

Petit conte de la radioastronomie: Le spectre, le pollueur et le gendarme

Ou, plus sérieusement

La coordination des fréquences en radioastronomie

Sami Trabulsi

16 septembre 2011

Sommaire

- I - Fréquences préférées de la radioastronomie
- II - Détection et filtrage
- III - Brouillage, occultations, partage
- IV – SETI
- V - Attribution des fréquences et arbitrage des litiges
- VI – Les zones de tranquillité radio

Introduction

- Le spectre, ressource rare
- Nombreux services
- Rôle de l'Union Internationale des télécommunications
 - Bandes réservées
 - Bandes partagées

Les bandes fréquentielles – $c = \lambda \nu$

N°	Symb	Freq	Ondes	Domaines
4	VLF	3-30 kHz	myriamétriques	
5	LF	30-300 kHz	kilométriques	radiodiffusion
6	MF	300-3000 kHz	hectométriques	Fixes et mobiles
7	HF	3-30 MHz	décamétriques	"
8	VHF	30-300 MHz	métriques	"
9	UHF	300-3000 MHz	décimétriques	satellites
10	SHF	3-30 GHz	centimétriques	radars
11	EHF	30-300 GHz	millimétriques	satellites
12		300-3000 GHz	Décimillim.	
15		300-3000 THz	0.1-1 μm	visible

I - Fréquences préférées de la radioastronomie

Nature des émissions cosmiques:

- en spectre continu
 - rayonnement thermique (plasmas, nuages interstellaires, ...)
 - Fond hyperfréquence résiduel du big bang
 - rayonnement synchrotron
 - ...

- en raies discrètes
 - rayonnement en raies spectrales

I - Fréquences préférées de la radioastronomie

Observations radioastronomiques:

- depuis le sol
 - Réflexions ionosphériques (< 30 MHz)
 - absorption H₂O
 - absorption O₂
 - Impossible en dessous de 1,5 MHz
- La radioastronomie, précurseur de l'utilisation des fréquences élevées (> 100 GHz)
- Mais, de nombreux phénomènes n'ont lieu qu'aux basses fréquences: absorption spontanée des régions ionisées, émissions basse fréquence des plasmas ténus, ...

I - Fréquences préférées de la radioastronomie

Observations radioastronomiques:

- depuis l'espace
 - s'affranchir de l'absorption atmosphérique
 - VLBI spatiale
- Mais résolution angulaire et affaiblissement des lobes latéraux liés à la taille d'antenne (facteur λ / D)
Exemple radioastronomique: 5 GHz, antenne 70 m

I - Fréquences préférées de la radioastronomie

Rayonnement en spectre continu:

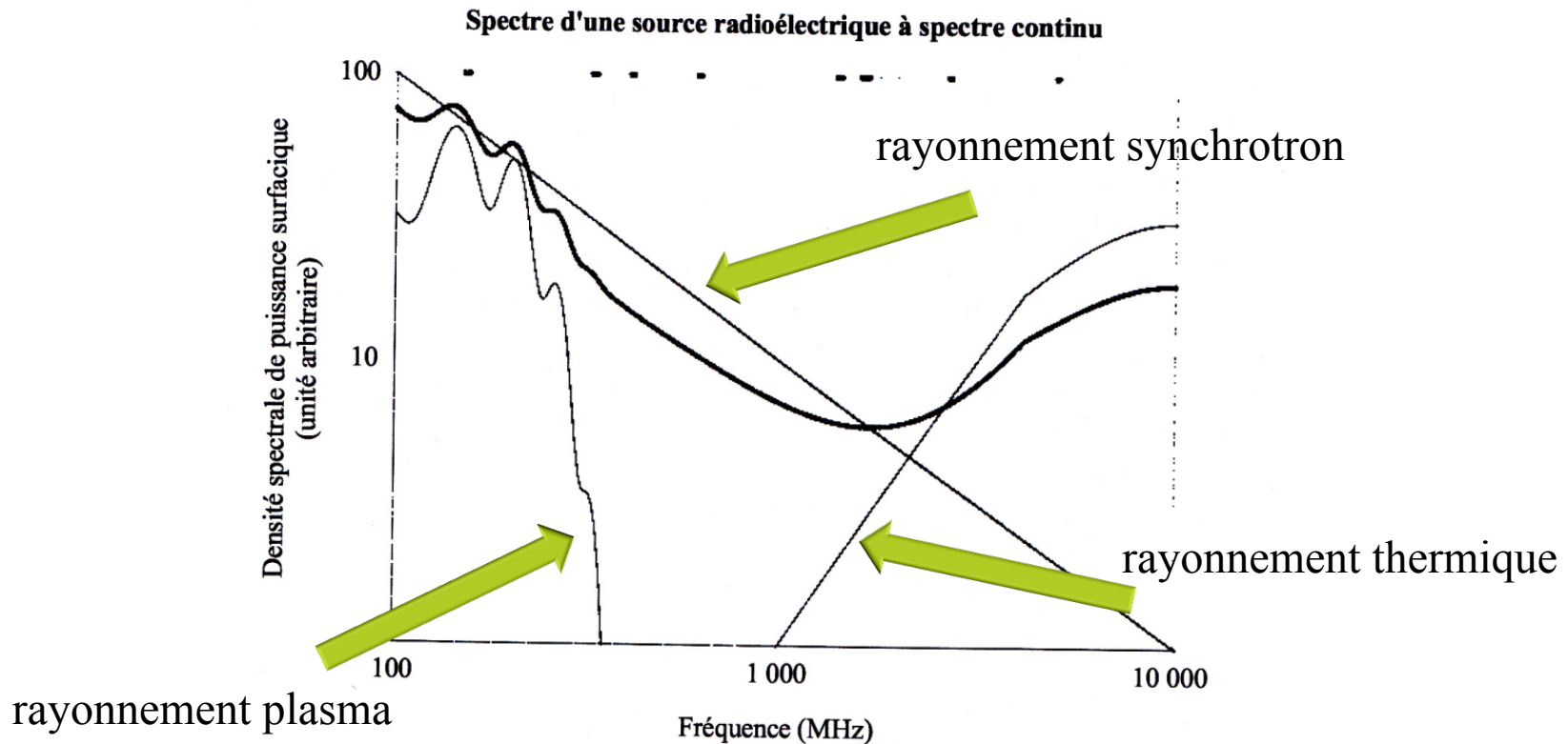
- ❑ Etallement progressif des émissions dans le spectre
- ❑ nombreuses radiosources discrètes sur bruit de fond
- ❑ Bruit de fond isotrope 2,73 K (reste du Big Bang)
- ❑ Crête du bruit de fond associée au plan galactique
- ❑ Sources discrètes
 - ❑ proches du plan galactique: le plus souvent, dans la Galaxie
 - ❑ hors du plan galactique: le plus souvent hors de la Galaxie (noyaux galactiques, quasars, ...)

I - Fréquences préférées de la radioastronomie

Rayonnement en spectre continu:

- ❑ Variabilité dans le temps:
 - ❑ Sursauts de quelques secondes à quelques heures
 - ❑ variations apériodiques
 - ❑ variations périodiques avec des périodes de quelques millisecondes (pulsars) à plusieurs jours (quasars)

I - Fréquences préférées de la radioastronomie



Le spectre d'émission résulte de l'association de plusieurs phénomènes

I - Fréquences préférées de la radioastronomie

Bandes privilégiées pour l'étude du rayonnement en spectre continu:

- ❑ Plusieurs phénomènes observables seulement < 30 MHz
 - ❑ absorption par les gaz ionisés en avant plan de la galaxie
 - ❑ autoabsorption dans les galaxies
 - ❑ émissions basses fréquences des nuage de plasma ténus
 - ❑ sursauts d'émission de Jupiter

- ❑ Sursauts solaires, surtout < 300 MHz

- ❑ Pulsars: Plus faciles à observer dans 30 MHz – 15 GHz

I - Fréquences préférées de la radioastronomie

Ressources nécessaires pour déterminer le spectre d'émission:

- ❑ Couvrir l'étendue des fréquences observables depuis le sol: 10 MHz – 1000 GHz
- ❑ Une observation à chaque octave du spectre suffit généralement
- ❑ Niveau minimal du signal détectable proportionnel à $1/\sqrt{\Delta \lambda}$
 - ❑ largeur de bande souhaitable 10%
 - ❑ largeur de bande minimale 2%

Bandes attribuées au SRA convenant le mieux à l'observation du rayonnement à spectre continu

Bande (MHz)	Largeur (%)	Bande (GHz)	Largeur (%)
13,360-13,410	0,37	10,6-10,70	0,94
25,550-25,670	0,49	15,35-15,40	0,33
37,5-38,25	1,98	22,21-22,50	1,30
73-74,6*	2,17	23,6-24,00	1,68
150,05-153*	1,95	31,33-31,80	1,58
322-328,6	2,03	42,5-43,50	2,33
406,1-410	0,96	76-116	41,67
608-614*	0,98	123-158,5	25,22
1 400-1 427	1,91	164-167	1,81
1 660-1 670	0,60	200-231,5	14,60
2 655-2 700	1,68	241-248	2,87
4 800-5 000	4,08	250-275	9,52

I - Fréquences préférées de la radioastronomie

Observations basse fréquence < 50 MHz du spectre continu:

- ❑ Résolution < 1° → Diamètre antenne = plusieurs km
- ❑ Aucune bande < 13 MHz
- ❑ Usage intensif des réflexions ionosphériques pour les transmissions télécom. → brouillage quasi universel
- ❑ Rares observations depuis le sol < 10 MHz depuis la Tasmanie (site privilégié) ont fixé à 1,5 MHz la limite pratique des mesures RA depuis le sol

I - Fréquences préférées de la radioastronomie

Observations du spectre continu aux ondes centimétriques et au-delà (>3 GHz):

- ❑ Minima d'absorption atmosphérique par O₂ et H₂O aux environs de 30, 90, 150, 240, 410, 670 et 850 GHz
- ❑ Aujourd'hui, Pas de bande attribuée > 275 GHz
- ❑ Les bandes protégées de la RA offrent un échantillonnage convenable
- ❑ Les services actifs exigent de plus en plus de bandes à fréquences élevées (communications large bande)
- ❑ Pas d'espoir pour obtenir une bande protégée supplémentaire pour la RA < 100 GHz

I - Fréquences préférées de la radioastronomie

Rayonnement en raies spectrales:

- ❑ Transitions des électrons d'un atome ou d'une molécule entre différents niveaux d'énergie quantifiés
- ❑ Fréquences bien déterminées, émission ou absorption
- ❑ Plus déplacements doppler
- ❑ 1^{ere} observation de la transition de la raie HI à 1420 MHz (21 cm) en 1951. Observée (absorption) jusqu'à 300 MHz
- ❑ Depuis, observation de plus de 10000 transitions pour 125 molécules et isotopes entre 0,7 et 350 GHz
- ❑ Permet de déterminer la composition chimique et l'état des gaz stellaires et interstellaires

I - Fréquences préférées de la radioastronomie

Bandes préférées pour l'observation des raies spectrales:

- ❑ l'UAI (Union Astronomique internationale) établit la liste des raies les plus importantes
- ❑ Ces valeurs sont reprises par l'UIT-R RA.314
- ❑ La protection tient compte de vitesses radiales dans notre galaxie de ± 300 km/s ($\approx \pm 0,1\%$ déplacement fréquentiel doppler)
- ❑ On essaye d'étendre vers le bas chaque bande pour la détection des raies dans d'autres galaxies
- ❑ Intérêt particulier de la raie HI

Début du tableau des raies les plus intéressantes < 275 GHz

Corps	Fréquence intrinsèque	Bande minimale suggérée (± 300 km/s)	Notes
Deuterium (DI)	327,384 MHz	327,0-327,7 MHz	
Hydrogène (HI)	1 420,406 MHz	1 370,0-1 427,0 MHz	Ext., Insuf.
Radical oxhydryle (OH)	1 612,231 MHz	1 606,8-1 613,8 MHz	Ext.
Radical oxhydryle (OH)	1 665,402 MHz	1 659,8-1 667,1 MHz	Ext.
Radical oxhydryle (OH)	1 667,359 MHz	1 661,8-1 669,0 MHz	Ext.
Radical oxhydryle (OH)	1 720,530 MHz	1 714,8-1 722,2 MHz	Insuf., Ext.
Méthyladyne (CH)	3 263,794 MHz	3 252,9-3 267,1 MHz	Insuf., Ext.
Méthyladyne (CH)	3 335,481 MHz	3 324,4-3 338,8 MHz	Insuf., Ext.
Méthyladyne (CH)	3 349,193 MHz	3 338,0-3 352,5 MHz	Insuf., Ext.
Formaldéhyde (H ₂ CO)	4 829,660 MHz	4 813,6-4 834,5 MHz	Insuf., Ext.
Méthanol (CH ₃ OH)	6 668,518 MHz	6 661,8-6 675,2 MHz	Insuf.
....

Ext: demande d'extension pour prise en compte $v_r = 1000$ km/s

Insuf. : protection insuffisante (non primaire, largeur, ...)

Début du tableau des raies les plus intéressantes > 275 GHz

Corps	Fréquence intrinsèque (GHz)	Bande minimale suggérée (GHz)	Notes
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	
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 (O_2)	368,498	368,13-368,87	
Diazénylium (N_2H^+)	372,672	372,30-373,05	*
...	

* Observable depuis l'extérieur de l'atmosphère seulement

I - Fréquences préférées de la radioastronomie

Problèmes d'observation des raies spectrales en dessous de 275 GHz (premier tableau):

- ❑ La plupart des raies spectrales < 275 GHz détectables mais non citées dans le tableau ne bénéficient d'aucune protection
- ❑ Souvent l'attribution de bande à la RA ne l'est pas à titre primaire
- ❑ L'extension du spectre des services actifs rendra impossible l'observation de nombre de ces raies
- ❑ C'est en particulier le cas pour les fréquences attribuées aux services émettant depuis les satellites

II - Détection et filtrage

Petite digression sur le décibel

- ❑ Les logarithmes ont été inventés pour simplifier les calculs en remplaçant les multiplications par des additions
- ❑ Dans les transmissions, le décibel exprime des rapports de puissance entre deux signaux:
$$A \text{ [dB]} = 10 \log_{10}(P_1/P_0)$$
- ❑ $A = 10 \text{ dB}: P_1 = 10 P_0$; $A = 20 \text{ dB}: P_1 = 10 \times 10 P_0 = 100 P_0$
 $A = 100 \text{ dB}: P_1 = 10 \times 10 \times \dots \times 10 P_0 = 10\,000\,000\,000 P_0$
valeur remarquable $A = 3 \text{ dB} : P_1 \approx 2 P_0$
- ❑ Si on prend une valeur d'origine pour P_0 (1 Watt par exemple), on obtient une échelle absolue (le dBw)

II - Détection et filtrage

Petite digression sur le décibel

- ❑ Avantages de calcul: les effets d'affaiblissement sont souvent multiplicatifs
- ❑ La perception suit le plus souvent des échelles logarithmiques (exemple l'échelle des magnitudes des étoiles)
- ❑ Rend plus facile l'appréhension des valeurs extrêmes
 - ❑ exemple: un facteur d'affaiblissement de puissance de 0,0000000001 correspond à -100 dB
- ❑ On parlera souvent du rapport signal/bruit avec des valeurs de 3 ou 6 dB par exemple

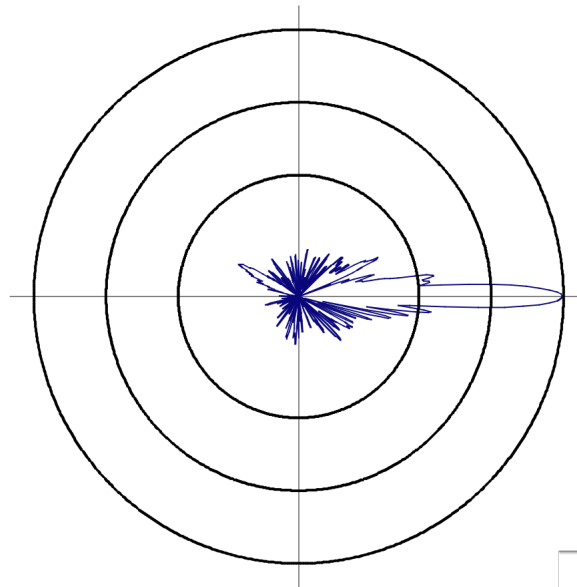
II - Détection et filtrage

L'antenne

- ❑ Développement continu des techniques d'amplification à faible bruit ($T_{\text{récepteur}} \approx 2 \text{ K}$ à 1,4 GHz), sensibilité proche limites théoriques
- ❑ Fréquences de + en + élevées et bandes de + en + larges
- ❑ Résolution angulaire en λ / D , donc valeurs de D très grandes ($> 100 \lambda$)
- ❑ Ouverture mesurée à 3 dB sur le faisceau principal
- ❑ Lobes latéraux: la réception ne se limite pas à la seule direction de visée
 - ❑ Porte ouverte au brouillage latéral
 - ❑ Modèles de gain des lobes latéraux

II - Détection et filtrage

Diagramme polaire dans le plan à 0° d'une antenne de station terrienne de 59 cm de diamètre exploitée à 12,5 GHz. Le cercle extérieur correspond à un gain de 35 dB, le cercle du milieu à un gain de 20 dB et le cercle intérieur à un gain de 5 dB



II - Détection et filtrage

Le signal

- ❑ En télécom
 - ❑ Le signal recherché est de forme déterminée (fréquence modulée) sur fond de bruit
 - ❑ Les rapports S/N sont couramment de l'ordre de 1 ou plus
 - ❑ On recherche la valeur instantanée du signal
 - ❑ L'extraction du signal (filtrage) s'appuiera sur les propriétés d'autocorrélation du signal utile

II - Détection et filtrage

Le signal

- ❑ En RA
 - ❑ Le signal recherché est un bruit présentant les mêmes caractéristiques que le bruit thermique rayonné par la terre
 - ❑ L'amplitude du signal est généralement gaussienne
 - ❑ Les rapports S/N sont de l'ordre de -20 dB à -60 dB (cent à un million de fois plus faible que le bruit)
 - ❑ On s'intéresse aux caractéristiques statistiques du signal
 - ❑ L'extraction du signal s'appuiera sur l'intégration des données sur une période longue (typ. 2000 s). La sensibilité est proportionnelle à la rac. carrée du temps d'intégration: Passer de 2000 s à 36000 s ($\times 18$) augmente la sensibilité de 6,3 dB = $10\log_{10}(\sqrt{18})$ tant pour le signal que pour le bruit

II - Détection et filtrage

Nouvelle digression sur le bruit

- ❑ Le bruit est un signal non corrélé, c-à-d sa valeur à un instant donné n'a rien à voir avec la valeur qu'il avait l'instant auparavant ni avec celle de l'instant d'après
- ❑ Causé par un très grand nombre d'évènements individuels, la distribution de l'amplitude des bruits thermiques suit une loi gaussienne
- ❑ Une répartition égale de la densité de puissance sur les fréquences caractérise un bruit blanc (approximation locale souvent valable)

II - Détection et filtrage

Mesure du rayonnement à spectre continu

- ❑ Mesure sur plusieurs fréquences, généralement à intervalles de 1 octave du fait de la progressivité fréquentielle du spectre
 - ❑ Intervalles plus rapprochés pour des distributions particulières (pulsars, ...)

- ❑ Sensibilité liée au rapport de la largeur de bande de fréquences d'intégration sur le pas de mesure (10% souhaitable, 2% minimum)

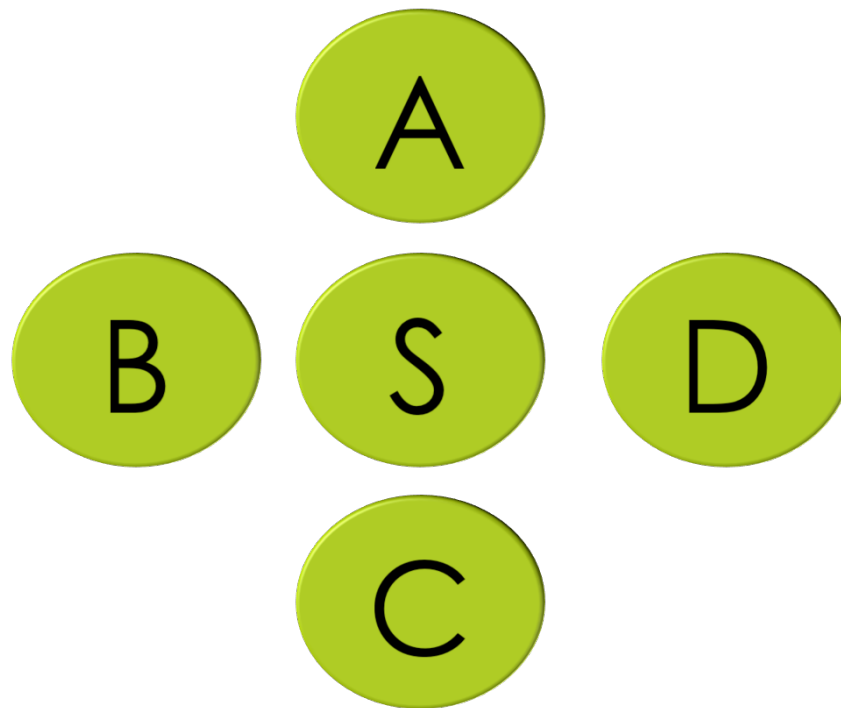
II - Détection et filtrage

Mesure du rayonnement à spectre continu

- ❑ Procédure usuelle: cartographie par balayages parallèles d'une grille de points
 - ❑ Séparation des lignes et des points $< \frac{1}{2}$ ouverture
 - ❑ Balayage par lignes à élévation identique pour garder constante l'incidence des rayonnements au sol dans les lobes latéraux
 - ❑ Temps nécessaire long, suppose les caractéristiques mesurées constantes sur cette période
- ❑ Si temps limité, balayage de points autour de la source

Compensation du bruit de fond par balayage autour d'un point

$$P=S-(A+B+C+D)/4$$

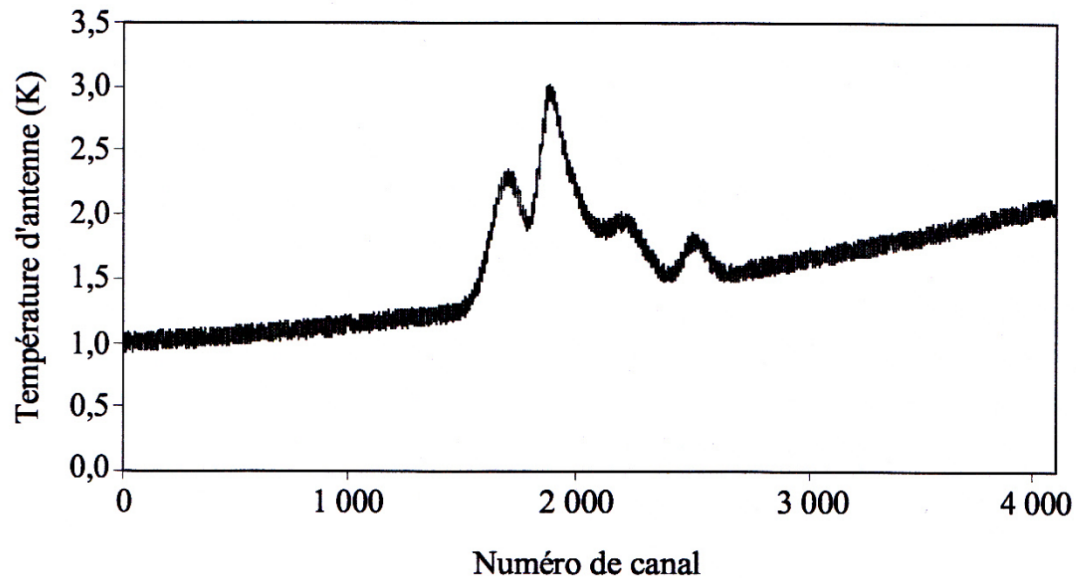


II - Détection et filtrage

Mesure des raies spectrales

- ❑ La bande passante du récepteur est divisée en un grand nombre de canaux (4096 ou plus) par traitement numérique du signal
- ❑ Les mesures sont répétées:
 - ❑ à des fréquences légèrement différentes (pente et ondulation de la bande passante)
 - ❑ dans des directions voisines (émissions du fond cosmique)

Exemple de profil à la sortie du récepteur de la raie spectrale HI



L'élargissement de la raie spectrale monofréquence s'explique par les vitesses radiales des particules émettrices

II - Détection et filtrage

L'interférométrie

- ❑ Champ angulaire = ouverture à mi-puissance d'une des antennes du réseau
- ❑ Résolution angulaire = λ / L (L = écartement des antennes)
 - ❑ 1 s d'arc $\rightarrow L = 200000 \lambda$
 - ❑ avec $L \approx$ diamètre de la Terre $\approx 10^7 \lambda$, précision de l'ordre de 1 ms
 - ❑ VLBI spatiale
- ❑ La résolution obtenue par la VLBI est au moins 10 fois supérieure à celle qui pourrait être atteinte dans une autre partie du spectre
- ❑ Moins vulnérable au brouillage (seuils de 40 dB supérieurs)

II - Détection et filtrage

L'interférométrie

- ❑ Problèmes: les différentes antennes doivent fonctionner comme une seule et avoir une même référence d'espace et de temps
- ❑ Distance: incertitude sur la ligne de base $< 10^{-8}$
- ❑ Coordonnées de référence: les pulsars
 - ❑ dimensions de 10^{-7} à 10^{-10} secondes d'arc
 - ❑ positions de plusieurs centaines de sources extragalactiques déterminées à mieux que 0,5 ms

II - Détection et filtrage

L'interférométrie

- ❑ Temps: utilisation de masers à hydrogène à 10^{-14} de stabilité
 - ❑ Malgré tout insuffisant, limite le temps d'intégration cohérent à 100 GHz à 1000 s
 - ❑ Utilisation d'horloges atomiques individuelles
 - ❑ Pulsars d'1 ms de période: très stables, dérive de période de l'ordre de 10^{-18} à 10^{-20}

III - Brouillage, occultations, partage

Seuil de brouillage nuisible

- ❑ Emissions étudiées:
 - ❑ puissance surfacique souvent inférieure de 100 dB à celle des signaux artificiels
 - ❑ caractéristiques de bruit
 - ❑ ⇒ grande vulnérabilité au brouillage

- ❑ Le seuil de nuisance est calculé sur la base d'une augmentation de 10% des fluctuations dues au bruit du système

III - Brouillage, occultations, partage

Seuil de brouillage nuisible

- ❑ Le brouillage parvient typiquement par les lobes latéraux
- ❑ Il existe des modèles pour l'enveloppe géométrique des lobes latéraux du type:
$$G = 32 - 25 \log_{10} \phi \text{ dBi pour } 1^\circ < \phi < 47,8^\circ$$
$$G = -10 \text{ dBi pour } \phi > 47.8^\circ$$
- ❑ Les seuils sont calculés en supposant que le signal brouilleur parvient par le lobe à 0 dBi, soit, selon le modèle standard, sous une incidence de $19,1^\circ$
 - ❑ seuil dépassé donc si l'incidence est plus faible

III - Brouillage, occultations, partage

Seuil de brouillage nuisible

- ❑ Le temps d'intégration est pris égal à 2000 s
- ❑ Pour l'observation en spectre continu, la largeur de bande d'intégration est prise égale à la largeur de la bande allouée à la RA, avec un maximum de 8 GHz (au delà de 71 GHz)
- ❑ Pour l'observation en raies spectrales, on choisit une largeur de canal caractéristique, correspondant à une vitesse radiale de 3 km/s
- ❑ On obtient ainsi des tableaux de seuils de référence utilisés dans la réglementation internationale

III - Brouillage, occultations, partage

Seuils de brouillage nuisibles pour les observations en spectre continu (extrait)

Fréquence centrale f (MHz)	Largeur de bande Δf (MHz)	Puissance (dBW)	Puissance surfacique (dB(W/m ²))	Densité dB(W/(m ² · Hz))
13,385	0,05	-185	-201	-248
25,610	0,12	-188	-199	-249
73,8	1,6	-195	-196	-258
151,525	2,95	-199	-194	-259
...
875 000	8 000	-180	-100	-199
940 000	8 000	-179	-98	-197

III - Brouillage, occultations, partage

Seuils de brouillage nuisibles pour les observations en raies spectrales (extrait)

Fréquence centrale f (MHz)	Largeur de bande Δf (MHz)	Puissance (dBW)	Puissance surfacique (dB(W/m ²))	Densité dB(W/(m ² · Hz))
327	10	-215	-204	-244
1 420	20	-220	-196	-239
1 612	20	-220	-194	-238
1 665	20	-220	-194	-237
...
875 000	1 000	-200	-119	-179
940 000	1 000	-199	-118	-178

III - Brouillage, occultations, partage

Seuil de brouillage pour les réseaux interférométriques

- ❑ Les calculs sont plus compliqués et font intervenir plusieurs phénomènes
- ❑ Entre autres, les sources de brouillage terrestres n'agissent pas de la même manière et au même moment sur les différentes antennes
- ❑ En VLA, l'effet du brouillage diminue avec l'écartement des antennes
- ❑ En VLBI, le phénomène de décorrélation des antennes domine la fixation du seuil de brouillage
- ❑ En tout, le gain peut atteindre 40 dB

III - Brouillage, occultations, partage

Trajectoire des signaux brouilleurs

- ❑ Depuis la Terre:
 - ❑ Visibilité directe
 - ❑ ⇒ Partage très difficile

- ❑ Emetteurs fixes:
 - ❑ ⇒ distance (rotondité de la Terre)
 - ❑ ⇒ Ecrans naturels (montagnes)
 - ❑ Inaccessibilité des basses élévations à la RA

- ❑ Emetteurs mobiles:
 - ❑ ⇒ Limitation de puissance

III - Brouillage, occultations, partage

Trajectoire des signaux brouilleurs

- ❑ Depuis la Terre:
 - ❑ Réflexion/diffusion sur les couches atmosphériques
 - ❑ Inaccessibilité de certaines bandes sauf en des endroits privilégiés

- ❑ Depuis la Terre:
 - ❑ Réflexion sur les aéronefs
 - ❑ ⇒ Ecarter les échantillons enregistrés aberrants

III - Brouillage, occultations, partage

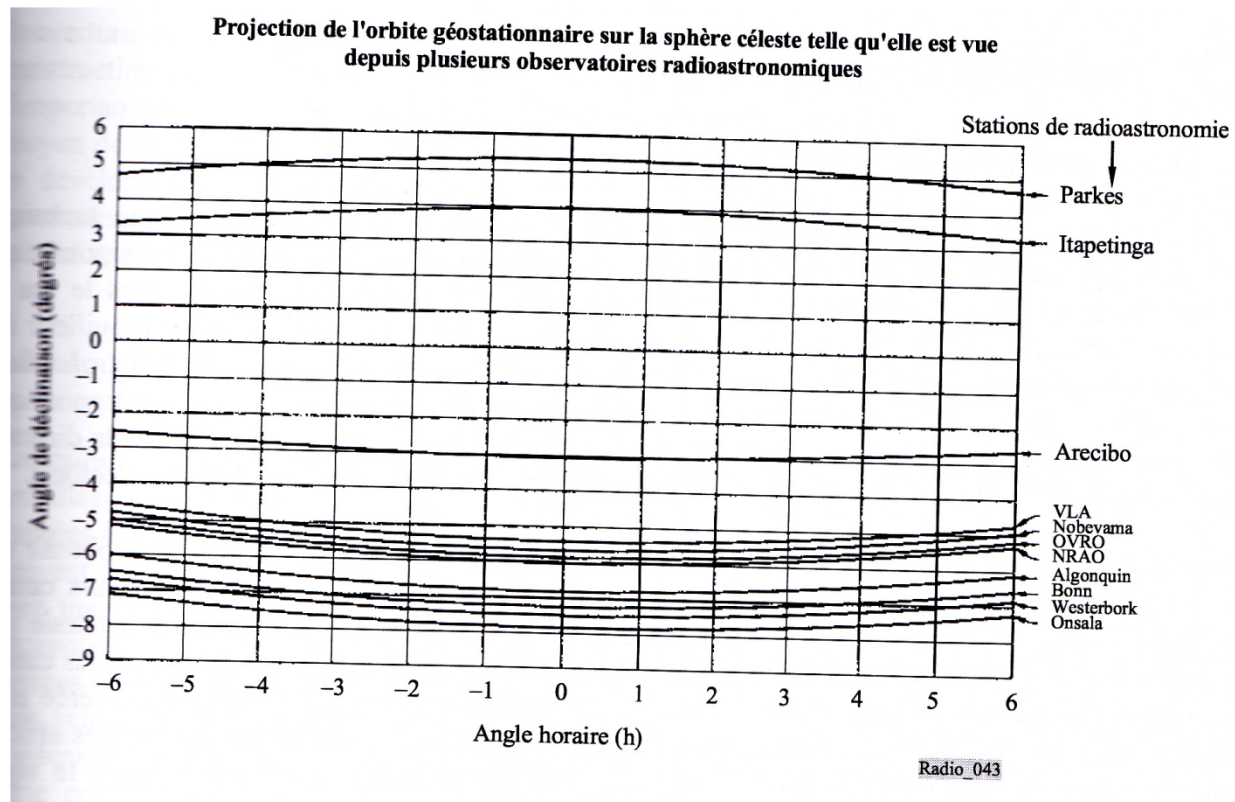
Trajectoire des signaux brouilleurs

- ❑ Depuis les aéronefs et ballons en visibilité directe:
 - ❑ 20 km d'altitude, visible à 600 km
 - ❑ \Rightarrow Partage très difficile sauf en des endroits peu passants

- ❑ Depuis l'espace en visibilité directe
 - ❑ Notamment les orbites géostationnaires qui bouchent le ciel
 - ❑ Occultation de $\pm 5^\circ$ autour de la trajectoire

III - Brouillage, occultations, partage

Occultation d'une bande céleste par le brouillage depuis l'orbite géostationnaire



III - Brouillage, occultations, partage

Partage avec la recherche en espace lointain

- ❑ L'espace lointain est défini comme $d > 2 \times 10^6$ km
- ❑ La recherche en espace lointain utilise régulièrement les bandes à 2,3 GHz et 8,4 GHz
- ❑ Puissance type 20 W antenne de 4 m de diamètre

III - Brouillage, occultations, partage

Partage avec la recherche en espace lointain

- ❑ Si l'émetteur est en limite d'espace lointain, puissances surfaciques reçues sur la Terre $-148 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ à 2,3 GHz et $-137 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ à 8,4 GHz
 - ❑ $>$ seuils préjudiciables pour les mesures de puissance totale
 - ❑ $<$ seuils VLBI

- ❑ A paramètres égaux, distance de séparation nécessaire pour éviter de brouiller les mesures de puissance totale: $6 \times 10^7 \text{ km}$ (une fois et demi la distance de Vénus à sa conjonction inférieure)

III - Brouillage, occultations, partage

Brouillage par des émetteurs fonctionnant dans d'autres bandes

- ❑ Coupure pas franche de la bande passante du spectre émis
- ❑ L'émetteur génère des harmoniques de sa fréquence d'émission de base
- ❑ Les techniques de modulation à large bande et d'étalement du spectre se traduit par des bandes latérales très larges
- ❑ Intermodulation de deux signaux ($mf_1 \pm nf_2$)
- ❑ Filtrage insuffisant des bandes adjacentes par le récepteur RA
- ❑ L'UIT-R a défini des limites aux émissions hors bande

IV - SETI

Le programme SETI

- ❑ Notre capacité de détection des signaux extraterrestres dépend de:
 - ❑ intensité des signaux
 - ❑ caractéristiques de l'antenne
 - ❑ sensibilité et agilité de fréquences
 - ❑ capacité à distinguer le signal reçu du bruit

- ❑ Les conditions d'intensité, de bruit, de distances sont les mêmes que pour la RA
 - ❑ Intégration nécessaire

IV - SETI

Le programme SETI

- ❑ Stratégies de choix des bandes d'émission
- ❑ Stratégies de choix de pointage
 - ❑ Programme d'observation des étoiles à moins de 100 années lumière (\approx 1000 étoiles similaires au soleil) avec un réseau d'antennes dédié
- ❑ Identification des signaux
 - ❑ sans doute à bande étroite
 - ❑ sans doute variable dans le temps
- ❑ Toute émission radioélectrique humaine est une source potentielle de brouillage et d'erreur

V - Attribution des fréquences et arbitrage des litiges

Spécificité des ondes et nécessité de la réglementation

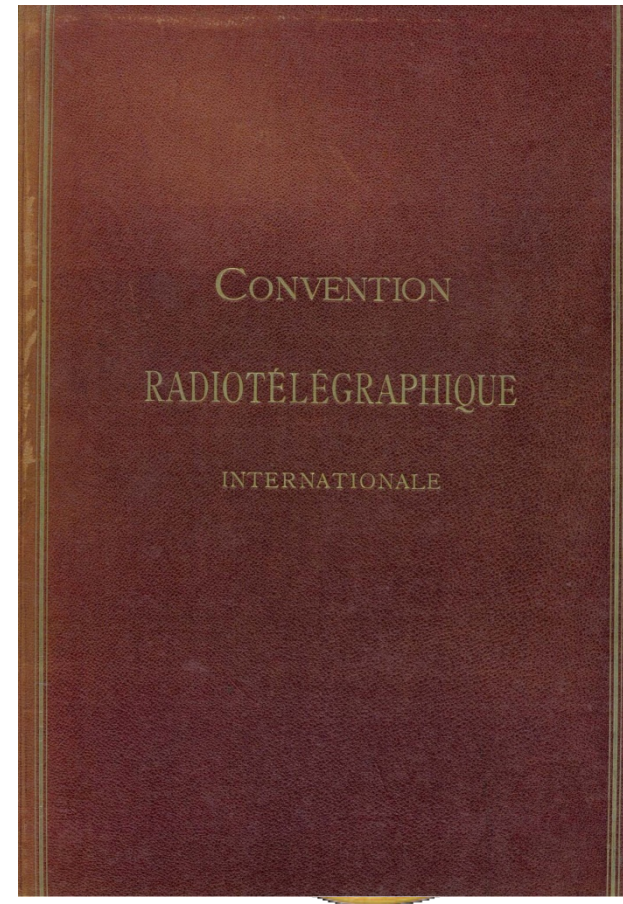
- ❑ Les ondes ne connaissent pas de frontières et la nécessité de la réglementation a été reconnue dès le début de l'ère radio
- ❑ Le spectre est une ressource limitée
- ❑ Toutes les parties, fournisseurs et utilisateurs, veulent des communications sans interférences, et la gestion du spectre est inévitable
- ❑ Le spectre a donc été réglementé *par nécessité*

V - Attribution des fréquences et arbitrage des litiges

Premiers pas historiques de la réglementation

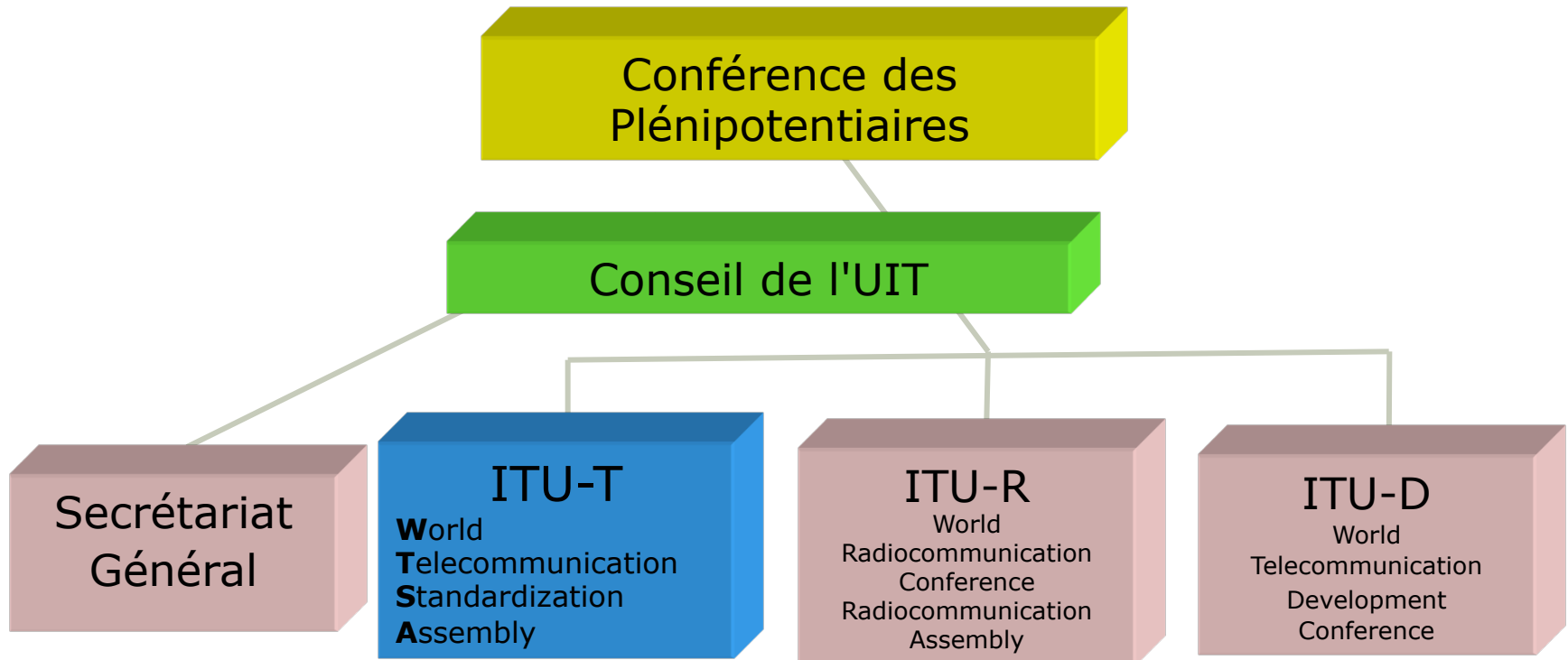
Il y a plus de 100 ans, au cours de la *Conférence radiotélégraphique de Berlin* en 1906, 29 pays ont adopté une *Convention Radiotélégraphique* à l'image de la *Convention Télégraphique Internationale*

Deux fréquences à 1000 et 500 kHz y ont été attribuées pour la correspondance publique. La bande entre 188 et 500 kHz a été réservée aux “services non ouvert à la correspondance publique”, c-à-d essentiellement militaires et navals



V - Attribution des fréquences et arbitrage des litiges

Structure de l'UIT



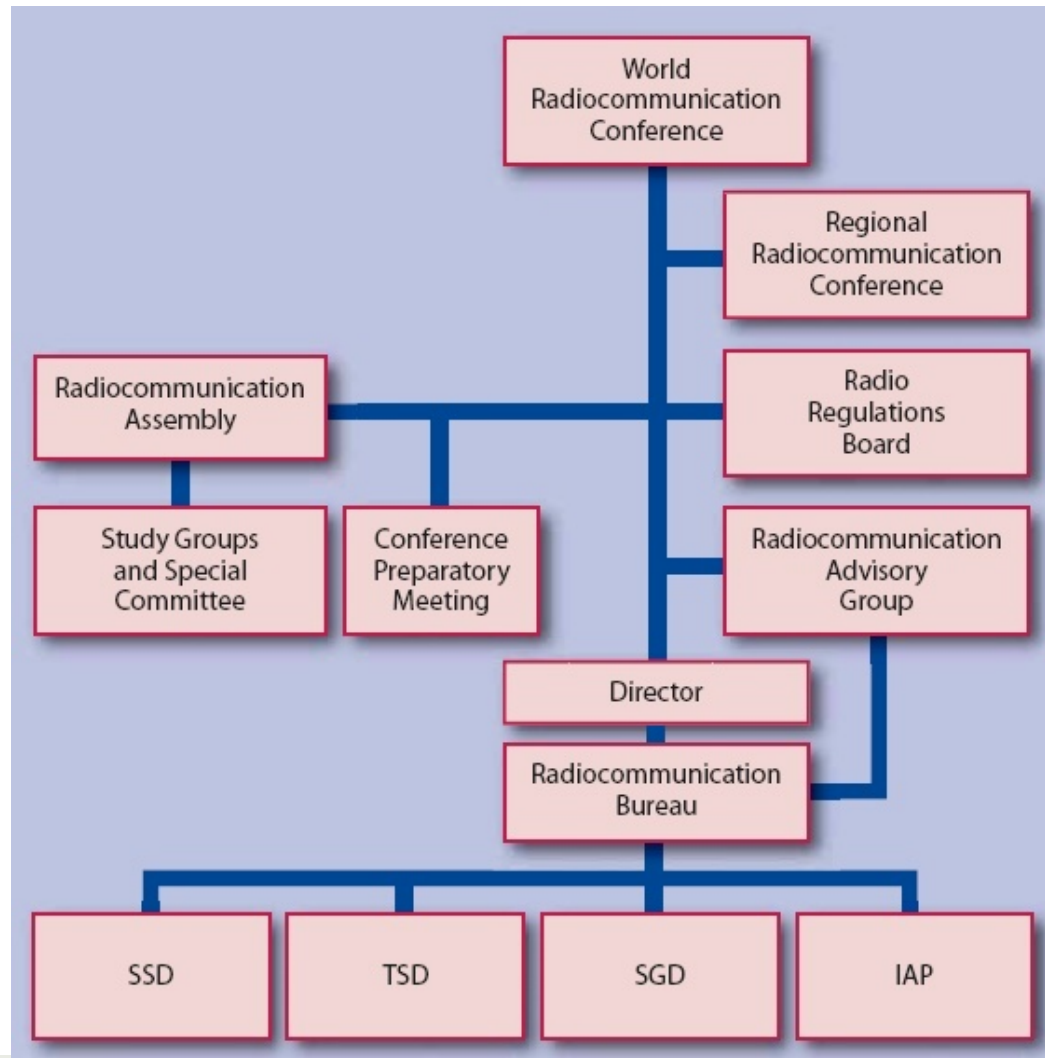
V - Attribution des fréquences et arbitrage des litiges

Objectifs de l'UIT-R

- Assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radiopar tous les services de radiocommunication
- Pas de limite aux fréquences
- Etablir des normes (Recommandations) en matière de radiocommunication
- Gérer le spectre:
 - Traiter les demandes d'allocation de spectre;
 - coordonner les besoins;
 - Tenir la base MIFR (Master International Frequency Register)

V - Attribution des fréquences et arbitrage des litiges

Structure de l'UIT-R



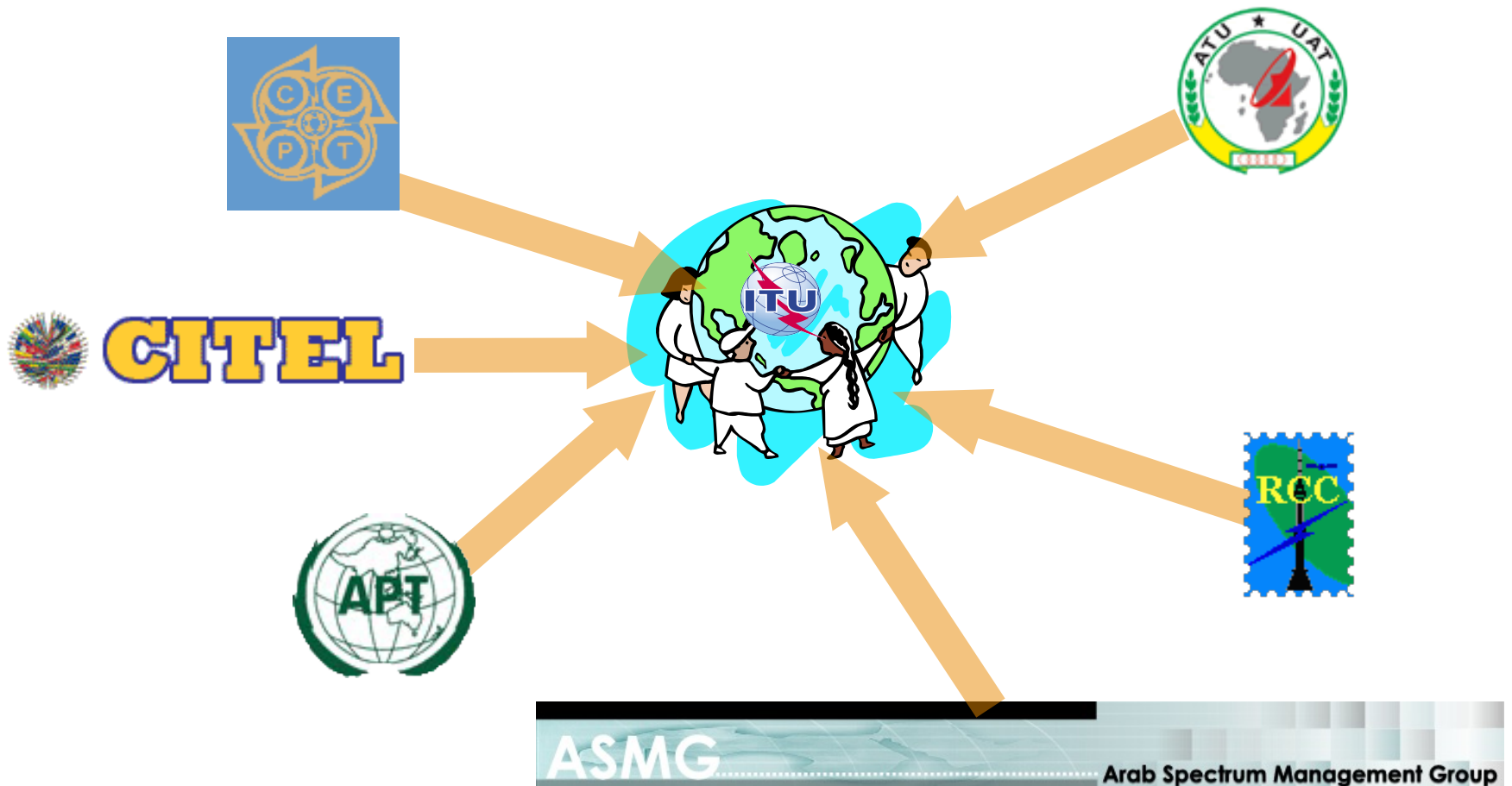
V - Attribution des fréquences et arbitrage des litiges

CMR: Conférence Mondiale des Radiocommunications

- CMR tenue tous les 2 ou 3 ans
- Révise le *Règlement des Radiocommunications* et les plans d'allocation associés sur la base d'un agenda établi par le *Conseil de l'UIT*, qui prend en compte les recommandations des précédentes CMR
- Le cadre général de l'agenda est établi 6 années à l'avance, et l'agenda final est fixé 2 années avant la CMR par le *Conseil de l'UIT* à la majorité des Etats membres
- Traite de tout sujet de radiocommunication à caractère mondial
- Donne des instructions au *Comité du Règlement des Radiocommunications* (RRB)
- Donne des *Questions* à étudier à l'*Assemblée des Radiocommunications* et ses *Commissions d'études* pour les futures CMR

V - Attribution des fréquences et arbitrage des litiges

Les propositions coordonnées régionales sont également soumises par les groupes et organisations régionales aux CMR



V - Attribution des fréquences et arbitrage des litiges

Assemblées des Radiocommunications

- Les Assemblées des Radiocommunications sont responsables du programme d'études
- Elles se tiennent normalement à la suite des CMR
- Elles organisent le travail des Commissions d'études
 - Etablissement des CE
 - Attribution des Questions
- Elles suggèrent des sujets pour l'agenda des futures CMR

V - Attribution des fréquences et arbitrage des litiges

RRB: Comité du règlement des Radiocomms

- *12 membres*, désignés par la *Conférence des Plénipotentiaires*, qui se réunissent normalement 4 fois par an à Genève
- Le RRB:
 - approuve les *Règles de Procédure* utilisées par le BR pour l'application du *RR* et l'enregistrement des fréquences
 - traite les sujets qui lui sont soumis par le Bureau qui ne peuvent être résolus par l'application du *RR* et des *Règles de Procédure*
 - ...

V - Attribution des fréquences et arbitrage des litiges

RRB: Comité du règlement des Radiocomms ...

- ▣ Etudie les rapports des enquêtes sur les cas de brouillage non résolus menées par le BR à la demande des Administrations et formule des Recommandations;
 - ▣ Fournit un avis aux *CMR* et aux *Assemblées des Radiocommunications*
 - ▣ Etudie les recours et appels contre les décisions prises par le Bureau des radiocommunications en matière d'assignation de fréquences
- ▣ Le Directeur du Bureau assure le secrétariat du RRB

V - Attribution des fréquences et arbitrage des litiges

Département des Services spatiaux (SSD) & Département des Services Terrestres (TSD)

- ▣ Responsables des procédures de coordination et d'enregistrement respectivement des systèmes spatiaux et de Terre
- ▣ Examinent et traitent les notices d'assignation de fréquences soumises par les Administrations et les saisissent dans la MIFR (Master International Frequency Register)
- ▣ Publient toutes les deux semaines la BIFIC (BR International Frequency Information Circular), partie Terre et partie Espace, qui est un document de service sur DVD, ainsi que sa préface (guide)

V - Attribution des fréquences et arbitrage des litiges

MIFR (Master International Frequency Register)

- ▣ 1,8 millions assignations de fréquences pour les services de Terre, et 1,1 millions pour les services spatiaux, fin 2008
- ▣ En 2008, le BR a publié plus de 120'000 notices (services de Terre) et 1'300 enregistrements de réseaux satellitaires représentant environ 500'000 fréquences assignées et 300 stations terriennes et de RA

V - Attribution des fréquences et arbitrage des litiges

Commissions d'études

- ▣ Etablissent les bases techniques sur lesquelles s'appuieront les Conférences des Radiocommunications
- ▣ Elaborent des Recommandations techniques
- ▣ Rédigent des manuels

Commissions d'études

- CE 1 - Gestion du spectre
- CE 3 - Propagation des ondes radioélectriques
- CE 4 - Services par satellite
- CE 5 - Services de terre
- CE 6 - Service de radiodiffusion
- *CE 7 - Services scientifiques*
- CCV - Comité de coordination pour le vocabulaire
- RPC - Réunion de préparation à la Conférence
- *SC - Commission spéciale*

V - Attribution des fréquences et arbitrage des litiges

La CE7 – Services scientifiques

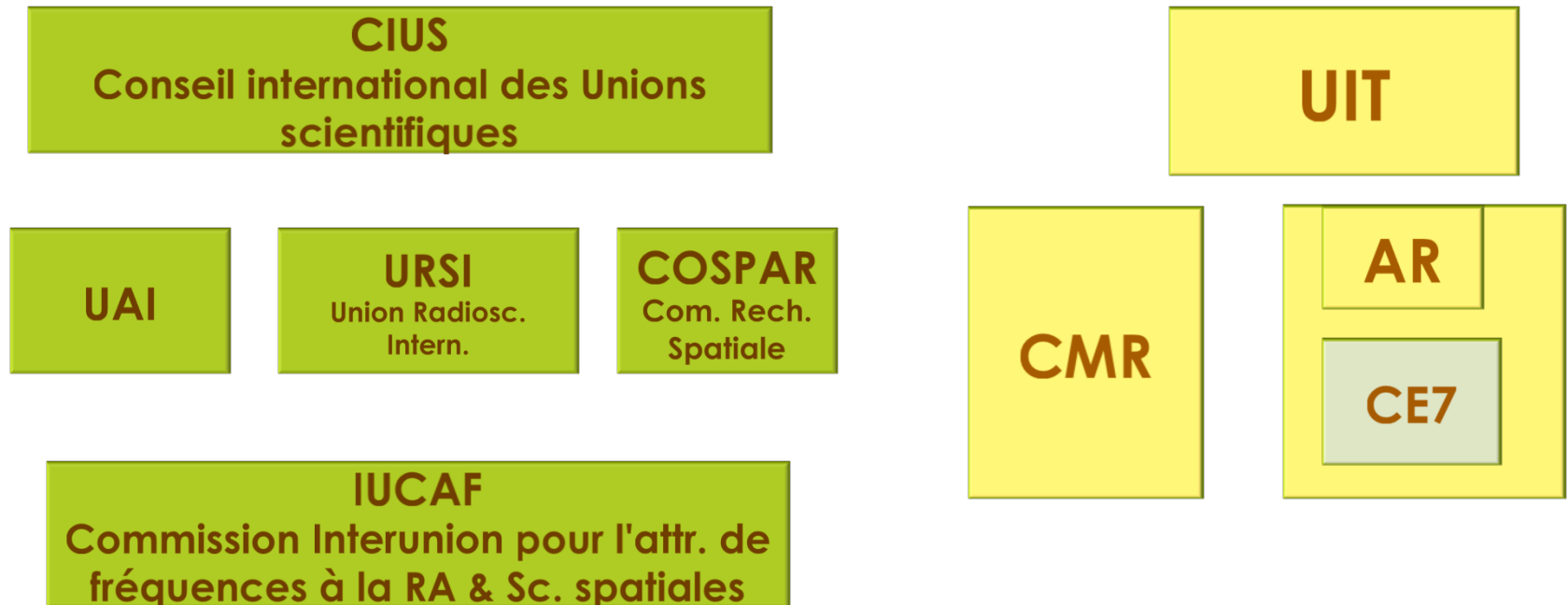
- ❑ La Radioastronomie, reconnue comme service pour la 1^{ère} fois à la CAMR-1959
- ❑ Sciences spatiales
- ❑ Signaux horaires et fréquences étalons

Mais aussi ...

- ❑ Recherche d'une intelligence extraterrestre (SETI)
- ❑ Astronomie radar depuis la terre

V - Attribution des fréquences et arbitrage des litiges

Relations avec les organismes internationaux de RA



V - Attribution des fréquences et arbitrage des litiges

Le Règlement des Radiocommunications

C'est un texte qui a force de traité international, qui contient les décisions des CMR, y compris les Appendices, Résolutions, Recommandations et Recommandations UIT-R incorporées par référence.

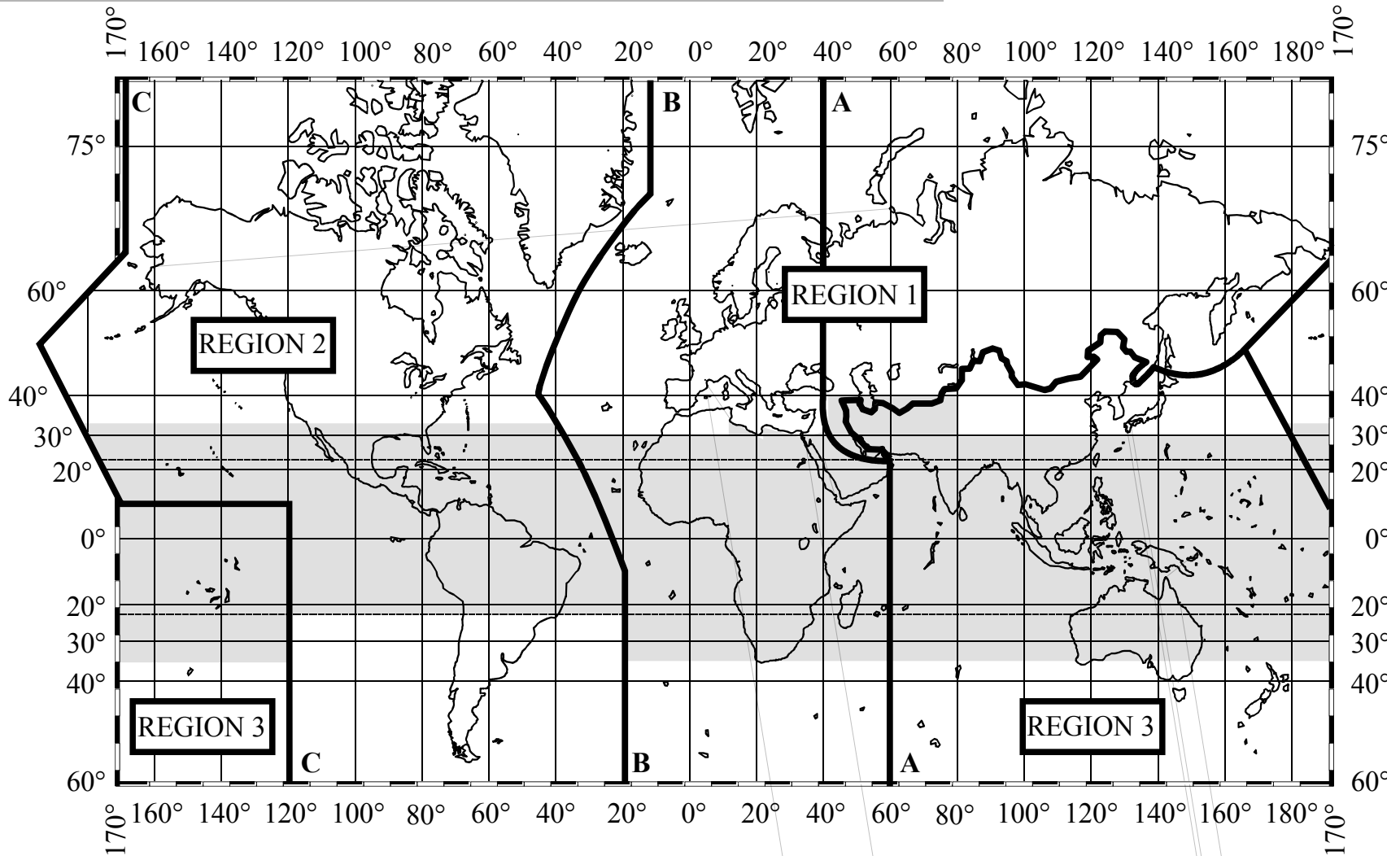


- Allocation de blocs de fréquences aux services de radio définis
- Procédures réglementaires obligatoires ou volontaires pour l'allocation des fréquences

Séries des Recommandations UIT-R

- BO: Satellite delivery
- BR: Recording for production, archival and play-out; film for television
- BS: Broadcasting service (sound)
- BT: Broadcasting service (television)
- F: Fixed service
- M: Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services
- P: Radiowave propagation
- *RA: Radio astronomy*
- RS: Remote sensing systems
- S: Fixed-satellite service
- SA: Space applications and meteorology
- SF: Frequency sharing and coordination between fixed-satellite and fixed service systems
- SM: Spectrum management
- SNG: Satellite news gathering
- TF: Time signals and frequency standards emissions
- V: Vocabulary and related subjects

Régions radio UIT

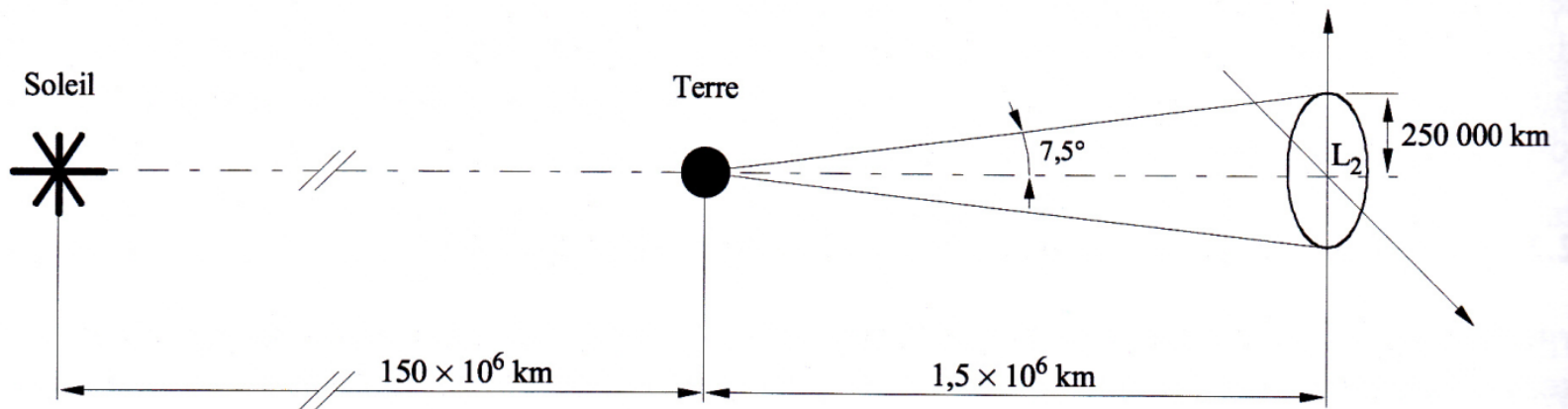


VI – Les zones de tranquillité radio

Les attributions de l'UIT vont au-delà du champ terrestre

- ▣ Le point de Lagrange L_2

Géométrie type d'une orbite L_2



VI – Les zones de tranquillité radio

Les attributions de l'UIT vont au-delà du champ terrestre

- Zone tranquille de la Lune
 - zone au-delà de $23,2^\circ$ du limbe principal de la Lune

