélectriques dans le cosmos nécessite d'effectuer des observations radioastronomiques à de multiples fréquences. Comme le montre la Fig. 4, les bandes de fréquences figurant dans le Tableau 3 sont espacées d'environ un octave de façon à pouvoir échantillonner la répartition spectrale de l'énergie de sources cosmiques. Les bandes de fréquence attribuées au service de radioastronomie à titre primaire avec égalité des droits pour les observations du continuum sont représentées par des lignes pointillées ou à pois sur la Fig. 4. Les bandes de fréquences également visées au numéro **5.340** du RR sont représentées par des lignes pleines. Les bandes de fréquences au-dessus de 275 GHz identifiées pour la radioastronomie dans le numéro **5.565** du RR sont signalées par des zones hachurées; elles peuvent être utilisées à la fois pour les observations du continuum et pour les raies spectrales. Dans de nombreux cas, les lignes représentées à la Fig. 4 sont plus larges que les attributions de fréquences. Moins de 1,7% du spectre radioélectrique au-dessous de 11 GHz est attribué au service de radioastronomie à titre primaire avec égalité des droits et 0,52% à peine du spectre au-dessous de 11 GHz correspond à des zones visées au numéro **5.340** du RR dans lesquelles toutes les émissions sont interdites.

La Figure 4 présente des courbes de répartition spectrale de puissance surfacique représentatives de pulsars (rayonnement synchrotron d'électrons de faible énergie), de restes de supernova (rayonnement synchrotron d'électrons de haute énergie), de gaz ionisés (rayonnement de freinage) et de sources thermiques (rayonnement du corps noir). La densité de flux observée pour un objet astronomique étant la combinaison de sa luminosité intrinsèque et de la distance à la source, l'axe des ordonnées à la Fig. 4 affiche une échelle logarithmique relative. Le spectre rayonné par une source astronomique peut également être le produit de la combinaison linéaire du spectre affiché et de contributions de puissance variable provenant des différent processus de rayonnement. C'est la mesure de la forme du spectre observé qui permet alors aux astronomes de déterminer les paramètres physiques pertinents de l'objet. Les répartitions spectrales de puissance surfacique présentées à la Fig. 4 couvrent quatre ordres de grandeur, par exemple de -290 à -250 dB ($\text{W m}^{-2} \text{Hz}^{-1}$). L'extrême sensibilité des récepteurs de radioastronomie permet la détection d'objets astronomiques émettant des rayonnements très faibles, de l'ordre du microjansky, où 1 jansky (Jy) = $10^{-26} \text{W m}^{-2} \text{Hz}^{-1}$.