

# **Recommandation UIT-R P.371-9**

**(08/2023)**

Série P: Propagation des ondes radioélectriques

## **Choix d'indices pour les prévisions ionosphériques à long terme**



## 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 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: <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
<b>P</b>	<b>Propagation des ondes radioélectriques</b>
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	Emissions 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 P.371-9

**Choix d'indices pour les prévisions ionosphériques à long terme**

(1963-1970-1974-1978-1982-1986-1990-1995-1999-2023)

**Domaine d'application**

La présente Recommandation fournit une série de relations permettant de calculer des indices ionosphériques à long terme pour la prévision de caractéristiques ionosphériques.

**Mots clés**

Caractéristiques ionosphériques, intensité du bruit solaire radioélectrique, nombre de taches solaires et M(3000)F2

**Abréviations/Glossaire**

MUF: fréquence maximale utilisable (*maximum usable frequency*)

$R_{12}$ : moyenne glissante sur 12 mois du nombre de taches solaires

$\Phi$ : flux de bruit radioélectrique solaire sur des longueurs d'onde d'environ 10 cm

$\Phi_{12}$ : moyenne glissante sur 12 mois de  $\Phi$ , flux du bruit radioélectrique solaire à 2 800 MHz

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*recommande*

1 que la moyenne glissante sur 12 mois du nombre de taches solaires  $R_{12}$ , ou la moyenne glissante sur 12 mois de  $\Phi$ , flux du bruit radioélectrique solaire à 2 800 MHz (c'est-à-dire  $\Phi_{12}$ ), soit adoptée comme indice à utiliser de préférence pour la prévision des valeurs médianes mensuelles de foF2 et de M(3000)F2 pour toutes les échelles de temps: il devrait être possible d'obtenir des résultats sensiblement équivalents en utilisant l'un quelconque de ces indices;

2 que  $\Phi_{12}$  soit adopté comme indice à utiliser de préférence pour les prévisions des valeurs médianes mensuelles de foE et de foF1 pour toutes les échelles de temps;

3 que les valeurs prévues de ces indices soient déterminées selon la version modifiée de la méthode de McNish et Lincoln (voir l'Annexe 1) utilisant les valeurs mensuelles mesurées les plus récentes de l'indice pour le cycle solaire en cours et la moyenne des valeurs des cycles antérieurs pour les cycles futurs;

4 que, lorsque les prévisions de la propagation nécessitent l'utilisation simultanée des valeurs de différentes caractéristiques ionosphériques, le même indice soit adopté pour toutes ces caractéristiques avec une faible perte de précision;

5 que les indices recommandés soient cependant utilisés avec circonspection pour les latitudes magnétiques élevées où les prévisions ionosphériques peuvent ne pas être suffisamment exactes;

6 que l'indice  $R_{12}$  soit utilisé avec circonspection pour les prévisions ionosphériques à long terme en ce qui concerne le facteur d'observation.

## Annexe 1

### 1 Introduction

La notion d'indices pour les prévisions ionosphériques à long terme repose sur l'hypothèse suivante: les caractéristiques les plus importantes de l'ionosphère, telles que les fréquences critiques des différentes couches et le facteur de MUF, M(3000)F2, varient d'une façon systématique en fonction de certaines grandeurs mesurables liées au rayonnement solaire. Il convient de noter, cependant, que la corrélation entre ces indices et les caractéristiques ionosphériques réelles n'implique pas nécessairement une relation de cause à effet, mais plutôt une indication se rapportant à des phénomènes associés. Les variations de l'activité solaire contiennent en général trois composantes:

- une composante assez régulière dont la période est d'environ 11 ans, qui correspond au cycle bien connu d'activité solaire;
- une composante ayant une quasi-période d'environ un an, ou un peu moins; et
- des fluctuations erratiques dont les périodes sont inférieures à un mois.

### 2 Nombres de taches solaires

On peut quantifier l'activité solaire en comptant le nombre de taches apparaissant à la surface du Soleil. Le nombre relatif de taches solaires (aussi appelé «nombre de Wolf» ou «nombre de Zurich») est un indice utilisé pour quantifier le nombre de taches solaires et de groupes de taches solaires à la surface du Soleil. Avant 2015, la définition standard du nombre relatif de taches solaires,  $R$ , pour chaque observateur était la suivante:

$$R = k(10N_g + N_s) \quad (1)$$

où  $N_g$  est le nombre de groupes de taches solaires,  $N_s$  est le nombre de taches individuelles à l'intérieur de ces groupes et  $k$  est un facteur de normalisation défini comme étant de 0,6 avant 2015. Cette définition du nombre de taches solaires, où  $k = 0,6$ , est appelée version 1 (v1).

En 2015, le facteur  $k$  a été fixé à 1, dans le cadre d'une version 2 (v2) du nombre de taches solaires. Étant donné que les cartes numériques définissant les variations diurnes et géographiques des médianes mensuelles de foF2 et de M(3000)F2 sont fondées sur une relation linéaire avec le nombre relatif de taches solaires, où  $k = 0,6$  (version 1), il est recommandé de fixer le facteur  $k$  à 0,6 dans la définition du nombre de taches solaires lorsque ces cartes sont utilisées.

Afin d'utiliser les nouvelles bases de données (depuis 2015) de l'indice  $R_{12}$ , les utilisateurs sont invités à apporter la correction suivante:

$$R_{v1} = R_{v2} \times 0,6 \quad (2)$$

Notez que le Sunspot Index and Long-term Solar Observations (SILSO) du Centre mondial d'exploitation des données a recalculé toutes les valeurs historiques du nombre de taches solaires en s'appuyant sur la version 2. Il s'agit de l'option par défaut.

Pour étudier la principale composante du cycle solaire, on se sert de la moyenne glissante sur 12 mois du nombre de taches solaires,  $R_{12}$ ; le lissage résultant de l'emploi de cette moyenne réduit en effet sensiblement les composantes dont la variation est compliquée et rapide, sans pour cela masquer la composante à variation lente.

La définition de  $R_{12}$  est la suivante:

$$R_{12} = \frac{1}{12} \left[ \sum_{n-5}^{n+5} R_i + \frac{1}{2} (R_{n+6} + R_{n-6}) \right] \quad (3)$$

dans laquelle  $R_i$  est la valeur moyenne des nombres journaliers de taches solaires pour le mois  $i$  et  $R_{12}$  l'indice lissé pour le mois représenté par  $i = n$ .

L'utilisation de  $R_{12}$ , comme indice, présente les deux principaux inconvénients suivants:

- la valeur la plus récente de  $R_{12}$  dont on puisse disposer se rapporte forcément à une période dont le mois central est au moins antérieur de six mois au moment actuel;
- $R_{12}$  ne peut être utilisé pour prévoir les variations à plus court terme de l'activité solaire.

$R_{12}$  semble néanmoins le paramètre le plus utile pour les études et les prévisions à long terme concernant la couche F2. Sauf indication contraire, l'indice  $R_{12}$  doit être utilisé dans sa version 1 (c'est-à-dire  $R_{12}$  calculé à partir de  $R$ , où  $k = 0,6$ ).

### 3 Indice $\Phi$

Des laboratoires canadiens, japonais, etc., ont fait des séries d'observations cohérentes et assez longues du flux de bruit radioélectrique solaire sur des longueurs d'onde d'environ 10 cm. La moyenne mensuelle,  $\Phi$ , des valeurs journalières relevées au Canada et exprimées en unités  $10^{-22} \text{ Wm}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$ , devrait être considérée comme la donnée de référence pour cet indice. La corrélation entre la fréquence critique de la couche E et les valeurs de  $\Phi$  est meilleure qu'avec les valeurs du flux du bruit sur d'autres longueurs d'onde. Étant donné que l'on ne dispose d'observations du flux solaire que depuis 1947, les nombres des taches solaires continuent à constituer une des plus longues séries d'observations d'un phénomène naturel. Il convient donc de poursuivre le rassemblement et l'enregistrement de données d'observations sur les taches solaires.

### 4 Autres indices

Parmi les nombreux indices dont l'utilisation a été envisagée ces dernières années pour tenter de rendre compte des variations à long terme des différentes caractéristiques ionosphériques, les indices  $R_{12}$  et  $\Phi_{12}$  sont ceux que l'UIT-R recommande d'utiliser pour les prévisions ionosphériques.

### 5 Corrélation entre $\Phi_{12}$ et $R_{12}$

La relation recommandée entre  $R_{12}$  et  $\Phi_{12}$ , indiquée également sur la Fig. 1, est la suivante:

$$\Phi_{12} = 63,7 + 0,728 R_{12} + 8,9 \times 10^{-4} R_{12}^2 \quad (4)$$

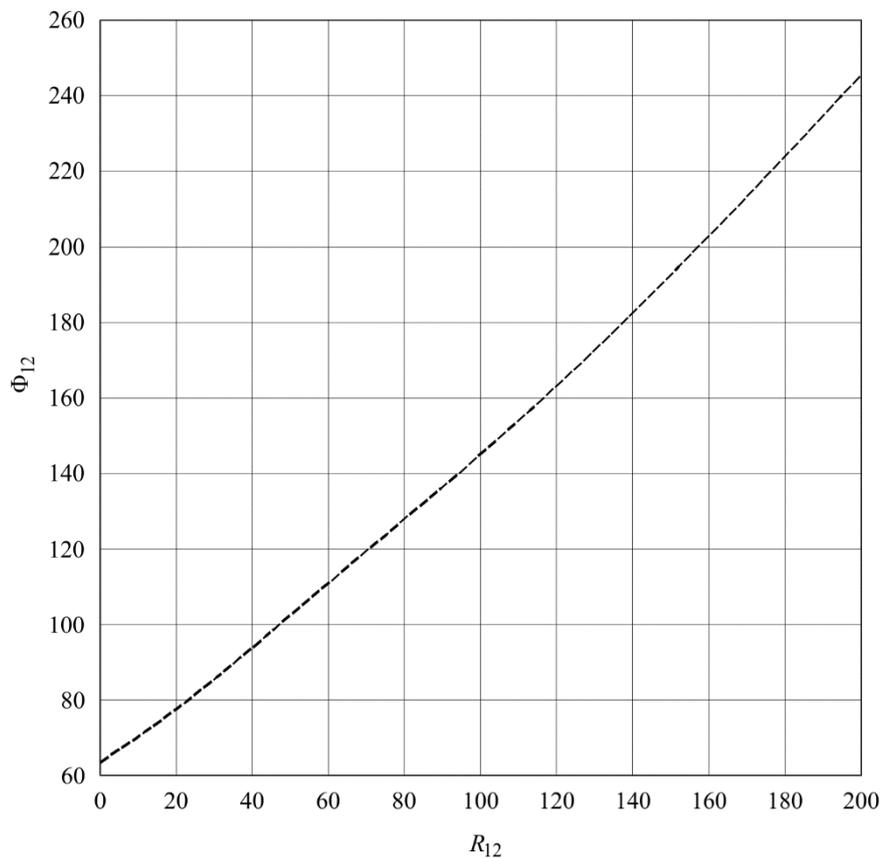
### 6 La prévision des indices

Aucune méthode ne permet encore de prévoir avec certitude et précision les indices pour le prochain cycle d'activité solaire et, plus généralement, pour un cycle qui n'a pas encore commencé. Les indices que l'on a calculés par analyse harmonique ou au moyen de lois empiriques ou statistiques appliquées à des observations faites au cours de cycles précédents – même récents – se sont révélés inutiles pour prévoir ceux d'un nouveau cycle. Ce n'est qu'après avoir reconnu un minimum que l'on peut dans une certaine mesure prévoir la future évolution du cycle solaire, par extrapolation. Encore faut-il signaler qu'on a observé dans ce cas des écarts extrêmement importants.

Aux États-Unis d'Amérique, les prévisions de  $R_{12}$  se font d'après une méthode qui est un perfectionnement de la méthode objective de McNish et Lincoln. La valeur moyenne du cycle est

évaluée, en premier lieu, d'après toutes les valeurs de  $R_{12}$  pour les cycles antérieurs, ordonnées à partir du minimum de chacun de ces cycles sur une durée de onze ans. Pour la prévision d'une valeur particulière du cycle en cours, la première approximation est la valeur correspondante du cycle moyen, au moment spécifié après le minimum. On améliore cette estimation en lui appliquant une correction proportionnelle à l'écart entre la dernière valeur observée du cycle en cours et la valeur du cycle moyen. Les programmes informatiques actuels permettent de faire une nouvelle prévision pour chaque mois du reste du cycle dès que l'on dispose d'une nouvelle valeur observée. L'incertitude statistique de la prévision est assez faible pour les quelques premiers mois qui suivent la dernière valeur observée, mais elle devient importante pour les prévisions faites 12 mois à l'avance ou davantage. Aussitôt qu'un minimum a été identifié, on peut calculer de nouveaux facteurs de correction en tenant compte, pour les appliquer au nouveau cycle, des valeurs observées lors du cycle précédent.

FIGURE 1  
Relation entre  $R_{12}$  et  $\Phi_{12}$



P.0371-01

Le Centre de données pour les indices des taches solaires (SIDC – *Sunspot Index Data Centre*) de Bruxelles effectue aussi des prévisions de  $R_{12}$  un an à l'avance. Un exemple de ses prévisions, pour le cycle solaire 22, est présenté sur la Fig. 2 et peut être comparé aux valeurs observées lissées.

Les prévisions de  $\Phi_{12}$  sont établies par le Bureau des radiocommunications (BR) au moyen de la méthode de McNish-Lincoln.

Les valeurs mesurées et prévues de  $R$  et  $\Phi$  et de leurs moyennes glissantes sur 12 mois ( $R_{12}$  et  $\Phi_{12}$ ) sont publiées par le BR dans les Circulaires mensuelles des indices fondamentaux pour la propagation ionosphérique (et sont également disponibles sur le site web de l'UIT).

Les valeurs mesurées et prévues de  $R$  peuvent aussi être obtenues, au SIDC, par l'intermédiaire du courrier électronique, auquel on accède par la procédure anonyme du protocole de transfert de fichiers.

FIGURE 2  
Exemple de nombre de taches solaires,  $R_{12}$ , prévues et observées (cycle 22)

