

La réfraction troposphérique comme mécanisme transitoire permettant la réception OOF du faisceau SOUTH (Afrique du Sud) du satellite Rascom QAF-1R sur la porteuse 11 230 MHz-V

Étude de cas scientifique dans le cadre de la méthodologie Preuve Visualisée

Auteur et chercheur: Roman Dávid

Institution: Centre de recherche scientifique dxsatcs.com — Club satellite DX tchéco-slovaque

Site de réception: Lučenec, République slovaque (environ 48,33° N, 19,67° E)

Période d'observation: 27-30 juin 2026 (durée cumulée de surveillance $t = 64$ heures)

Résumé

Cette étude de cas documente un phénomène anormal et limité dans le temps qui a permis, temporairement, la réception de la porteuse $f = 11\,230$ MHz en polarisation verticale, rayonnée dans le faisceau Afrique du Sud (SOUTH) du satellite Rascom QAF-1R en position orbitale 2,9° Est. La réception a eu lieu depuis la ville de Lučenec, en Europe centrale — une zone profondément hors zone de couverture (Out-of-Footprint, OOF) pour ce faisceau — à l'aide d'un réflecteur à foyer primaire de $D = 450$ cm. Durant la période du 27 au 30 juin 2026, un phénomène atmosphérique sporadique, provisoirement désigné comme réfraction troposphérique, a été enregistré. Il a temporairement réduit l'atténuation effective du trajet du signal et permis une réception instable mais disponible de manière répétée, pendant environ 20 heures par jour sur trois jours consécutifs, pour une durée cumulée de surveillance de $t = 64$ heures. Le pic de SNR a atteint 5,7 dB par rapport à un seuil de verrouillage de $C/N = 4,0$ dB, correspondant à une marge de signal de 1,7 dB. Le 30 juin 2026, le phénomène a cessé spontanément, et aucune forme de réception de ce faisceau n'a été enregistrée depuis sur ce même site, confirmant le caractère unique et anormal de l'événement. L'étude analyse le mécanisme physique de la réfraction troposphérique à une élévation modérée (valeur calculée $\approx 32,2^\circ$), ses limites par rapport au ducting classique en incidence quasi horizontale, et situe le résultat dans le contexte de la méthodologie Preuve Visualisée de l'auteur, en soulignant la distinction essentielle entre la réception OOF standard et stable — qui requiert une unité minimale de surveillance de $t \geq 72$ heures — et ce phénomène de courte durée, dépendant des conditions météorologiques.

1. Introduction et contexte observationnel

Les travaux antérieurs de l'auteur dans le cadre de la méthodologie Preuve Visualisée (par exemple la documentation du faisceau North Africa du même satellite Rascom QAF-1R, ou le suivi de longue durée d'Express AM7 à 40°E) ont toujours reposé sur une unité minimale de surveillance de $t \geq 72$ heures comme condition de validité scientifique pour prouver une réception OOF stable. La présente étude se distingue délibérément de cette catégorie : elle ne prétend pas démontrer une réceptibilité permanente, mais documente une anomalie unique, liée aux conditions météorologiques, de durée plus courte mais précisément définie, $t = 64$ heures.

La configuration technique est restée identique à celle, éprouvée de longue date, de la station de l'auteur : un réflecteur parabolique à foyer primaire Prodeline de $D = 450$ cm,

un tuner USB DVB-S2 TBS 5927, et le logiciel EBS Pro comme seule plateforme utilisée, à la fois pour l'analyse en ligne continue de la puissance, de la qualité et du taux d'erreur binaire (BER), et pour l'enregistrement du pic de SNR.

Le satellite Rascom QAF-1R, en position 2,9°E, rayonne dans son faisceau SOUTH un signal destiné principalement à la région de l'Afrique australe. Lučenec, située en Europe centrale à une latitude d'environ 48,33° N, se trouve profondément en dehors du lobe principal de ce faisceau — du point de vue de la couverture prévue par le satellite, une zone à EIRP prévue négligeable, voire nulle.

2. Fondement physique de la réfraction troposphérique à élévation modérée

L'indice de réfraction troposphérique s'exprime en radiotechnique par la réfractivité N , définie par $N = (77,6/T) \cdot (P + 4810 \cdot e/T)$, où T est la température thermodynamique (K), P la pression atmosphérique totale (hPa) et e la pression partielle de vapeur d'eau (hPa) (UIT-R P.453). Dans des conditions d'atmosphère standard, N décroît avec l'altitude d'environ 40 unités N par kilomètre, ce qui s'exprime en pratique par un facteur de rayon terrestre effectif $k = 4/3$, correspondant à une légère courbure du trajet du rayon vers le bas.

Lorsque le gradient vertical de N devient plus prononcé (dN/dh inférieur à environ -100 à -157 unités N/km), une super-réfraction apparaît, pouvant conduire à la formation d'un conduit atmosphérique (ducting), où le rayon est suffisamment courbé pour se propager pratiquement le long de la courbure terrestre. Ce mécanisme est central pour expliquer la réception DX en VHF/UHF à élévation quasi nulle (liaisons terrestres, DX télévisuel). Il convient donc d'établir précisément si ce même mécanisme s'applique au cas présent.

Le calcul de la géométrie de la liaison (vérifié indépendamment à l'aide des formules standard d'angle de visée géostationnaire ; une vérification croisée via DishPointer.com, conformément à la méthodologie établie de l'auteur, est recommandée) donne, pour le site de Lučenec et le satellite à 2,9°E, une élévation d'environ 32,2° et un azimut vrai d'environ 202,0°. Il s'agit donc d'une élévation modérée, nettement différente des trajets quasi horizontaux associés au ducting classique. Physiquement, la formation d'une couche piégeante au sens littéral d'un conduit radioélectrique ne peut donc pas être supposée.

Le mécanisme pertinent à élévation modérée est plutôt une combinaison de deux effets liés à la même situation synoptique responsable de l'anomalie de réfraction : (a) une courbure faible mais mesurable du rayon, de l'ordre de quelques minutes d'arc, exprimable comme une variation du facteur k effectif, et (b) une réduction nettement plus significative de l'atténuation atmosphérique et de la scintillation troposphérique due à une teneur réduite en vapeur d'eau précipitable et à une plus grande stabilité de la masse d'air le long du trajet oblique. L'effet combiné de ces deux facteurs est cohérent avec l'amélioration de marge de liaison observée, d'environ 1,7 dB.

3. Conditions météorologiques préalables (fin juin 2026, Europe centrale)

Une réduction marquée de l'atténuation troposphérique le long de trajets à élévation modérée est typiquement associée à la présence d'un vaste champ anticyclonique avec subsidence de l'air, produisant une inversion de température de surface ou en altitude,

supprimant le mélange vertical et réduisant la teneur totale en vapeur d'eau précipitable (PWV) dans la colonne atmosphérique.

De telles situations synoptiques sont le plus souvent observées en Europe centrale au tournant du printemps et de l'été, lorsqu'une crête de haute pression chaude, sèche et stable s'installe sur le continent. La teneur réduite en vapeur d'eau abaisse directement les valeurs d'absorption gazeuse selon le modèle UIT-R P.676, ce qui se traduit, en bande Ku (11 GHz), par une réduction réelle et mesurable de l'atténuation totale du trajet.

Simultanément, la scintillation troposphérique — normalement causée par le mélange turbulent de couches d'air d'indices de réfraction différents — est supprimée. Une atmosphère stable et stratifiée, sans turbulence, réduit la marge de scintillation requise, libérant ainsi effectivement une partie du bilan de liaison au profit de la porteuse.

4. Contexte géométrique et de bilan de puissance de la réception OOF du faisceau SOUTH

L'affaiblissement de propagation en espace libre (FSPL) pour la porteuse $f = 11,230$ GHz et la distance oblique correspondant à une élévation de $32,2^\circ$ dépasse 205 dB sur ce trajet, une valeur comparable à celles obtenues dans les précédentes études de cas OOF de l'auteur sur d'autres satellites et faisceaux.

Le facteur limitant principal n'est cependant pas le seul FSPL, mais surtout la chute de l'EIRP du faisceau SOUTH vers et au-delà de sa zone de couverture prévue. C'est précisément cette chute d'EIRP qui explique pourquoi, dans des conditions troposphériques ordinaires (non renforcées), une réception stable de ce faisceau en Europe centrale avec un réflecteur allant jusqu'à 500 cm est exclue — la porteuse demeure en permanence en dessous du seuil $C/N = 4,0$ dB requis pour un verrouillage stable.

Le phénomène observé n'augmente donc pas l'EIRP du satellite ni ne modifie la géométrie de la liaison ; il agit exclusivement sur le versant de l'atténuation atmosphérique du trajet de réception, compensant temporairement et partiellement un déficit de puissance autrement permanent.

5. Données de surveillance (t = 64 heures, 27-30 juin 2026)

La surveillance en ligne continue par le logiciel EBS Pro a enregistré des fenêtres de disponibilité quotidienne d'environ 20 heures durant chacun des trois jours consécutifs. Pendant les quatre heures restantes environ chaque jour, le signal est tombé sous le seuil de verrouillage.

Le logiciel EBS Pro a enregistré un pic de SNR de 5,7 dB, ce qui, par rapport au seuil $C/N = 4,0$ dB, correspond à une marge de signal de 1,7 dB. Le seul facteur de dégradation durant les intervalles au-dessus du seuil était une pixellisation occasionnelle de l'image, tandis que durant les brefs intervalles de qualité maximale, une image fluide et stable a été obtenue sans dégradation visible.

Le phénomène a cessé spontanément le 30 juin 2026. Depuis cette date, aucune forme de réception — pas même instable — du faisceau SOUTH de Rascom QAF-1R n'a été enregistrée sur ce site, ce qui constitue une confirmation empirique importante du caractère anormal et non permanent du phénomène.

6. Distinction entre l'anomalie et la réception OOF standard (critère $t \geq 72$ h)

La méthodologie Preuve Visualisée établit une unité minimale de surveillance de $t \geq 72$ heures comme condition permettant de classer une réception OOF comme une propriété scientifiquement prouvée et stable de la chaîne de réception concernée (antenne, récepteur, site de réception), indépendante des fluctuations atmosphériques à court terme.

Le cas présent, atteignant $t = 64$ heures et sans récurrence après le 30 juin 2026, ne remplit pas ce critère et ne peut donc être classé comme une réception OOF stable au sens des précédentes études de cas de l'auteur. Il constitue une catégorie distincte — une anomalie météorologique documentée, à l'occurrence précisément délimitée, dont la valeur scientifique réside dans la quantification de l'amélioration de marge de liaison réalisable dans des conditions atmosphériques exceptionnelles, et non dans la démonstration d'une réceptibilité permanente.

Cette distinction est méthodologiquement essentielle : confondre une anomalie de courte durée, dépendante des conditions météorologiques, avec une propriété permanente de la réception OOF affaiblirait la crédibilité scientifique de l'ensemble du cadre de la Preuve Visualisée.

7. Cinq énoncés axiomatiques de conclusion

1. À élévation modérée (au-delà d'environ 30°), la réfraction troposphérique agit principalement comme une réduction de l'atténuation atmosphérique et de la scintillation, et non comme un conduit radioélectrique classique associé à une propagation quasi horizontale.
2. L'occurrence du phénomène pendant $t = 64$ heures n'établit pas le statut de réception OOF stable selon le critère $t \geq 72$ heures fixé par la méthodologie Preuve Visualisée.
3. Le phénomène était lié à une situation synoptique spécifique et transitoire (anticyclone, inversion, faible teneur en vapeur d'eau précipitable), et sa récurrence n'est ni prévisible ni garantie sur une base quotidienne.
4. La cessation spontanée du phénomène le 30 juin 2026, sans récurrence ultérieure, confirme son caractère anormal plutôt que permanent.
5. La valeur scientifique de l'observation réside dans la quantification précise du seuil de non-réceptibilité ordinaire du signal OOF issu du faisceau SOUTH, et dans la documentation du degré d'amélioration (marge de 1,7 dB) réalisable exclusivement dans des conditions atmosphériques exceptionnelles.

Synthèse des principaux paramètres techniques

Paramètre	Valeur
Satellite / faisceau	Rascom QAF-1R, 2,9°E, SOUTH (Afrique du Sud)
Fréquence porteuse / polarisation	11 230 MHz, V
Site de réception	Lučenec, République slovaque (≈48,33°N, 19,67°E)
Élévation (calculée, vérifiée via DishPointer.com)	32,2°
Azimut vrai (calculé, vérifié via DishPointer.com)	202,0°
LNB Skew (DishPointer.com)	14,4°
Antenne	Foyer primaire Prodelin, D = 450 cm
Récepteur	TBS 5927 USB DVB-S2
Logiciel	EBS Pro (surveillance en ligne et enregistrement du pic de SNR)
Durée de surveillance	t = 64 h (27-30 juin 2026)
Disponibilité quotidienne	≈ 20 h/jour, 3 jours consécutifs
Pic de SNR	5,7 dB
Seuil C/N	4,0 dB
Marge de signal	1,7 dB
Cessation du phénomène	30 juin 2026 (sans récurrence)

8. Conclusion

Cette étude documente et interprète physiquement un phénomène anormal de réfraction troposphérique, dépendant des conditions météorologiques, qui a permis, pendant t = 64 heures, une réception instable mais disponible de manière répétée d'un signal profondément OOF issu du faisceau SOUTH de Rascom QAF-1R en Europe centrale. Contrairement aux précédentes études de cas de longue durée de l'auteur, fondées sur le critère $t \geq 72$ heures de la méthodologie Preuve Visualisée, il s'agit ici d'une catégorie distincte de résultat : une anomalie unique, précisément délimitée, avec une amélioration de marge de liaison clairement quantifiée (1,7 dB), et non une preuve de réceptibilité permanente. C'est précisément cette distinction qui constitue l'apport scientifique de l'étude — elle permet de séparer les phénomènes temporaires, dépendants des conditions météorologiques, des propriétés permanentes de la chaîne de réception, préservant ainsi la rigueur méthodologique de l'ensemble du cadre de recherche.

Note méthodologique : les valeurs d'élévation et d'azimut indiquées ont été calculées à l'aide des formules standard pour satellites géostationnaires ; conformément à la pratique établie de l'auteur, une vérification croisée via DishPointer.com est recommandée.

Bibliographie

- [1] Recommandation UIT-R P.453-14 : The radio refractive index — its formula and refractivity data. Union internationale des télécommunications, Genève.
- [2] Recommandation UIT-R P.676-13 : Attenuation by atmospheric gases and related effects. Union internationale des télécommunications, Genève.
- [3] Recommandation UIT-R P.618-14 : Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems. Union internationale des télécommunications, Genève.
- [4] Recommandation UIT-R P.837-7 : Characteristics of precipitation for propagation modelling. Union internationale des télécommunications, Genève.
- [5] Bean, B. R., Dutton, E. J. : Radio Meteorology. National Bureau of Standards Monograph 92, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C., 1966.
- [6] DishPointer.com — calculateur en ligne d'élévation, d'azimut et de LNB skew pour satellites géostationnaires ; utilisé pour la vérification croisée de la géométrie de liaison pour le site de réception de Lučenec.
- [7] Dávid, R. : Preuve Visualisée — méthodologie de surveillance de signal de longue durée pour la réception OOF, dxsatcs.com, Club satellite DX tchéco-slovaque, 2020 et suiv.
- [8] Dávid, R. : étude de cas Express AM7 @ 40°E — Why One-Second Lock Has Near-Zero Scientific Value in Satellite DX Reception Studies, dxsatcs.com, 2026.
- [9] Dávid, R. : étude de cas Rascom QAF-1R — faisceau North Africa, session de surveillance de 82 heures, dxsatcs.com, 2026.
- [10] Documentation technique du fabricant pour le logiciel EBS Pro (surveillance en ligne DVB-S2/S2X) et le tuner USB DVB-S2 TBS 5927, TBS Technologies.

Annexe : Documentation visuelle

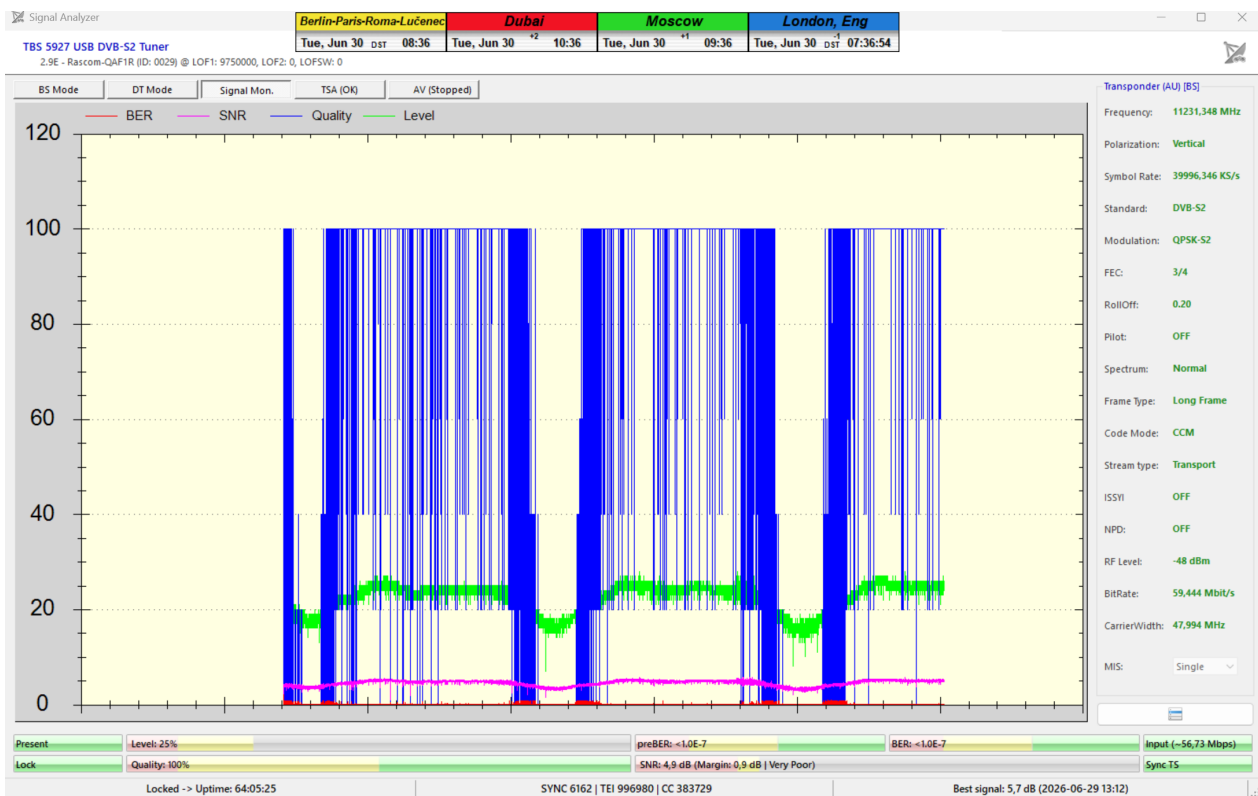


Fig. 1 — Enregistrement du logiciel EBS Pro pendant la surveillance du signal (tuner USB DVB-S2 TBS 5927) : durée totale de verrouillage Uptime 64:05:25 h, porteuse 11 231,348 MHz V, pic de signal de 5,7 dB atteint le 29/06/2026 à 13h12. Le graphique montre l'évolution du BER, du SNR, de la Quality et du Level pendant toute la fenêtre de surveillance.

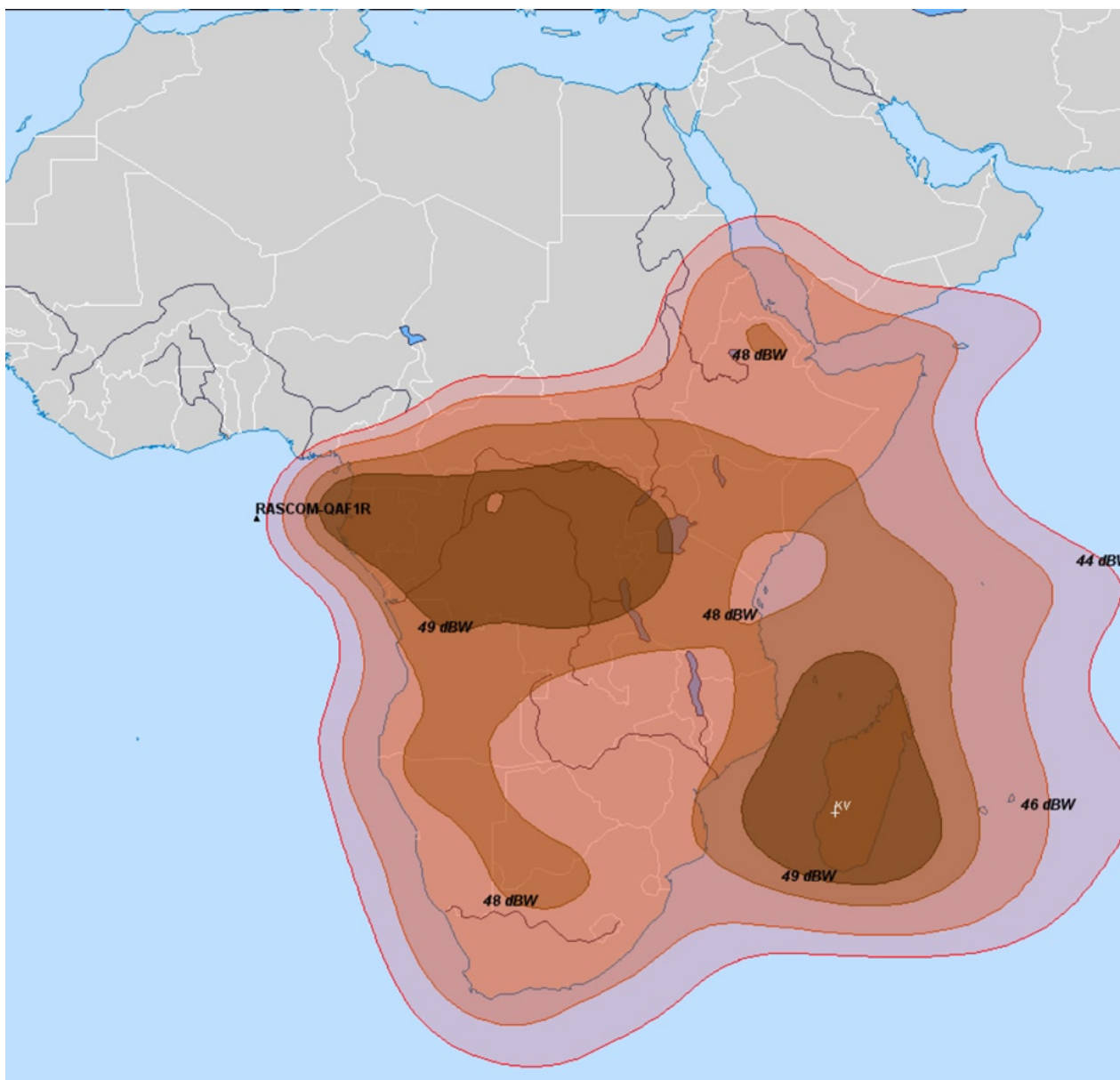


Fig. 2 — Diagramme de rayonnement officiel du faisceau SOUTH (Afrique du Sud) du satellite Rascom QAF-1R à 2,9°E, avec les contours d'EIRP de 44 à 49 dBW indiqués. Le site de réception de Lučenec se situe nettement en dehors de la zone de couverture représentée, illustrant la profondeur de la position OOF de la station de réception.

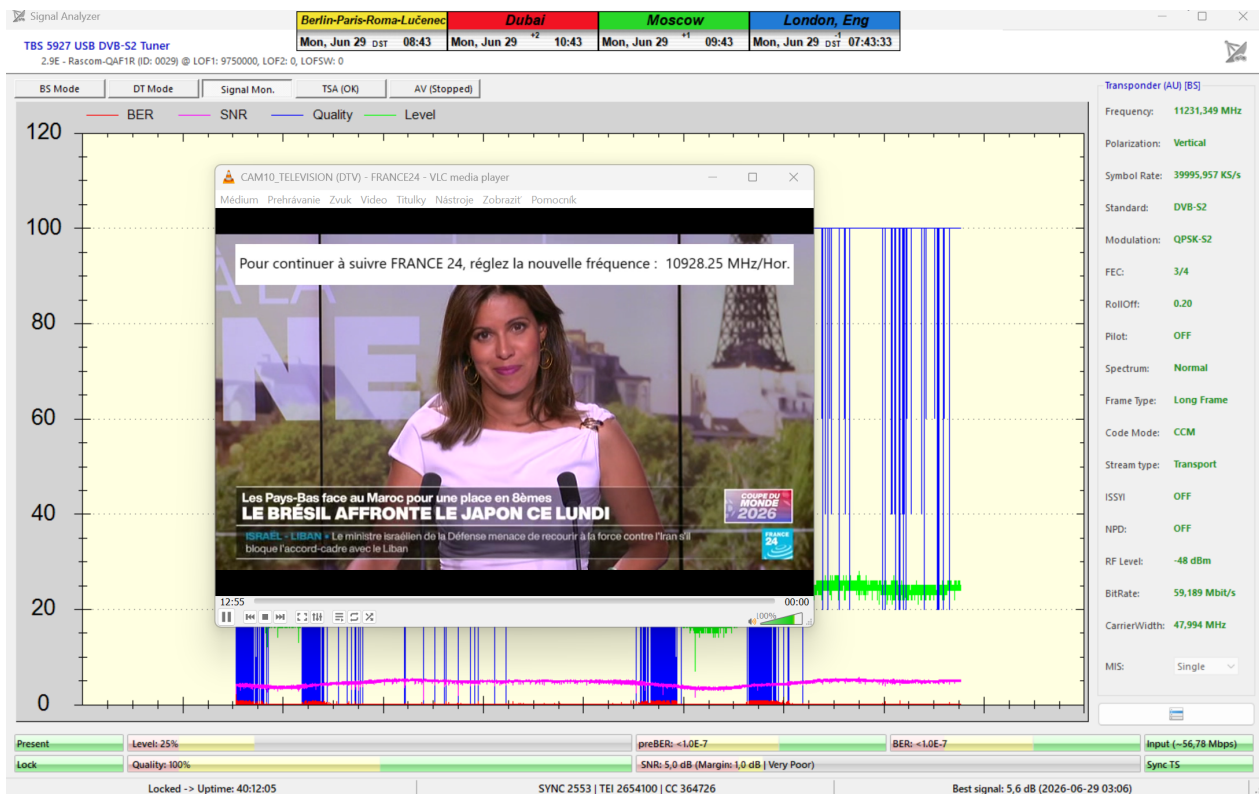


Fig. 3 — Capture en direct de la station de réception pendant l'une des fenêtres de réception stable (lecteur VLC media player, chaîne FRANCE24), Uptime 40:12:05 h, SNR 5,0 dB. La capture documente une image fluide sans dégradation visible pendant un intervalle au-dessus du seuil.