**تقنيات التنبؤ بالانتشار والمعطيات المطلوبة من أجل تصميم أنظمة المرحل الراديوي العابرة للأفق**

**التوصيـة ITU-R  P.617-3  
(2013/09)**

**السلسلة P**

**انتشار الموجات الراديوية**

**تمهيـد**

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها.

ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهرتقنية الدولية (ITU‑T/ITU‑R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en> حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

|  |  |
| --- | --- |
| **سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية**  (يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>) | |
| **السلسلة** | **العنـوان** |
| **BO** البث الساتلي | |
| **BR** التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية | |
| **BS** الخدمة الإذاعية (الصوتية) | |
| **BT** الخدمة الإذاعية (التلفزيونية) | |
| **F** الخدمة الثابتة | |
| **M** الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة | |
| **P انتشار الموجات الراديوية** | |
| **RA** علم الفلك الراديوي | |
| **RS** أنظمة الاستشعار عن بعد | |
| **S** الخدمة الثابتة الساتلية | |
| **SA** التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية | |
| **SF** تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة | |
| **SM** إدارة الطيف | |
| **SNG** التجميع الساتلي للأخبار | |
| **TF** إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت | |
| **V** المفردات والمواضيع ذات الصلة | |

|  |
| --- |
| ***ملاحظة****: تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.* |

*النشر الإلكتروني*جنيف، 2014

© ITU 2014

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من  
الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصيـة ITU‑R  P.617-3[[1]](#footnote-1)\*

تقنيات التنبؤ بالانتشار والمعطيات المطلوبة من أجل تصميم  
أنظمة المرحل الراديوي العابرة للأفق

(المسألة (ITUR 205/3

(2013-2012-1992-1986)

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

*أ )* أنه من أجل التخطيط الملائم لأنظمة المرحِّل الراديوي عبر الأفق يكون من الضروري توفر طرائق ومعطيات تنبؤ ملائمة للانتشار؛

*ب)* أنه قد تم إعداد طرائق تتيح التنبؤ بأكثرية معلمات الانتشار المهمة التي تؤثر على التخطيط لأنظمة المرحل الراديوي عبر الأفق؛

*ج)* أنه قد تم اختبار هذه الطرائق إلى أقصى قدر ممكن بالنسبة إلى المعطيات المقيسة المتوفرة وقد تبين أنها تتيح الحصول على دقة تكون متوائمة مع التغيرية الطبيعية لعامل الانتشار ومناسبة لأكثرية التطبيقات الحالية في تخطيط النظام على حد سواء،

توصي

بأن يتم اعتماد طرائق التنبؤ والتقنيات الأخرى المبينة في الملحق 1 للتخطيط لأنظمة المرحل الراديوي عبر الأفق في المديات الخاصة بالمعلمات المبينة.

الملحق 1

# 1 المقدمة

إن الآليات الوحيدة للانتشار الراديوي الذي يتخطى الأفق التي تظهر بشكل دائم للترددات التي تفوق MHz 30 هي آليات الانكسار عند سطح الأرض والانتثار من الاضطرابات الجوية. إن توهين الإشارات المنكسرة تتغير بسرعة كبيرة مع المسافة والتردد وفي نهاية الأمر تكون الآلية الأساسية هي آلية الانتثار التروبوسفيري. ويمكن أن تستخدم كلتا الآليتين لإقامة إرسال راديوي "عبر الأفق". ونظراً إلى الاختلاف ما بين الآليتين، فإنه من الضروري النظر في مسيرات الانكسار والانتثار التروبوسفيري على حدة من أجل التنبؤ بخسارة الإرسال.

ويتعلق هذا الملحق بتصميم أنظمة المرحل الراديوي عبر الأفق، وأحد الأهداف من ذلك هو تقديم طرائق بسيطة على نحو موجز من أجل التنبؤ بالتوزيعات السنوية وتوزيعات أسوأ شهر لخسارة الإرسال التي تعود إلى الانتثار التروبوسفيري بالإضافة إلى معلومات عن مَدَيات صلاحيتها. وأحد الأهداف الأخرى من هذا الملحق هو تقديم معلومات وتقنيات أخرى بالإمكان التوصية بها في التخطيط للأنظمة عبر الأفق.

# 2 النواتج الرقمية المكملة

الملف TropoClim.txt عبارة عن ملف بالنسق ASCII يقدم تعريف هوية للمناطق المناخية المختلفة في صورة قيمة صحيحة وهو يرد في الملف [R-REC-P.617-3-201309-I!!ZIP-E](http://www.itu.int/rec/R-REC-P.617-3-201309-I/en). وتمثل البيانات كقيم شبكية لخطوط العرض/الطول بالنسق "القياس" لقطاع الاتصالات الراديوية ويعرف نسق البيانات كالتالي:

الجـدول 1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| المصدر | خط العرض (صفوف) | | | خط الطول (أعمدة) | | |
|  | الصف الأول (درجة شمالاً) | المباعدة (بالدرجات) | عدد الصفوف | العمود الأول (درجة شرقاً) | المباعدة (بالدرجات) | عدد الأعمدة |
| P.2001 | 89,75 | 0,5 | 360 | 179,75– | 0,5 | 720 |
| الملاحظة 1 – قيمة "الصف الأول" هي خط عرض الصف الأول.  الملاحظة 2 – قيمة "العمود الأول" هي خط طول العمود الأول. وتمثل الأعمدة خطوط طول تزيد من 179,75° غرباً إلى 179,75° شرقاً شاملة هاتين القيمتين. بمعنى أن خط الطول يزيد في اتجاه الشرق.  الملاحظة 3 – تعطى "المباعدة" الزيادة في خطوط العرض/الطول بين الصفوف/الأعمدة.  الملاحظة 4 – يتضمن الملف TropoClim.txt معرفات هوية للمناطق في صورة أرقام صحيحة بدلاً من متغيرات أرصاد جوية مستمرة. ومن ثم، **لا** ينبغي إجراء استكمال داخلي للقيم للحصول على قيمة أي خط عرض/طول معينة وبدلاً من ذلك، تؤخذ القيمة عند أقرب نقطة شبكية ويلاحظ بالنسبة لهذا الملف أن القيمة في العمود الأخير لا تماثل نظيرتها في العمود الأول. وبالتالي، تتراوح خطوط عرض الصفوف بين 89,75° شمالاً و89,75° جنوباً، وخطوط طول الأعمدة بين 179,75° غرباً و179,75° شرقاً. | | | | | | |

# 3 خسارة الإرسال على مسيرات الانكسار

بالنسبة إلى المسيرات الراديوية التي تمتد بشكل بسيط ما وراء الأفق أو بالنسبة إلى المسيرات التي تمتد ما وراء عائق أو سطح جبلي، يكون الانكسار عموماً أسلوب الانتثار الذي يحدد شدة المجال. وفي هذه الحالات يجب أن تطبق الطرائق الوارد وصفها في التوصية ITU-R P.526.

# 4 توزيع خسارة الإرسال على مسيرات الانتثار التروبوسفيري

إن الإشارات المستقبلة بواسطة الانتثار التروبوسفيري تبين تغيرات بطيئة أو سريعة على حد سواء. وتعود التغيرات البطيئة إلى تغيرات إجمالية في الشروط الانكسارية في الجو ويعود الخبو السريع إلى حركة التغيرات قليلة الاتساع. ويرد وصف جيد بالتغيرات البطيئة بواسطة توزيعات خسارة الإرسال المتوسط للساعة التي تكون لوغاريتمية عادية تقريباً مع تحويلات معيارية بين 4 وdB 8، وذلك يتوقف على المناخ. وإن التغيرات السريعة خلال فترة تصل لغاية 5 دقائق توزع حسب توزيع رايلغ تقريباً.

ولدى تحديد أداء الوصلات العابرة للأفق من أجل هندسيات تطغى فيها آليات الانتثار التروبوسفيري، يكون من الطبيعي تقييم توزيع خسارة الإرسال المتوسط في الساعة من أجل النسب المئوية لعدم التخطي من الوقت فوق %50. وتبين في الفقرة 1.4 تقنية نصف تحليلية بسيطة للتنبؤ بتوزيع متوسط الخسارة السنوية للإرسال. وتبين في الفقرة 2.4 تقنية بيانية لترجمة هذه النسب المئوية الزمنية السنوية إلى متوسط أسوأ شهر. وفي النهاية، تعطى معلومات إضافية في الفقرة 3.4 بشأن تقييم توزيع خسارة الإرسال للنسب المئوية الزمنية الصغيرة للاستعمال لدى الحصول على المديات الدينامية المطلوبة للمستقبل. ويتضمن التذييل 1 معلومات داعمة إضافية بشأن التغيرات الفصلية واليومية في خسارة الإرسال على تردد الخبو السريع في مسيرات الانتثار التروبوسفيري وعرض نطاق الإرسال.

## 1.4 متوسط توزيع خسارة الإرسال المتوسطة السنوية للنسب المئوية التي تزيد عن %50

يُوصى بالإجراء المرحلي التالي من أجل تقييم متوسط خسارة الإرسال المتوسط السنوي *L*(*q*) الذي لا يزيد للنسب المئوية الزمنية *q* التي تتخطى %50. ويتطلب الإجراء معلمات الوصلة لطول مسير الدائرة الكبيرة (km) *d* والتردد (MHz) *f* وكسب هوائي الإرسال (dB) *Gt* وكسب هوائي الاستقبال (dB) *Gr* وزاوية الأفق θ*t* عند المرسل وزاوية الأفق (mrad) θ*r* عند الاستقبال.

*المرحلة 1:* تحديد المناخ المناسب للحجم المشترك للوصلة المعنية باستخدام خارطة المناخ في الشكل 1. وهذه الخارطة، TropoClim.txt جزء لا يتجزأ من هذه التوصية.

الشـكل 1

تصنيف المناطق المناخية



إذا ما وقع الحجم المشترك للانتثار التروبوسفيري فوق البحر، يحدَد المناخان في موقعي المرسل والمستقبل كليهما. وإذا ما كان لكلا المطرافين منطقة مناخية تقابل نقطة في البر، تعطى المنطقة المناخية للمسير بالقيمة الأصغر للمنطقتين المناخيتين للمرسل والمستقبل. وإذا ما كان لمطراف واحد فقط منطقة مناخية تقابل نقطة في البر، فإن تلك المنطقة المناخية هي التي تحدد المنطقة المناخية للمسير. وإن لم يكن لأي من المطرافين منطقة مناخية تقابل نقطة في البر، يخصَّص المسير بمنطقة مناخية "لمسير بحري".

*المرحلة 2:* الحصول على المعلمات *M* وγ لبنية الأرصاد الجوية والجو على التوالي، وعلى المعادلة التي يتعين استخدامها لحساب *Y*(90) من الجدول 2 من أجل المناخ المعني.

الجـدول 2

قيم معلمات بنية الأرصاد الجوية والجو

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| المناخ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | بحر\* |
| (dB) *M* | 39,60 | 29,73 | 19,30 | 38,50 | 29,73 | 33,20 | 26,00 |
| (1–km) γ | 0,33 | 0,27 | 0,32 | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,27 |
| المعادلة *Y*(90) | 9 | 7 | 10 | 11 | 7 | 7 | 8 |
| \* يشفر البحر بالقيمة 0 في الخارطة TropoClim.txt | | | | | | | |

*المرحلة 3:* حساب زاوية الانتثار θ (المسافة الزاوية) من:

(1)

حيث θ*t* و θ*r* تمثلان زاويتي الأفق للإرسال وللاستقبال على التوالي، و

(2)

مع:

*d*: عرض المسير (km)

*a* : نصف قُطر الأرض km 6 370

*k*: عامل نصف قُطر الأرض الفعلي لشروط الانعكاسية الوسطى (يجب أن تستعمل قيمة 4/3 = *k* إلا في حال عرفت قيمة أكثر دقة)؛

*المرحلة 4:* تقدير اعتماد خسارة الإرسال *LN* على ارتفاع الحجم المشترك من:

(3)

حيث:

(4)

(5)

و γ هي معلمة البنية الجوية المتحصل عليها من المرحلة 2.

*المرحلة 5:* تقدير عامل التحويل *Y*(*q*) للنسب المئوية لعدم التخطي *q* غير %50 المبين في المناخ المعني:

(6)

وتكون *Y*(90) هنا عامل التحويل من أجل *q* %90 = المعطى بالمعادلة المناسبة (11-7) على النحو المبين في الجدول 2 للمناخ المعني:

 (7)

 (8)

(9a)  *ds* < 100

(9b)  100 ≤ *ds* < 1000

(9c)  otherwise

(10a)  *ds* < 100

(10b)  100 ≤ *ds* < 465

(10c)  otherwise

(11a)  *ds* < 100

(11b)  100 ≤ *ds* < 550

(11c)  otherwise

حيث:

(12)  km

ويمكن الحصول على المعامل *C*(*q*) من أجل النسبة المئوية الزمنية *q* لعدم التخطي المعنية من الجدول 3.

الجـدول 3

قيم *C*(*q*) وثيقة الصلة

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *q* | 50 | 90 | 99 | 99,9 | 99,99 |
| *C(q)* | 50 | 91 | 91,82 | 92,41 | 92,90 |

*المرحلة 6:* تقدير خسارة إقران الفتحة إلى الوسيط *Lc* من:

(13)

حيث يمثل كل من *Gt* و*Gr* كسب الهوائي.

*المرحلة 7:* تقدير متوسط الخسارة السنوية عند الإرسال التي لا يتم تخطيها من أجل %*q* من الوقت من:

(14)

الملاحظة 1 – إن المعادلة (14) هي صيغة تجريبية قائمة على معطيات من أجل مدى الترددات بين MHz 200 وGHz 4. ويمكن تمديدها إلى GHz 5 مع نسبة قليلة من الأخطاء بالنسبة إلى كل التطبيقات.

## 2.4 متوسط توزيع الخسارة المتوسطة لأسوأ شهر بالنسبة إلى نسب مئوية تزيد عن %50

من أجل التوافق مع متوسط توزيع خسارة الإرسال، يتم تحديد هذا التوزيع بأفضل وجه من توزيع المتوسط السنوي بواسطة عامل تحويل. ويتم هذا الإجراء على النحو التالي:

*المرحلة 1:* الحصول على توزيع المتوسط السنوي من أجل النسب المئوية لعدم التخطي (50 و90 و99 و99,9) والمناخ المعني (المناخات المعنية) باستخدام التقنية الواردة في الفقرة 1.4.

*المرحلة 2:* الحصول على فرق توهين الإرسال المرجعي بين متوسط التوزيع السنوي والتوزيع المتوسط للشهر الأكثر مؤاتاة بالاستعانة بمنحنيات الشكل 2. ونظراً إلى أن المنحنيات غير متيسرة من أجل المناخين 2 أو5 فإن منحنيات المناخ 3 تستخدم من أجل المناخ 2. ومنحنيات المناخ 6 تستخدم من أجل المناخ 5.

وتحدد المسافة المكافئة المستعملة في الشكل 2 كالتالي:

(15)               km

حيث تكون للرموز نفس القيم المستخرجة في الفقرة 1.4.

*المرحلة 3:* إضافة الفرق في المرحلة 2 إلى متوسط القيم السنوية المقابلة في المرحلة 1 من أجل الحصول على متوسط خسارات إرسال أسوأ شهر من أجل النسب المئوية لعدم التخطي (50 و90 و99 و99,9).

*المرحلة 4:* إن خسارات متوسط إرسال أسوأ شهر التي لم يتم تخطيها خلال %99,99 من الوقت بإمكانها أن تقيَّم من القيم الواردة أعلاه بواسطة الاكتمال الخارجي اللوغاريتمي (أي الاكتمال الخارجي من مخطط على ورق عادي للاحتمالية).

## 3.4 متوسط توزيع الخسارة المتوسطة السنوية لنسب مئوية زمنية تقل عن %50

بالنسبة إلى النسب المئوية الزمنية بين حوالي %20 (تصل هذه النسبة إلى %1 في بعض المناخات الجافة فوق الأرض) و %50، يمكن أن يعتبر متوسط توزيع خسارة الإرسال السنوي متناظراً وتقيَّم قيم توهين الإرسال ابتداءً من القيم العليا المقابلة للمتوسط؛ أي:

(16)

إلا أنه من أجل حسابات المدى الدينامي التي تتطلب تقييماً بالتوزيع للنسب المئوية الزمنية المنخفضة، لا يمكن أن يفترض أن هناك انتثاراً تروبوسفيرياً صافياً. وإن قيم خسارة الإرسال التي لم يتم تخطيها خلال نسب مئوية صغيرة من الزمن سوف تحدد بواسطة آلية انتشار المجرى. ويتم تقييم هذه القيم بأفضل وجه بواسطة التقنية الوارد وصفها في التوصية ITU‑R P.452.

# 5 استقبال التنوعية

إن الخبوّ الحاد الذي يظهر مع انتشار الانتثار التروبوسفيري يخفض بحدة من أداء الأنظمة التي تستخدم أسلوب الانتشار هذا. ويمكن أن يخفض أثر الخبو عن طريق استقبال التنوّعية باستخدام إشارتين أو أكثر التي تخبو بشكل مستقل نوعاً ما ويعود ذلك إلى الاختلافات في مسير أو تردد الانتثار. وبالتالي، فمن المعروف أن استعمال المكان أو الزاوية تنوعية التردد يخفض النسب المئوية الزمنية التي يتم خلالها تخطي خسارات إرسال كبيرة إلا أنه من الممكن أن يكون لتنوعية الزاوية نفس أثر تنوعية الفضاء العمودي كما يمكن أن تكون أكثر توفيراً.

الشـكل 2

المنحنيات التي تقدم الفرق بين خسارة الإرسال الأساسي لأسوأ شهر  
والخسارة السنوية للإرسال الأساسي



المسافة المكافئة d q (km)

ب) المناخ 3، يمكن أن تستخدم أيضاً للمناخ 2

ج) المناخ 4

أ ) المناخ 1

المسافة المكافئة d q (km)

المسافة المكافئة d q (km)

المسافة المكافئة d q (km)

د ) المناخ 6 والبحر يمكن أن تستخدم أيضاً للمناخ 5

فرق خسارة الإرسال الأساسي (dB)

## 1.5 التنوعية المكانية

يمكن أن تستخدم التنوعية المكانية أفقياً أو عمودياً وذلك يتوقف على ما هو ملائم للموقع المعني. إن التباعدان التنوعيان الملائمان Δ*h* وΔ*v* الأفقيان أو العموديان على التوالي للترددات التي تزيد عن MHz 1 000 يبينان بواسطة علاقات تجريبية:

(17)                 m

(18)                 m

حيث تمثل *D* قُطر الهوائي بالأمتار m 20 = *Ih* و*Iv* m 15 = هما سُلَّمَي طول تجريبيين في الاتجاهين الأفقي والعمودي على التوالي.

## 2.5 تنوعية التردد

بالنسبة إلى التجهيزات التي يُرغب فيها استخدام تنوعية الترددات، يبين فصل تردد ملائم (MHz) Δ*f* للترددات التي تزيد عن MHz 1 000 بواسطة العلاقة التالية:

(19)                 MHz

حيث:

*f* : التردد (MHz)

*D* : قُطر الهوائي (m)

θ : زاوية الانتثار (mrad) المتحصل عليها من المعادلة (1)

= *Iv* m 15 سلم الطول الوارد أعلاه.

## 3.5 تنوّعية الزاوية

يمكن أن تستخدم تنوعية الزاوية كذلك ويستخدم فيها مغذيان هوائيان متباعدان أو أكثر في الاتجاه العمودي مع عاكس مشترك. وإن ذلك يخلق أحجاماً مختلفة مشتركة متباعدة عمودياً مشابهة لوضع التنوعية المكانية العمودية. إن المباعدة الزاوية Δθ*r* المطلوبة من أجل الحصول على نفس أثر المباعدة العمودية Δ*v* (m) في المعادلة (18) في مسير متناظر تقريباً هي:

(20)

حيث *d* تمثل طول المسير (km).

# 6 تأثير موقع المحطات

إن موقع وصلات الإرسال يتطلب شيئاً من العناية. ولا يجب أن تسد حزمات الهوائي بواسطة أشياء قريبة ويجب أن توجه الهوائيات بشكل بسيط فوق الأفق. ويتوقف الارتفاع الأمثل الدقيق على المسير والشروط الجوية إلا أنه يقع ضمن 0,2 إلى 0,6 مرة لعرض الحزمة فوق الأفق.

إن التقييسات التي تُجرى عن طريق نقل الحزمة التي يبلغ كسب هوائيها dB 53 بعيداً عن اتجاه أفق الدائرة الكبيرة لمرسلين كل ذات GHz 2 يبعد km 300 الواحد عن الآخر قد بينت انخفاضاً في معدل القدرة المستقبلة بنسبة dB 9 للدرجة الواحدة. وقد ظهر ذلك مع انخفاضات في زاوية الانتثار على الدرجات الأولى الثلاث في كل من السمت والارتفاع لكل مسير ولمدى واسع من النسب المئوية الزمنية.

التذييل 1  
  
مواد إضافية داعمة

# 1 التغيُّرات الموسمية والنهارية في خسارة الإرسال

في المناخات المعتدلة، تختلف خسارة الإرسال سنوياً ويومياً. ويميل متوسط الخسارات الشهري ليكون أعلى في فصل الشتاء منه في الصيف. ويتراوح المدى بين 10 و15 dB عبر مسيرات برية تتراوح بين 150 و250 km، لكنه يتضاءل بازدياد المسافة. وتظهر القياسات التي أجريت في الأجزاء الأوروبية من الاتحاد الروسي على مسير بطول 920 km وبتردد 800 MHz فارقاً قدره 2 dB فقط بين متوسطي الصيف والشتاء. وتكون الاختلافات النهارية أكثر وضوحاً في الصيف، بمدى يتراوح بين 5 و10 dB عبر مسيرات برية تتراوح بين 100 و200 km. وتُتكبد أكبر خسارة إرسال في فترة ما بعد الظهر، وأقل خسارة في الصباح الباكر. وتكون المسيرات البحرية أكثر عرضة من المسيرات البرية للتأثر بالطبقات فائقة الانكسار والمرتفعة، لذلك يكون تفاوت التغيرات فيها أوسع. ولعل ذلك ينطبق أيضاً في فصل الصيف. اًعلى الأقاليم المسطحة المنخفضة والأقاليم الساحلية في المناطق البحرية.

وفي المناخات الصحراوية الجافة والحارة، يبلغ التوهين أقصاه في فصل الصيف. فتزيد التغيرات السنوية للمتوسطات الشهرية عن dB 20 في مسيرات متوسطة المسافة، فيما تكون التغيرات النهارية كبيرة جداً.

في المناخات الاستوائية، تصغر التغيرات السنوية والنهارية عموماً.

وفي مناخات الأمطار الموسمية حيث أجريت قياسات (السنغال، بربادوس)، تصادَف القيم القصوى للتغيرات أثناء موسم الأمطار، ويكون التوهين في أدناه بين المواسم الرطبة والجافة.

# 2 تواتر الخبوّ السريع في مسيرات التناثر التروبوسفيري

يتواتر الخبوّ السريع بواقع بضع مرات في الدقيقة عند الترددات الأدنى من نطاق الموجات الديسيمترية (UHF). ومن شأن تراكب عدد من المكونات المتغيرة غير المتماسكة أن يعطي إشارة ذات اتساع بتوزيع رايلي (Rayleigh)، وتبين أن ذلك يكاد يصح عند تحليل التوزيع على مدى فترات تصل إلى 5 دقائق. وإذا ما شكلت أنواع أخرى من الإشارات جزءاً كبيراً من الإشارة المستقبَلة، يطرأ تعديل على هذا التوزيع. وقد لوحظ خبوّ مفاجئ وعميق وسريع عند عبور اضطراب أمامي وفق وصلة. ويمكن للانعكاسات عن الطائرات أن تسبب خبواً سريعاً وواضحاً.

وقد دُرس تواتر الخبو السريع بدلالة دالة الارتباط التلقائي مع الزمن التي توفر "متوسط تواتر الخبو" لفترات قصيرة من الوقت تكون فيها الإشارة ساكنة. وتبين أن متوسط قيمة "متوسط تواتر الخبو" يكاد يزداد طرداً مع ازدياد طول المسير وتردد الموجة الحاملة، ويتناقص قليلاً بازدياد قُطر الهوائي.

وقد أظهرت القياسات أيضاً أن سرعة الخبوّ تبلغ ذروتها عندما يزيد متوسط خسارة الإرسال الساعية عن متوسط المدى الطويل. وبوجه عام، تبين أن معدل الخبو يتناقص بتناقص خسارة الإرسال إلى ما دون متوسط المدى الطويل. وتكون معدلات الخبو في أدناها خلال الأحداث التي يطغى عليها الانتشار بالمجرى.

والأهم هو الخبو الأسرع في المتوسط الساعي لقيم خسارة الإرسال التي تزيد عن متوسط المدى الطويل. وتعطي القياسات القليلة المتاحة (بتردد 2 GHz) متوسط معدلات خبو تتراوح بين 20 و30 حالة خبو في الدقيقة.

# 3 عرض نطاق الإرسال

إن الانقطاعات المختلفة التي تؤدي إلى انتشار انتثاري تشق مسيرات قد تختلف من حيث العدد ووقت الإرسال. ووفقاً لذلك، لا يوجد ترابط تام بين معاملات الإرسال لترددين متجاورين، لأمر الذي يؤدي إلى تشويه الإشارة المرسلة. ويكون عرض النطاق القابل للإرسال هو عرض النطاق الذي تقبل فيه الإشارة المرسَلة التشويه الحاصل بفعل هذه الظاهرة. لذلك، يتوقف عرض النطاق هذا على طبيعة كل من الإشارة المرسلة (المهاتفة المتعددة، وصور التلفزيون، إلخ.) وعلى التشويه المقبول لهذه الإشارة. وتبين الدراسات التي أجريت في فرنسا أن:

– زيادة كسب الهوائي توسع عرض النطاق القابل للإرسال حتى الحد الذي يزداد فيه أيضاً تردي الكسب (لقيم الكسب التي تزيد عن dB 30  تقريباً)؛

– وفي حال تساوي كل الأمور الأخرى، يتوقف عرض النطاق القابل للإرسال على بنية الغلاف الجوي وبالتالي على المنطقة المناخية المعنية؛

– ويضيق عرض النطاق القابل للإرسال بازدياد المسافة، ولكن ذلك يخضع لقانون لا يسري بالطريقة نفسها على جميع المناخات؛

– ويضيق عرض النطاق القابل للإرسال عندما تكون زوايا الانطلاق إيجابية، ويتوسع عندما تكون هذه الزوايا سلبية.

1. \* أجرت لجنة الدراسات 3 تعديلات صياغية على هذه التوصية في أبريل 2015 طبقاً للقرار ITU‑R 1. [↑](#footnote-ref-1)