

**UIT-R**

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R RS.2043-0**  
(02/2014)

**Caractéristiques des radars à ouverture  
synthétique fonctionnant dans le service  
d'exploration de la Terre par satellite  
(active) au voisinage de 9 600 MHz**

**Série RS**  
**Systemes de télédétection**



## 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 l'Annexe 1 de 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 oeuvre 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

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

Séries	Titre
<b>BO</b>	Diffusion par satellite
<b>BR</b>	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
<b>BS</b>	Service de radiodiffusion sonore
<b>BT</b>	Service de radiodiffusion télévisuelle
<b>F</b>	Service fixe
<b>M</b>	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
<b>P</b>	Propagation des ondes radioélectriques
<b>RA</b>	Radio astronomie
<b>RS</b>	<b>Systemes de télédétection</b>
<b>S</b>	Service fixe par satellite
<b>SA</b>	Applications spatiales et météorologie
<b>SF</b>	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
<b>SM</b>	Gestion du spectre
<b>SNG</b>	Reportage d'actualités par satellite
<b>TF</b>	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
<b>V</b>	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, 2014

© UIT 2014

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 RS.2043-0

**Caractéristiques des radars à synthèse d'ouverture fonctionnant dans le service d'exploration de la Terre par satellite (active) au voisinage de 9 600 MHz**

(2014)

**Domaine d'application**

La présente Recommandation donne les caractéristiques des radars à synthèse d'ouverture fonctionnant dans le service d'exploration de la Terre par satellite (active) et ayant des attributions au voisinage de 9 600 MHz. Les renseignements qui y figurent devraient permettre d'effectuer des études de partage et de compatibilité avec d'autres services de radiocommunication coexistant dans la même gamme de fréquences, ou dans des gammes de fréquences voisines. Cette gamme de fréquences est notamment utilisée par les systèmes de télédétection par satellite qui sont mis en œuvre avec des largeurs de bande différentes pour les transmissions radar, comprises entre 100 MHz et 1 200 MHz au plus.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que la télédétection spatiale par capteurs actifs à hyperfréquences nécessite des gammes de fréquences spécifiques, selon les phénomènes physiques à observer;
- b) que certaines bandes de fréquences ont été attribuées pour la télédétection spatiale par capteurs actifs à hyperfréquences;
- c) que la largeur de bande de transmission d'un capteur radar est directement liée à la résolution de mesure que l'on peut obtenir;
- d) que les informations fournies par les radars à haute résolution font l'objet d'une demande croissante, comme le montre le Rapport UIT-R RS.2274;
- e) que des observations effectuées dans la gamme de fréquences des 9 GHz permettent d'obtenir des données essentielles pour l'étude des caractéristiques de la Terre et de ses phénomènes naturels, y compris des données relatives à l'état de l'environnement;
- f) que seule la gamme de fréquences des 9 600 MHz présente des conditions idéales en ce sens qu'elle offre la plus grande largeur de bande possible, avec de bonnes conditions de propagation,

*reconnaissant*

que la Recommandation UIT-R RS.1166 donne les critères de qualité de fonctionnement et de brouillage applicables aux capteurs du service d'exploration de la Terre par satellite (active), y compris aux radars à synthèse d'ouverture fonctionnant au voisinage de 9 600 MHz,

*recommande*

d'utiliser les caractéristiques des radars à synthèse d'ouverture spatioportés types fonctionnant dans la gamme des 9 GHz, telles qu'elles sont décrites dans l'Annexe, pour les études de partage et de compatibilité concernant le service d'exploration de la Terre par satellite (active) au voisinage de 9 600 MHz.

## Annexe

### Caractéristiques des radars à synthèse d'ouverture fonctionnant dans le service d'exploration de la Terre par satellite (active) au voisinage de 9 600 MHz

#### 1 Principes des radars à synthèse d'ouverture

Un radar à synthèse d'ouverture (SAR) est un système radar spatioporté cohérent à visée latérale qui utilise le trajet de vol d'un satellite pour émuler électroniquement une antenne ou une ouverture extrêmement large et qui produit des images de télédétection de haute résolution.

Généralement, un radar SAR est une antenne réseau à commande de phase active qui utilise non pas un grand nombre d'éléments d'antenne parallèles, mais un seul élément d'antenne à multiplexage temporel. Les différentes positions géométriques des éléments d'antenne résultent du déplacement de la plate-forme.

Le satellite se déplace dans la direction du vol, et son nadir pointe vers le centre de la Terre. Le faisceau à hyperfréquences, transmis obliquement à angle droit par rapport à la direction du vol, illumine un couloir. L'élévation correspond à la dimension transversale perpendiculaire à la direction du vol tandis que l'azimut correspond à la dimension longitudinale parallèle à la direction du vol. La largeur du couloir correspond à la bande à la surface de la Terre, depuis laquelle le radar à visée latérale collecte des données. Elle représente la largeur de la représentation de la zone illuminée en élévation. La dimension longitudinale du couloir est définie par le déplacement de l'aéronef par rapport à la surface tandis que sa largeur est mesurée perpendiculairement à la dimension longitudinale du couloir.

Les différents cycles d'émission/de réception (fréquence de répétition des impulsions) sont effectués dans le temps et les données recueillies au cours de chaque cycle sont stockées dans une mémoire à bord. Le traitement du signal utilise l'amplitude et la phase des signaux, sur plusieurs impulsions successives, transmis par les éléments du radar SAR. Après un certain nombre de cycles, les données stockées sont recombinaées pour créer une image haute résolution de la zone qui a été survolée.

#### 2 Modes opérationnels des radars SAR

##### 2.1 Géométrie

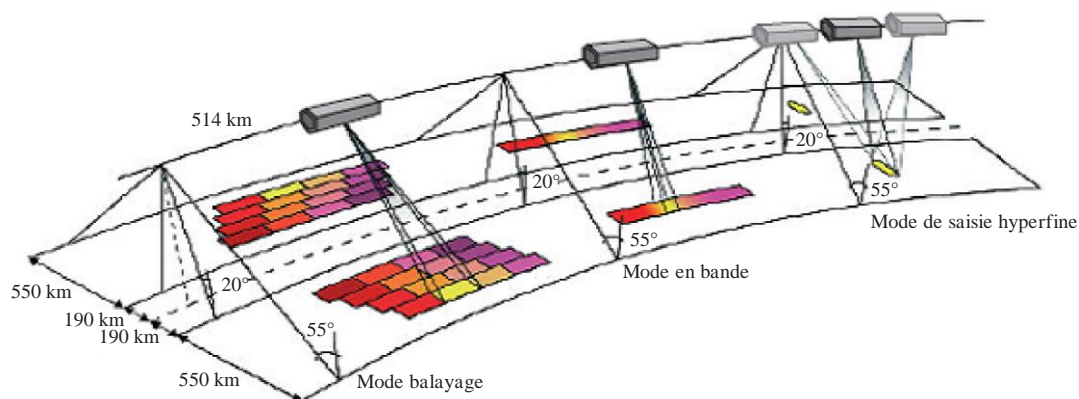
Les radars SAR exploités au voisinage de 9,6 GHz sont activés et désactivés depuis la Terre de façon à ne balayer que certaines zones à la surface de la Terre. Pour tous les modes opérationnels des radars SAR (Fig. 1), la largeur de bande totale des impulsions de 1 200 MHz n'est censée être utilisée que lorsque le radar fonctionne en mode de saisie hyperfine (spotlight).

Pour d'autres modes, on peut utiliser la bande de fréquences 9 300-9 900 MHz, conformément aux dispositions des renvois **5.475A**, **5.476A**, **5.478A** et **5.478B** du RR.

Dans le mode classique d'utilisation des radars SAR, c'est-à-dire le mode en bande (strip map), le radar est pointé perpendiculairement à la trajectoire du porteur et à un angle fixe d'incidence vers le sol. Il balaie ainsi un couloir ayant comme largeur celle du faisceau et comme longueur le trajet effectué par le porteur. En mode de balayage (scan), le radar peut illuminer plusieurs sous-couloirs en balayant avec son antenne dans différentes positions.

FIGURE 1

Modes opérationnels du radar à ouverture synthétique fonctionnant dans l'attribution de 9 GHz faite au service d'exploration de la Terre par satellite (SETS)



RS.2043-01

Le mode en saisie hyperfine (spotlight) permet d'obtenir la résolution la plus fine en orientant électroniquement le faisceau du radar vers la même zone pendant le déplacement du porteur, ce qui a pour effet d'augmenter la longueur de l'ouverture synthétique. Ce mode opérationnel permet d'améliorer la résolution des images (moins de 30 cm). On utilise un plus grand nombre d'impulsions, ce qui améliore aussi la résolution en azimut.

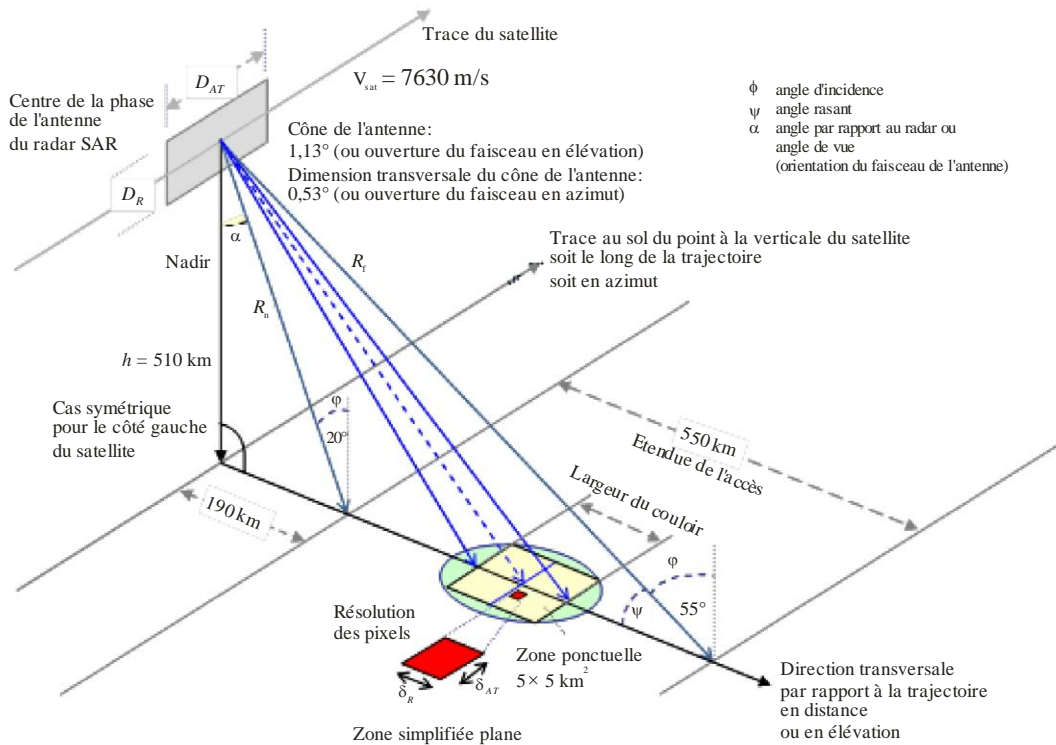
L'utilisation de ce mode opérationnel se fait aux dépens de la couverture spatiale étant donné que d'autres zones situées dans le couloir que le radar peut explorer ne peuvent pas être illuminées lorsque le radar fonctionne en mode de saisie hyperfine et que le faisceau pointe vers une zone particulière. Une géométrie détaillée est utilisée pour les images dans ce mode opérationnel (voir la Fig. 2).

Les données seront collectées en balayant généralement de 49 à 65 couloirs de 20 km en distance et 0,35 km en azimut. Les données formeront ainsi une mosaïque de couloirs en azimut permettant de traiter une image de 5 km par 5 km.

Tous les radars SAR sont activés et désactivés depuis la Terre de façon à ne balayer que certaines zones à la surface de la Terre. L'activation déclenche une transmission d'impulsions radiofréquence (chirps) pendant une brève période d'environ cinq secondes ou moins, en fonction de ce que l'on souhaite observer.

FIGURE 2

**Géométrie des images des radars SAR (SETS) dans le cas d'un radar à haute résolution en mode de saisie hyperfine (large bande avec largeur de bande de 1 200 MHz)**



## 2.2 Caractéristiques temporelles du radar à ouverture synthétique SAR-4 en mode haute résolution

Comme indiqué au § 2.1 ci-dessus, la largeur de bande maximale de 1 200 MHz n'est utilisée qu'en mode de saisie hyperfine lorsque le radar SAR-4 doit avoir la meilleure résolution d'image.

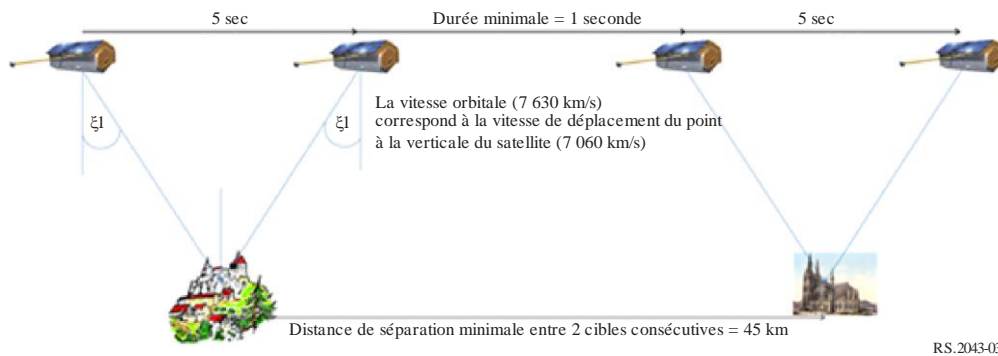
Dans ce mode, le radar SAR-4 émet pendant une brève période de temps (en général 5 secondes) par cliché instantané («snapshot»). Pendant les 5 secondes de transmission, le satellite parcourt en fait plus de 38 km sur l'orbite, ce qui fait que l'angle d'incidence effectif par rapport à la zone illuminée change en permanence (voir la Fig. 2). En mode de saisie hyperfine, il peut y avoir jusqu'à 20 prises instantanées pendant la durée de parcours de l'orbite (95 minutes) avec au minimum 1 seconde entre chaque cliché instantané, ce qui correspond à une distance de 5 km au sol. Une représentation graphique est donnée à la Fig. 3.

Sur une orbite héliosynchrone, le satellite est situé en permanence à la limite jour-nuit. A une altitude typique de 515 km, la périodicité de l'orbite héliosynchrone fait que la trajectoire du point à la verticale du satellite se répète tous les 11 jours. En raison des critères liés à l'orbite, et en fonction de la latitude géographique, l'emplacement du radar et les zones adjacentes ne sont pas visibles plus de deux fois par jour.

Les zones adjacentes sont les zones illuminées par les lobes latéraux de l'antenne. Les zones correspondant au niveau crête et les zones adjacentes ne sont pas illuminées plus d'une fois par période de l'orbite.

Un radar SAR-4 émet des impulsions toutes les 50  $\mu$ s et chaque impulsion est suivie de 120  $\mu$ s de silence. Les impulsions sont synchronisées sur une fréquence fixe de répétition des impulsions. Pendant les 50  $\mu$ s que dure chaque impulsion, la porteuse d'émission non modulée (ondes entretenues) balaie la totalité de la largeur de bande de 1 200 MHz (chirp). Le coefficient d'utilisation des impulsions (voir le Tableau 1) qui en résulte reste fixe, quelles que soient la largeur et la fréquence de répétition des impulsions.

FIGURE 3  
Distance de séparation minimale entre two cibles consécutives

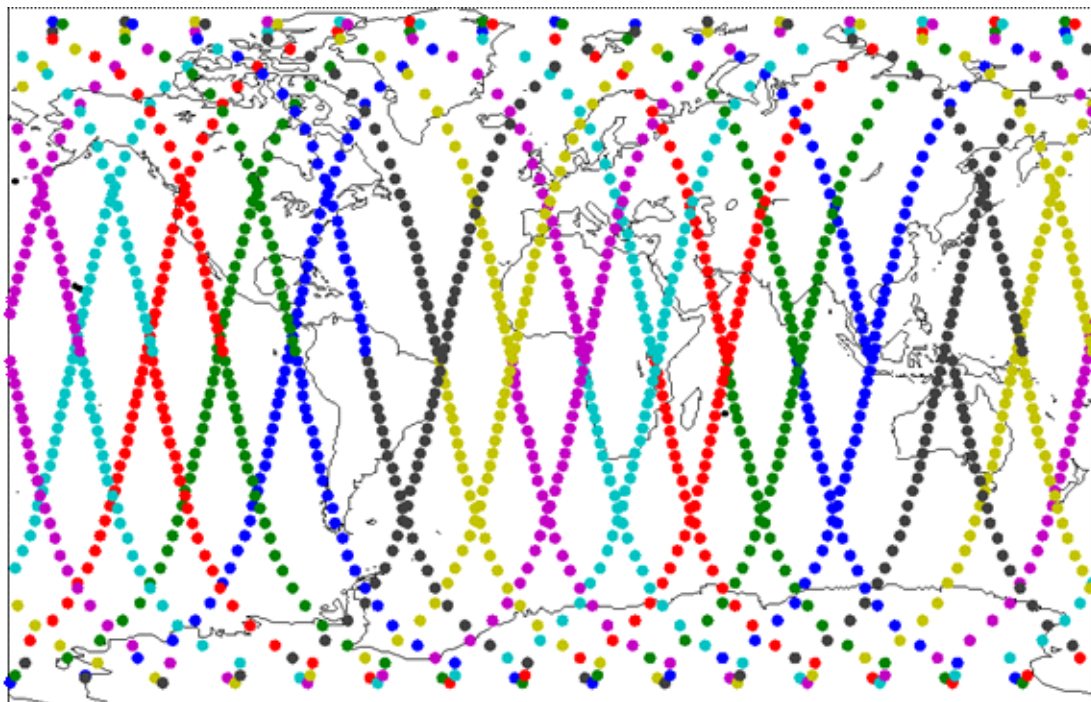


D'autres modes opérationnels des radars SAR sont décrits dans le Rapport UIT-R RS.2178.

La Figure 4 montre la trajectoire au sol du point à la verticale du satellite pour 14 périodes orbitales d'un satellite SAR-4. Pendant chaque période, la rotation de la Terre est d'environ 23,7°. Lorsque le satellite se trouve à la verticale (élévation de 90°) par rapport à un emplacement sur l'orbite, l'orbite d'avant et l'orbite d'après apparaîtront à des angles d'élévation maximaux (proches de l'horizon) par rapport à la station qui seront plus faibles.

FIGURE 4

Trajectoire des points à la verticale du satellite SAR-4 pour 14 périodes orbitales de 1 h 34 m 49 s chacune (15.19 rev/d)



La Figure 5 donne des exemples de trajets verticaux et les conditions correspondantes d'illumination pour trois latitudes types. Sur chacune des images de la Fig. 5, on voit une zone bleue de part et d'autre de la trajectoire du satellite. Elle correspond au domaine où un radar SAR illuminerait une zone en mode de résolution hyperfine à un moment donné dans le temps.

En raison du mouvement du satellite lui-même, le point à la verticale du satellite se déplace le long de sa trajectoire<sup>1</sup> à une vitesse de 7,06 km/s. La cible n'est illuminée que lorsqu'elle se trouve à l'intérieur de cette zone en bleu (dans le lobe principal du faisceau du satellite), au maximum pendant 5 à 7 secondes, en fonction de l'emplacement effectif de la cible par rapport à la trajectoire du satellite.

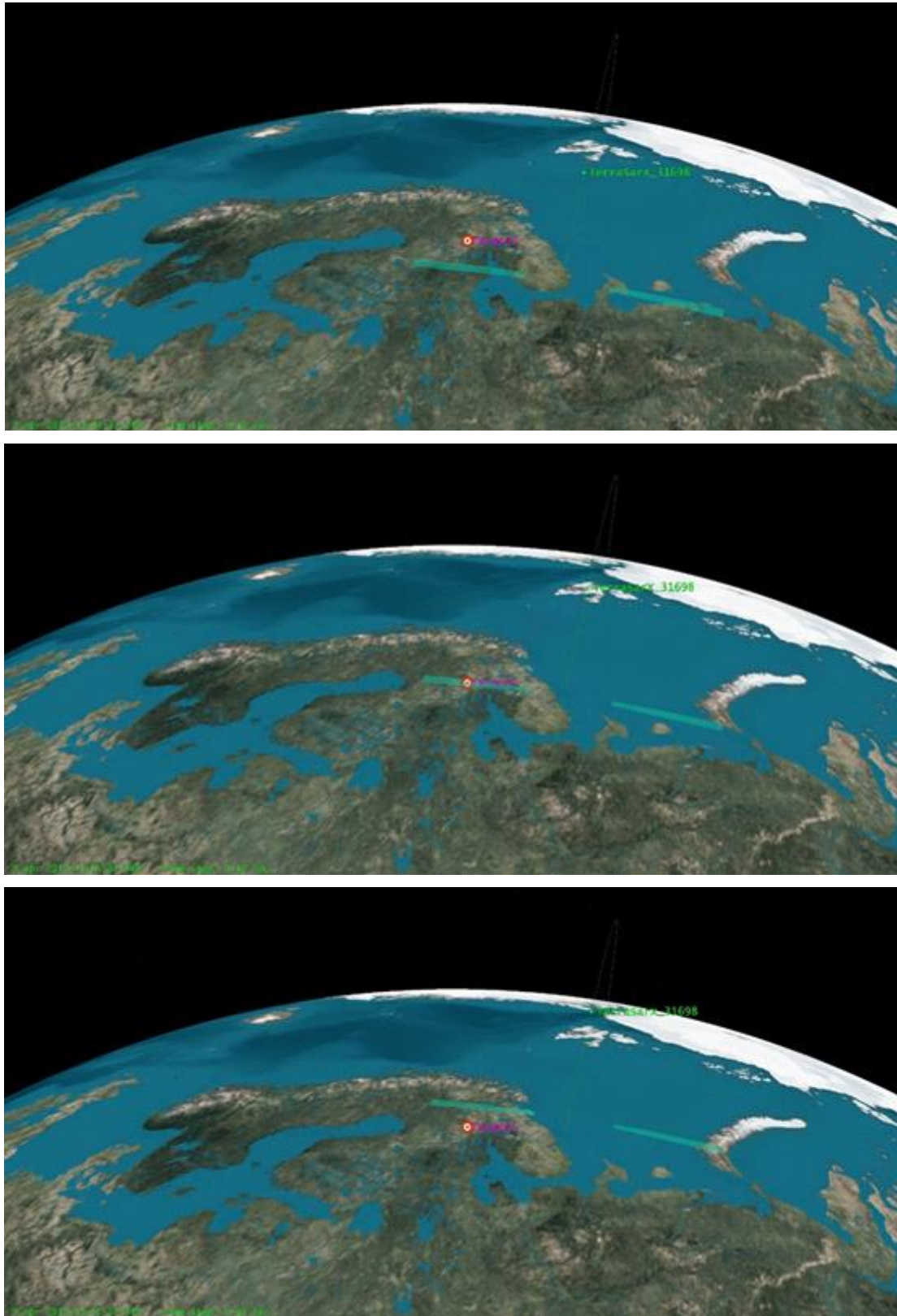
Si l'on considère à la fois le faisceau principal et les lobes latéraux, la durée maximale d'illumination serait plus longue. Les conséquences, en termes de brouillage préjudiciable, dépendront du service et du système considérés. Les données ci-après correspondent à une illumination par le faisceau principal.

---

<sup>1</sup> La trajectoire des points à la verticale du satellite à la surface de la Terre correspond à la ligne virtuelle entre l'engin spatial et le centre de la Terre.



FIGURE 5  
Zone illuminée par le satellite (trajet vertical du satellite)



La Figure 6 et le Tableau 1 indiquent, pour un emplacement donné à la surface de la Terre, les durées potentielles d'illumination cumulées sur 11 jours, après quoi on observe une répétition exacte de la trajectoire des points à la verticale du satellite. Il peut y avoir jusqu'à quatre illuminations par jour aux latitudes élevées. Comme le montre la Fig. 6, le nombre d'illuminations par jour varie entre 0 et 4.

FIGURE 6  
Possibilités d'illumination sur une période de 11 jours pleins, à des latitudes élevées

Temps d'accès - 9 avril 2013 15:59:38

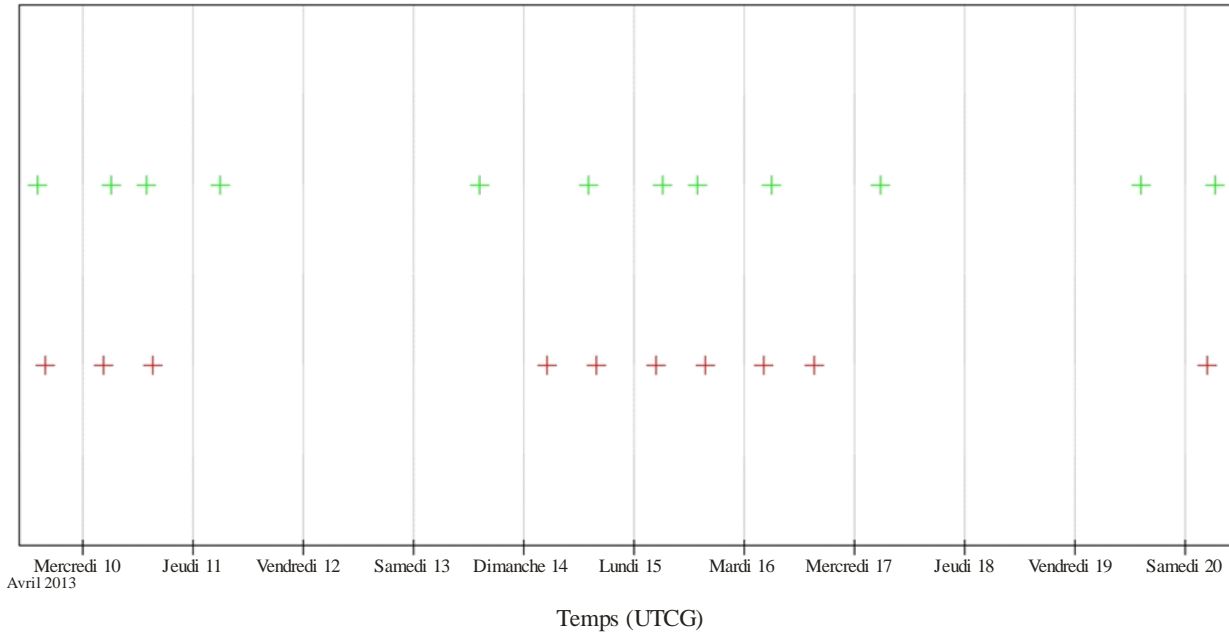


TABLEAU 1

**Durée cumulative des illuminations potentielles sur une période de 11 jours  
pleins à des latitudes élevées**

<b>Début (UTCG)</b>	<b>Fin (UTCG)</b>	<b>Durée (s)</b>
9 avril 2013 14:04:58.246	9 avril 2013 14:05:05.008	6,762
9 avril r 2013 15:38:58.735	9 avril 2013 15:39:06.027	7,292
10 avril 2013 04:29:51.820	10 avril 2013 04:29:58.819	6,999
10 avril 2013 06:03:50.310	10 avril 2013 06:03:57.310	7,000
10 avril 2013 13:47:56.501	10 avril 2013 13:48:04.209	7,708
10 avril 2013 15:21:49.102	10 avril 2013 15:21:55.247	6,145
11 avril 2013 05:46:48.240	11 avril 2013 05:46:54.287	6,047
13 avril 2013 14:30:27.763	13 avril 2013 14:30:33.100	5,337
14 avril r 2013 04:55:30.126	14 avril 2013 04:55:35.471	5,345
14 avril r 2013 14:13:22.852	14 avril 2013 14:13:29.144	6,291
14 avril 2013 15:47:27.234	14 avril 2013 15:47:35.117	7,882
15 avril 2013 04:38:19.663	15 avril 2013 04:38:26.098	6,435
15 avril 2013 06:12:13.167	15 avril 2013 06:12:20.630	7,464
15 avril 2013 13:56:19.267	15 avril 2013 13:56:26.513	7,246
15 avril 2013 15:30:15.649	15 avril 2013 15:30:22.348	6,699
16 avril 2013 04:21:07.202	16 avril 2013 04:21:14.804	7,602
16 avril 2013 05:55:10.750	16 avril 2013 05:55:17.266	6,517
16 avril 2013 15:13:05.560	16 avril 2013 15:13:11.149	5,589
17 avril 2013 05:38:06.586	17 avril 2013 05:38:12.148	5,562
19 avril 2013 14:21:42.280	19 avril 2013 14:21:48.106	5,826
20 avril 2013 04:46:41.507	20 avril 2013 04:46:47.403	5,896
20 avril 2013 06:20:30.148	20 avril 2013 06:20:38.073	7,924
<b>Statistiques globales</b>	<b>Valeur</b>	
Durée(s) minimale(s)	5,337	
Durée(s) maximale(s)	7,924	
Durée(s) moyenne(s)	6,617	
Durée(s) totale(s)	145,568	

La durée totale possible d'illumination est de 145,568 secondes sur 11 jours, ce qui correspond à 0,02% du temps.

La Figure 7 et le Tableau 2 illustrent les conditions relatives à l'emplacement des radars dans le cas de latitudes moyennes. Le nombre d'illuminations par jour varie entre 0 et 2.

FIGURE 7  
Possibilités d'illumination sur une période de 11 jours pleins, à des latitudes moyennes

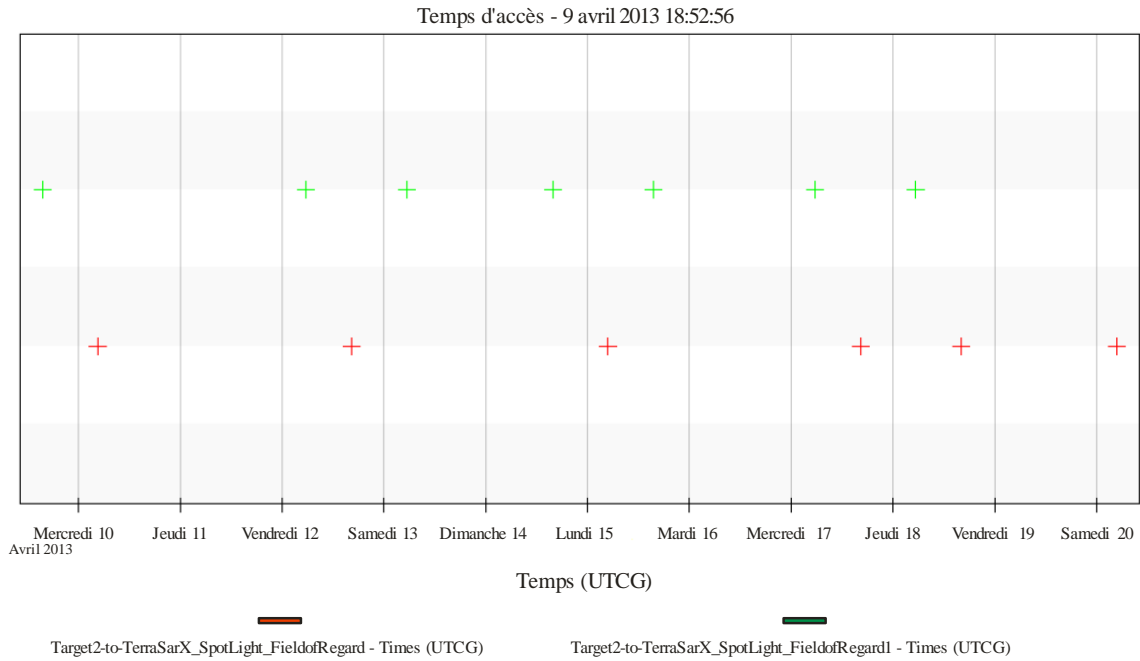


TABLEAU 2

**Durée cumulative des illuminations potentielles sur une période de 11 jours  
pleins à des latitudes moyennes**

Début (UTCG)	Fin (UTCG)	Durée (s)
9 avril 2013 15:34:45.714	9 avril 2013 15:34:52.069	6,355
10 avril 2013 04:34:36.995	10 avril 2013 04:34:44.635	7,639
12 avril 2013 05:34:20.860	12 avril 2013 05:34:27.843	6,983
12 avril 2013 16:17:22.834	12 avril 2013 16:17:29.214	6,38
13 avril 2013 05:17:18.746	13 avril 2013 05:17:23.991	5,246
14 avril 2013 15:43:10.577	14 avril 2013 15:43:16.078	5,501
15 avril 2013 04:43:04.397	15 avril 2013 04:43:11.070	6,673
15 avril 2013 15:26:06.532	15 avril 2013 15:26:13.786	7,255
17 avril 2013 05:42:41.045	17 avril 2013 05:42:48.910	7,865
17 avril 2013 16:25:46.303	17 avril 2013 16:25:53.630	7,327
18 avril 2013 05:25:39.006	18 avril 2013 05:25:45.093	6,088
18 avril 2013 16:08:37.576	18 avril 2013 16:08:43.009	5,433
20 avril 2013 04:51:25.641	20 avril 2013 04:51:31.402	5,761
Statistiques globales	Valeur	
Durée(s) minimale(s)	5,246	
Durée(s) maximale(s)	7,865	
Durée(s) moyenne(s)	6,500	
Durée(s) totale(s)	84,506	

Dans ce cas, la durée d'accès totale est réduite à 84,5 secondes sur les 11 jours, ce qui représente 0,009% du temps.

La Figure 8 et le Tableau 3 illustrent les conditions relatives aux possibilités d'illumination aux latitudes basses. Dans ce cas, le nombre d'illuminations par jour varie entre 0 et 2.

FIGURE 8

**Durée cumulative des illuminations potentielles sur une période de 11 jours pleins à des latitudes basses**

Temps d'accès - 9 avril 2013 19:05:10

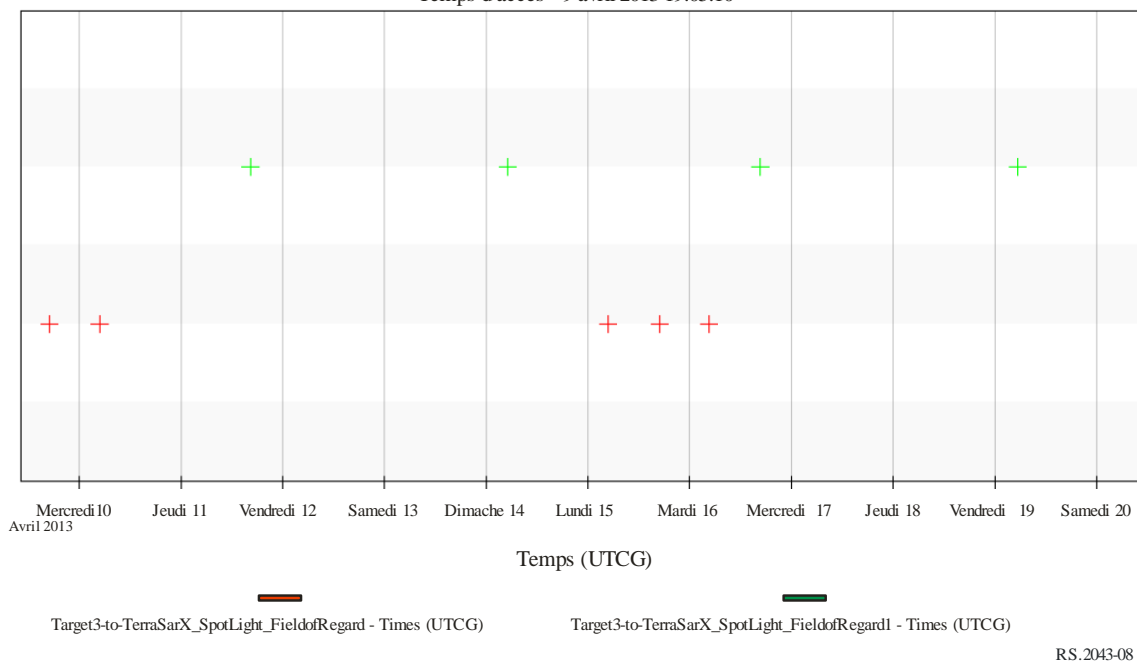


TABLEAU 3

**Durée cumulative des illuminations potentielles sur une période de 11 jours pleins à des latitudes basses**

Début (UTCg)	Fin (UTCg)	Durée (s)
9 avril 2013 17:00:08.771	9 avril 2013 17:00:15.801	7,03
10 avril 2013 04:43:31.960	10 avril 2013 04:43:38.416	6,456
11 avril 2013 16:26:02.928	11 avril 2013 16:26:09.455	6,528
14 avril 2013 05:09:00.363	14 avril 2013 05:09:06.089	5,725
15 avril 2013 04:51:56.973	15 avril 2013 04:52:02.103	5,13
15 avril 2013 16:51:29.517	15 avril 2013 16:51:35.145	5,628
16 avril 2013 04:34:50.485	16 avril 2013 04:34:58.396	7,911
16 avril 2013 16:34:25.460	16 avril 2013 16:34:30.684	5,224
19 avril 2013 05:17:18.707	19 avril 2013 05:17:25.754	7,047
Statistiques globales		Value
Durée(s) minimale(s)		5,13
Durée(s) maximale(s)		7,911
Durée(s) moyenne(s)		6,298
Durée(s) totale(s)		56,679

Pour une cible à des latitudes basses, le nombre d'accès par jour est limité à moins de deux et la durée totale possible d'illumination est de 56,6 secondes, ce qui correspond à 0,006% du temps.

### 3 Caractéristiques techniques des radars SAR du SETS

Les caractéristiques techniques des détecteurs actifs spatioportés fonctionnant dans la gamme de fréquences de 9 GHz sont données dans le Tableau 4.

Les diagrammes de gain d'antenne correspondants de tous les radars SAR sont donnés dans les Tableaux 5 à 8, respectivement.

Le Tableau 5 donne le diagramme de gain du radar SAR-4. Les diagrammes de gain d'antenne des radars SAR-1 à SAR-3 figurent dans le Rapport UIT-R RS.2094.

TABLEAU 4  
Caractéristiques techniques des radars SAR du SETS

Paramètre	SAR-1	SAR-2	SAR-3	SAR-4
Altitude orbitale (km)	400	619	506	510
Inclinaison orbitale (degrés)	57	98	98	98
Fréquence centrale RF (GHz)	9,6	9,6	9,6	9,3-9,9 <sup>(*)</sup>
Valeur de crête de la puissance rayonnée (W)	1 500	5 000	25 000	7 000
Modulation d'impulsion	Modulation linéaire en fréquence (chirp)	Modulation linéaire en fréquence (chirp)	Modulation linéaire en fréquence (chirp)	Modulation linéaire en fréquence (chirp)
Largeur de bande du chirp (MHz)	10	400	450	1 200
Durée d'impulsion (μs)	33,8	10-80	1-10	50
Fréquence de répétition des impulsions (ips)	1 736	2 000-4 500	410-515	6 000
Rapport cyclique (%)	5,9	2,0-28,0	0,04-0,5	30
Taux de compression en distance	338	< 12 000	450-4 500	60 000
Type d'antenne	Guide d'ondes à fentes	Réseau d'éléments plan	Antenne réseau à commande de phase	Réseau d'éléments plan
Valeur de crête du gain d'antenne (dBi)	44,0	44,0-46,0	39,5-42,5	47,0
p.i.r.e. (dBW)	75,8	83,0	83,5-88,5	85,5
Orientation de l'antenne par rapport au nadir	De 20° à 55°	34°	De 20° à 44°	De 18,5° à 49,3°
Ouverture du faisceau d'antenne	5,5° (El) 0,14° (Az)	1,6-2,3° (El) 0,3° (Az)	1,1-2,3° (El) 1,15° (Az)	1,13° (El) 0,53° (Az)
Polarisation de l'antenne	rectiligne verticale	rectiligne HH ou VV	rectiligne horizontale/verticale	rectiligne horizontale/verticale
Température de bruit du système (K)	551	500	600	500

(\*) La valeur définitive dépendra de la décision que prendra la CMR-15 au titre du point 1.12 de son ordre du jour.

TABLEAU 5

## Diagramme de gain d'antenne du radar SAR-1 au voisinage de 9,6 GHz

Diagramme	Gain $G(\theta)$ (dBi) en fonction de l'angle hors axe $\theta$ (degrés)	Plage angulaire (degrés)
Vertical (élévation)	$G_v(\theta_v) = 44,0 - 0,397(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 24,5$ $G_v(\theta_v) = 9,5$ $G_v(\theta_v) = 22,5$	$\theta_v < 7,1$ $7,1 \leq \theta_v \leq 30$ $30 < \theta_v \leq 60$ $\theta_v > 60$
Horizontal (azimut)	$G_h(\theta_h) = 0 - 612,2(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = -12$ $G_h(\theta_h) = 0 - 27,0 (\theta_h)$ $G_h(\theta_h) = -35$	$\theta_h \leq 0,14$ $0,14 < \theta_h \leq 0,44$ $0,44 < \theta_h \leq 1,3$ $\theta_h > 1,3$
Diagramme de faisceau	$G(\theta) = \{G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h), -3\} \max$	

TABLEAU 6

## Diagramme de gain d'antenne du radar SAR-2 au voisinage de 9,6 GHz

Diagramme	Gain $G(\theta)$ (dBi) en fonction de l'angle hors axe $\theta$ (degrés)	Plage angulaire (degrés)
Vertical (élévation)	$G_v(\theta_v) = 46,0 - 0,835(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 31,0$ $G_v(\theta_v) = 26,0$ $G_v(\theta_v) = 10,0$	$\theta_v < 3,8$ $3,8 \leq \theta_v \leq 15$ $15 < \theta_v \leq 30$ $\theta_v > 30$
Horizontal (azimut)	$G_h(\theta_h) = 0 - 444,5(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = -16$ $G_h(\theta_h) = -20,0 (\theta_h)$	$\theta_h \leq 0,3$ $0,3 < \theta_h \leq 0,7$ $\theta_h > 0,7$
Diagramme de faisceau	$G(\theta) = \{G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h), -3\} \max$	

TABLEAU 7

## Diagramme de gain d'antenne du radar SAR-2 au voisinage de 9,6 GHz

Diagramme	Gain $G(\theta)$ (dBi) en fonction de l'angle hors axe $\theta$ (degrés)	Plage angulaire (degrés)
Vertical (élévation)	$G_v(\theta_v) = 42,5 - 9,92(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 31,4 - 0,83 \theta_v$ $G_v(\theta_v) = 10,5 - 0,133 \theta_v$	$0 < \theta_v < 1,1$ $1,1 \leq \theta_v < 30$ $\theta_v \geq 30$
Horizontal (azimut)	$G_h(\theta_h) = 0,0 - 9,07(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = +1,9 - 12,08 \theta_h$ $G_h(\theta_h) = -48$	$0 < \theta_h < 1,15$ $1,15 \leq \theta_h < 4,13$ $\theta_h \geq 4,13$
Diagramme de faisceau	$G(\theta) = G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h)$	



TABLEAU 8

## Diagramme de gain d'antenne du radar SAR-4 au voisinage de 9,6 GHz

Diagramme	Gain $G(\theta)$ (dBi) en fonction de l'angle hors axe $\theta$ (degrés)	Plage angulaire (degrés)
Vertical (élévation)	$G_v(\theta_v) = 47,0 - 9,91(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 35,9 - 0,83 \theta_v$ $G_v(\theta_v) = 11,0$	$\theta_v < 1,1$ $1,1 \leq \theta_v \leq 30$ $\theta_v > 30$
Horizontal (azimut)	$G_h(\theta_h) = 0 - 45,53(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = -10,97 - 2,00 \theta_h$ $G_h(\theta_h) = -35,0$	$\theta_h \leq 0,5$ $0,5 < \theta_h \leq 12$ $\theta_h > 12$
Diagramme de faisceau	$G(\theta) = G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h)$	

Le Tableau 9 donne un autre diagramme de rayonnement d'antenne à utiliser dans le cas où l'on envisage un modèle plus précis pour les niveaux moyens des lobes latéraux (3 dB en dessous de la valeur crête des lobes latéraux).

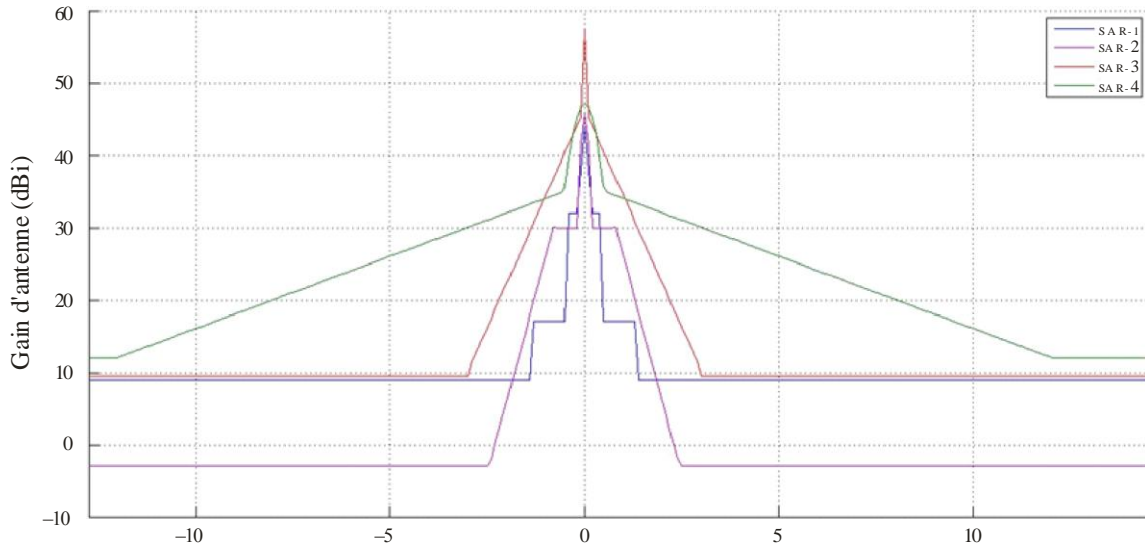
TABLEAU 9

## Diagramme de gain d'antenne du radar SAR-4 au voisinage de 9,6 GHz

Diagramme	Gain $G(\theta)$ (dBi) en fonction de l'angle hors axe $\theta$ (degrés)	Plage angulaire (degrés)
Vertical (élévation)	$G_v(\theta_v) = 47,0 - 9,91 (\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 35,189 - 1,9440\theta_v$ $G_v(\theta_v) = 21,043 - 0,4680\theta_v$ $G_v(\theta_v) = 12,562 - 0,1850\theta_v$ $G_v(\theta_v) = 3,291$	$\theta_v < 1,149$ $1,149 \leq \theta_v \leq 9,587$ $9,587 \leq \theta_v \leq 29,976$ $29,976 \leq \theta_v \leq 50$ $\theta_v > 50,0$
Horizontal (azimut)	$G_h(\theta_h) = 0 - 45,53(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = -11,210 - 4,0220\theta_h$ $G_h(\theta_h) = -26,720 - 0,9530\theta_h$ $G_h(\theta_h) = -35,031 - 0,3880\theta_h$ $G_h(\theta_h) = -41,936 - 0,1580\theta_h$ $G_h(\theta_h) = -51,387$	$\theta_h \leq 0,542$ $0,542 < \theta_h \leq 5,053$ $5,053 < \theta_h \leq 14,708$ $14,708 < \theta_h \leq 30,00$ $30,00 < \theta_h \leq 59,915$ $\theta_h > 59,915$
Diagramme de faisceau	$G(\theta) = G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h)$	

FIGURE 9

Diagramme d'antenne dans la direction longitudinale par rapport à la trajectoire

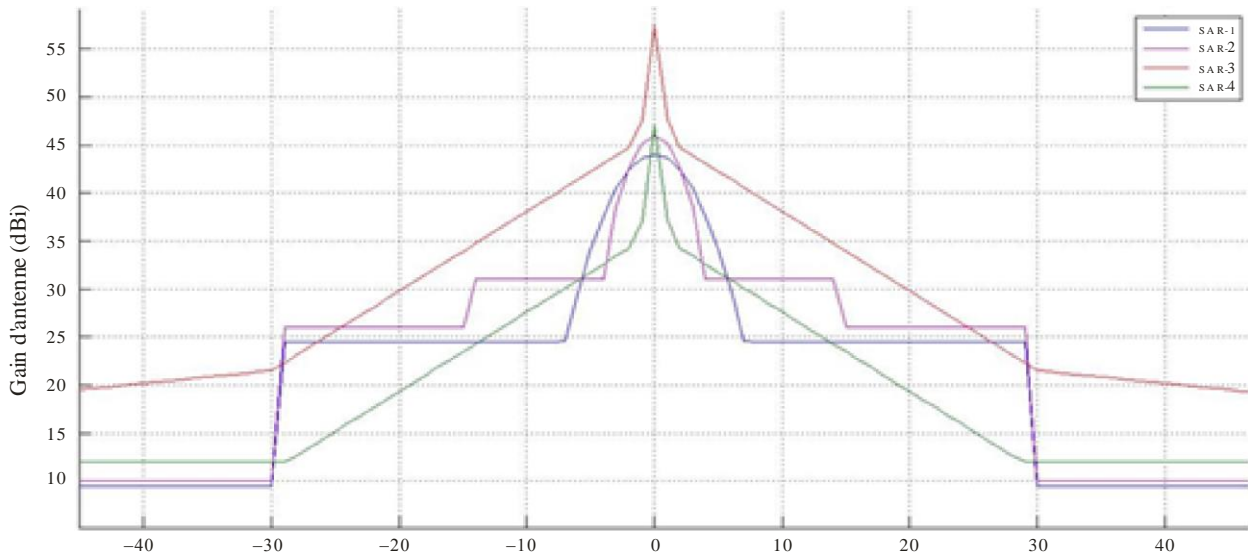


Angle dans le plan horizontal (direction longitudinale par rapport à la trajectoire) (degrés)

RS.2043-09

FIGURE 10

Diagramme d'antenne dans la direction transversale par rapport à la trajectoire



Angle dans le plan vertical (direction transversale par rapport à la trajectoire) (degrés)

RS.2043-10

FIGURE 11

**Diagramme de rayonnement simplifié des valeurs crête et diagramme de rayonnement complexe des valeurs moyennes dans la direction longitudinale par rapport à la trajectoire pour le radar SAR-4**

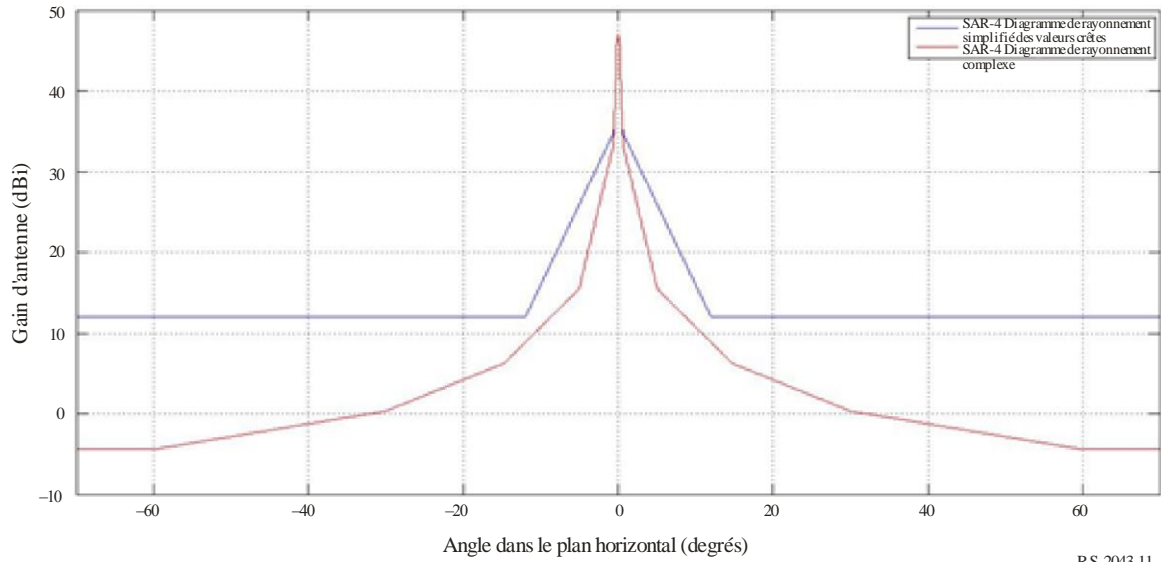


FIGURE 12

**Diagramme de rayonnement simplifié des valeurs crête et diagramme de rayonnement complexe des valeurs moyennes dans la direction transversale par rapport à la trajectoire pour le radar SAR-44**

