# Réception des porteuses du satellite Al Yah 1 (52,5° E) en zone Out Of Footprint

## Étude de cas à Lučenec (République slovaque) avec un réflecteur à foyer centré Prodelin de D = 450 cm : six porteuses du diagramme EAST et une du diagramme MENA en bande Ku

**Auteur des mesures et de la méthodologie :** Roman Dávid, www.dxsatcs.com
**Lieu de réception :** Lučenec, République slovaque (48,3331° N, 19,6664° E)
**Date de rédaction :** 9 novembre 2026
**Disciplines :** physique ondulatoire, techniques hyperfréquences, mathématiques, réception satellitaire
**Source des données :** suivis de signal de l'auteur (7 porteuses, 510 h au total) ; AZ/EL selon dishpointer.com ; diagrammes de rayonnement SES/Yahsat
**Traitement :** texte, calculs et graphiques élaborés par le modèle de langage Claude (Anthropic) à partir des données et des affirmations de l'auteur ; toutes les valeurs mesurées proviennent de l'auteur.

**Résumé.** Cette étude analyse la réception continue de sept porteuses du satellite Al Yah 1 (Yahsat 1A, 52,5° E) à Lučenec, c'est-à-dire dans une zone très éloignée de l'empreinte (Out Of Footprint) des diagrammes EAST et MENA. La réception a été suivie à l'aide d'un réflecteur Prodelin de 450 cm de diamètre ; chaque porteuse a été surveillée pendant au moins 72 heures, soit 510 heures au total, ce qui, avec un échantillonnage à 1 Hz, correspond à 1 836 000 points de mesure. Le paramètre de qualité Q n'est jamais tombé à zéro, c'est-à-dire qu'aucune perte de verrouillage (lock) ne s'est produite, y compris lors d'averses occasionnelles d'intensité modérée. La détermination du pointage (AZ 139,2° / EL 26,2°), du trajet du signal (38 962 km, affaiblissement en espace libre de 205,8 dB), des seuils de modulation et de l'affaiblissement dû à la pluie montre que l'état observé est physiquement cohérent avec un bilan de liaison indicatif. La comparaison avec les enregistrements de 2022, après conversion en une grandeur commune $Es/N_0$, laisse apparaître une baisse du niveau du signal de l'ordre de 3 à 6 dB (typiquement autour de 4 dB), dont la cause ne pourra être déterminée que par des mesures de contrôle complémentaires. L'étude présente également les limites d'interprétation qu'il convient de respecter lors de la publication.

**Mots-clés :** Al Yah 1, Yahsat 1A, 52,5° E, bande Ku, Out Of Footprint, EAST, MENA, DVB-S, DVB-S2, $Es/N_0$, marge de signal, affaiblissement dû à la pluie, Lučenec, Europe centrale.

## 1. Introduction et objectif de l'étude

La réception satellitaire hors empreinte (Out Of Footprint) concerne une zone pour laquelle le diagramme de rayonnement du satellite n'est plus conçu pour assurer la couverture ; le signal reçu provient donc des parties périphériques du lobe principal ou de sa pente abrupte en s'éloignant du cœur de la zone de couverture. L'EIRP y est inférieur de plusieurs dizaines de dB à la valeur de crête du diagramme, et la réception n'est possible que grâce à une grande surface effective de l'antenne, à une faible température de bruit de la chaîne de réception et à la stabilité de l'ensemble du trajet. Le satellite Al Yah 1 (Yahsat 1A) émet depuis la position 52,5° E en bande Ku dans plusieurs faisceaux. Pour cette étude, les faisceaux importants sont le faisceau EAST, destiné à la région allant du golfe Persique à l'Asie centrale, et le faisceau MENA, qui couvre l'Afrique du Nord et le Proche-Orient.

L'objectif de l'étude est d'analyser en détail les résultats des suivis de signal de longue durée que l'auteur a réalisés à Lučenec et de les replacer dans un cadre physique et mathématique. L'étude porte sur trois questions :

**(a)** Quelle est la géométrie de réception (azimut, élévation, distance, affaiblissement en espace libre, largeur du faisceau de l'antenne) et que s'ensuit-il pour la précision de réglage requise ?
**(b)** Quels sont les résultats obtenus (durée, nombre de points de mesure, absence de perte de verrouillage) et quelle est leur signification statistique et physique ?
**(c)** En quoi l'état actuel diffère-t-il des enregistrements de 2022 et quelles explications la baisse du signal admet-elle ?

L'affirmation centrale de l'auteur est la suivante : avec un réflecteur de 450 cm, il est possible de recevoir en Europe centrale, durablement et sans perte de verrouillage, sept porteuses d'Al Yah 1, dont une porteuse du faisceau MENA. L'étude développe cette affirmation en détail et montre dans quelles limites elle est étayée par les données mesurées. Lorsque des données seront ajoutées ultérieurement (par exemple les tableaux de précipitations), cela est indiqué expressément.

# 2. Géométrie de réception : AZ/EL, distance et largeur du faisceau de l'antenne

## 2.1 Réglage de l'antenne pour Lučenec

Les données de réglage de l'antenne proviennent de dishpointer.com (capture d'écran sous le texte). Pour la position 48,3331° N et 19,6664° E et un satellite à 52,5° E, les valeurs correctes sont les suivantes :

| Grandeur | Valeur (dishpointer.com) | Calcul indépendant |
|---|---|---|
| Azimut (vrai, par rapport au nord géographique) | 139,2° | 139,18° |
| Azimut (magnétique) | 133,1° | écart de 6,1° = déclinaison magnétique |
| Élévation | 26,2° | 26,16° |
| Skew du LNB | −25,8° | – |
| Longueur du trajet oblique satellite – antenne | – | 38 962 km |
| Temps de propagation du signal (aller simple) | – | ≈ 130 ms |

J'ai vérifié les valeurs de dishpointer.com par un calcul indépendant fondé sur la géométrie de l'orbite géostationnaire (annexe A). Le résultat de 139,18° et 26,16° concorde avec les valeurs de 139,2° et 26,2° aux arrondis près, de sorte que ces données sont utilisées dans l'étude comme valeurs de référence.

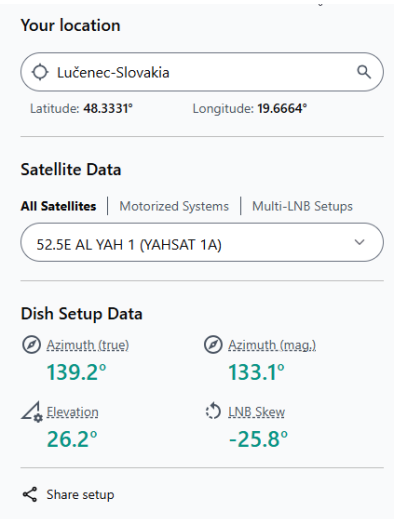



*Fig. 1 – Réglage de l'antenne pour Lučenec et Al Yah 1 (Yahsat 1A) à 52,5° E selon dishpointer.com : AZ 139,2° (vrai), 133,1° (magnétique), EL 26,2°, skew du LNB −25,8°.*

### 2.2 Importance de la faible élévation

Une élévation de 26,2° est assez basse. Le signal traverse la troposphère selon un trajet oblique environ 1 / sin(26,2°) ≈ 2,3 fois plus long que dans la direction du zénith. Pour la réception en bande Ku, il en résulte trois conséquences : un affaiblissement gazeux plus important (oxygène et vapeur d'eau), un trajet plus long à travers la couche de pluie et une plus grande amplitude de la scintillation troposphérique. À l'inverse, une faible élévation accroît l'exigence de visibilité directe dans la direction 139° (obstacles, arbres, bâtiments). La stabilité durable du verrouillage sur les sept porteuses confirme en même temps, de manière indirecte, que le trajet est dégagé.

### 2.3 Affaiblissement en espace libre et retard

Pour une distance d = 38 962 km et une fréquence f = 11,9 GHz, l'affaiblissement en espace libre est

$$L_{fs} = 92{,}45 + 20\cdot\log_{10}(d\ [km]) + 20\cdot\log_{10}(f\ [GHz]) \approx 205{,}8\ dB.$$

C'est la perte dominante du trajet. Chaque doublement de la distance ajouterait 6 dB, mais pour un satellite géostationnaire la distance est fixe ; en pratique, seuls le gain de l'antenne, la température de bruit et, bien entendu, l'EIRP peuvent donc varier, ce dernier ne dépendant toutefois que de l'opérateur.

### 2.4 Gain et largeur de faisceau du réflecteur de 450 cm

La longueur d'onde à 11,9 GHz est λ ≈ 2,52 cm. Le gain d'un réflecteur parabolique de diamètre D et de rendement η est

$$G = \eta\cdot(\pi\cdot D / \lambda)^2$$

Pour D = 4,5 m et η = 0,60 à 0,70, on obtient G ≈ 52,8 à 53,4 dBi (valeur moyenne de 53,1 dBi pour η = 0,65). La largeur du faisceau à −3 dB est d'environ

$$\theta_{3\ dB} \approx 70\cdot\lambda / D \approx 0{,}39°.$$

Un faisceau étroit a deux faces. Le bon côté est l'excellente réjection des signaux des satellites voisins et des brouillages terrestres. L'inconvénient est une exigence sévère de précision de réglage : un écart Δθ par rapport au maximum provoque une baisse de gain d'environ

$$\Delta G \approx 12\cdot(\Delta\theta / \theta_{3\ dB})^2\ [dB].$$

Pour Δθ = 0,05°, on obtient ≈ 0,2 dB ; pour Δθ = 0,10°, ≈ 0,8 dB ; pour Δθ = 0,20°, ≈ 3,2 dB. Si la marge de signal se situe à un niveau de 1 à 2 dB, chaque dixième de degré est donc critique ; le vent, la dilatation thermique de la structure et de petits déplacements du montage peuvent ainsi consommer entièrement la marge. La stabilité observée témoigne donc aussi d'un montage mécaniquement très rigide.

À titre de comparaison : un réflecteur de 300 cm de diamètre a un gain inférieur de $20\cdot\log_{10}(450/300)$ = 3,52 dB et un faisceau d'environ 0,59° de large. Cette différence est exploitée au chapitre 8.

## 3. Diagrammes de rayonnement EAST et MENA et position de Lučenec

Les figures 2 et 3 présentent les diagrammes officiels d'EIRP en bande Ku pour les faisceaux EAST et MENA du satellite Yahsat 1A. Les zones entièrement colorées indiquent les régions à EIRP plus élevé ; les isocontours sont exprimés en dBW. Le faisceau EAST comporte les isocontours 51, 50 et 48 dBW, le faisceau MENA 50, 48, 46 et 44 dBW.

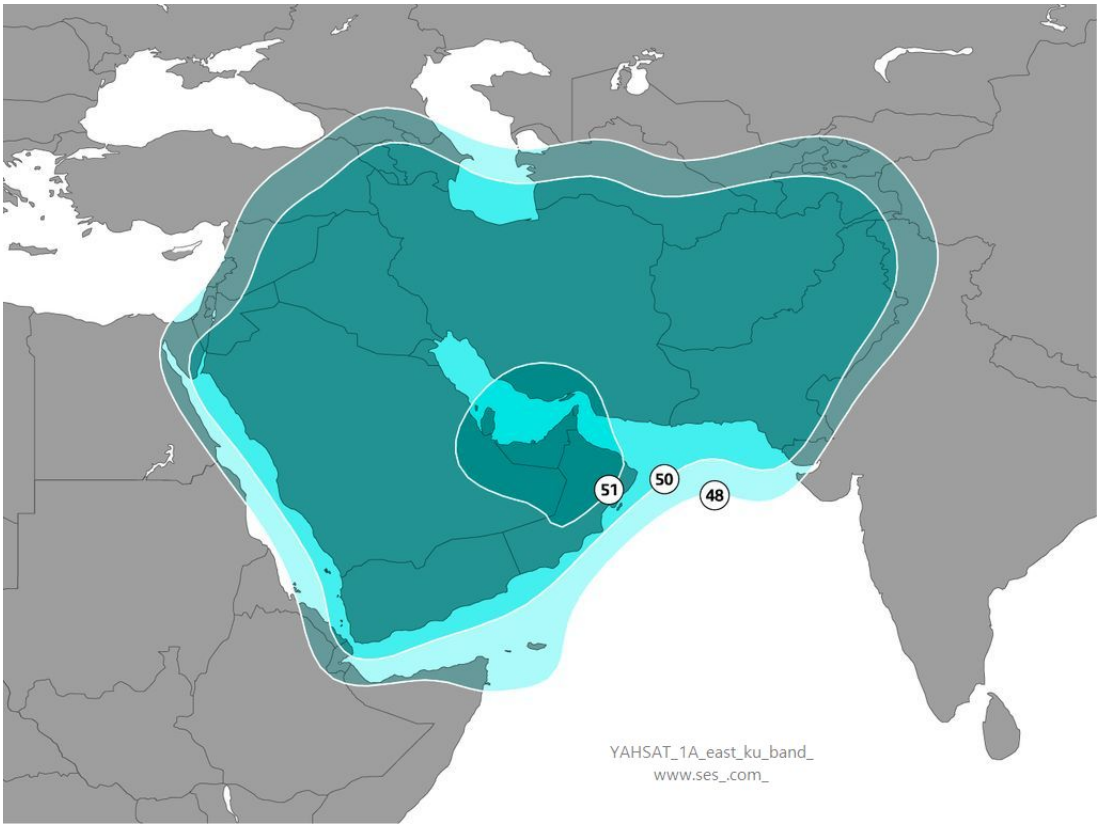



*Fig. 2 – Diagramme de rayonnement EAST (bande Ku) du satellite Yahsat 1A ; isocontours d'EIRP 51/50/48 dBW. Source : SES (www.ses.com). Lučenec se situe au nord-ouest de l'extrait représenté, en dehors de tous les isocontours représentés.*

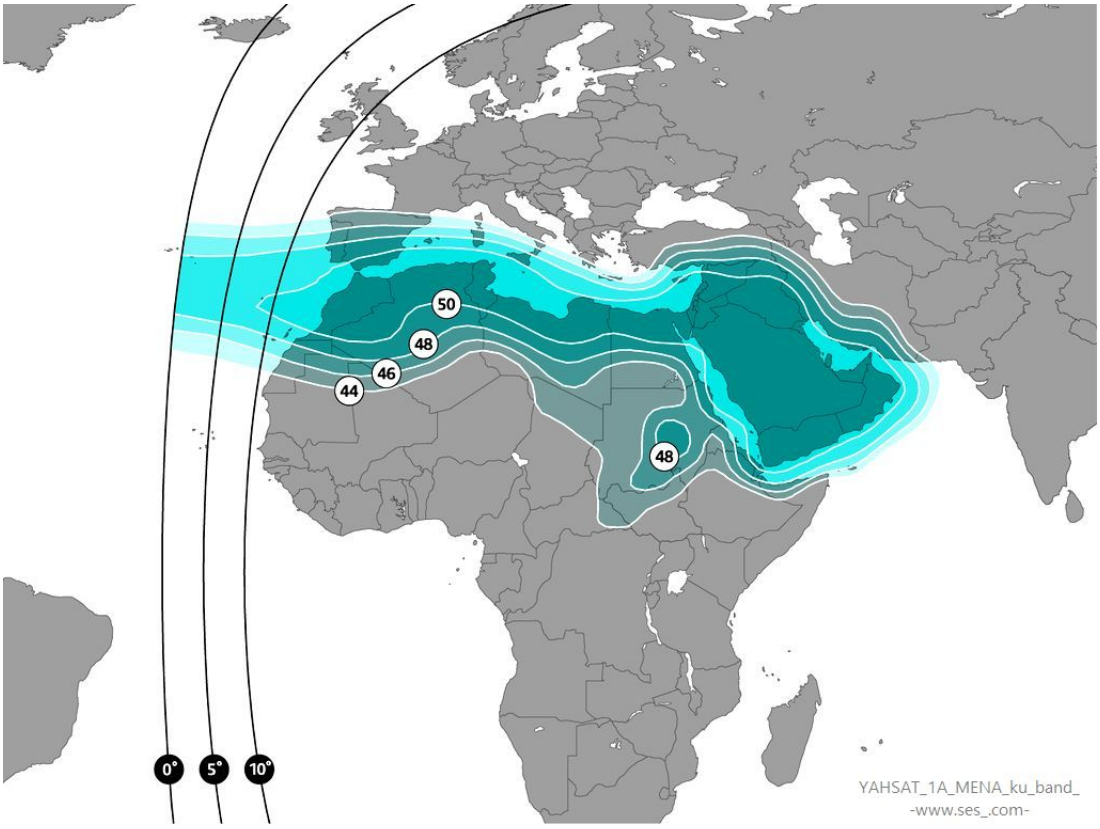



*Fig. 3 – Diagramme de rayonnement MENA (bande Ku) ; isocontours d'EIRP 50/48/46/44 dBW. Source : SES (www.ses.com). L'Europe centrale se situe au nord de l'isocontour représenté le plus éloigné.*

Les deux diagrammes montrent que Lučenec se trouve **en dehors de tous les isocontours représentés**, donc hors de la zone de couverture nominale. Dans le faisceau EAST, l'éloignement par rapport à la limite de couverture est marqué : la couverture est dirigée vers la péninsule arabique, l'Iran, l'Afghanistan et l'Asie occidentale, tandis que l'Europe centrale se situe en bordure nord-ouest, où n'atteint plus que la pente abrupte du diagramme. Dans le faisceau MENA, la couverture s'étend autour du bassin méditerranéen et du Proche-Orient ; l'Europe centrale se trouve au nord de l'isocontour extérieur.

Ni le constructeur ni l'opérateur n'indiquent d'EIRP garanti pour cette zone, de sorte que les valeurs réelles au lieu de réception ne sont pas connues par la documentation. Cette étude n'utilise donc pas la valeur d'EIRP du diagramme, mais des valeurs déduites de la mesure (chapitre 9). Il est important de noter que la réception de sept porteuses en un lieu aussi éloigné exige que le gain de toute la chaîne de réception soit proche du seuil, ce qui correspond précisément aux faibles marges observées.

# 4. Méthodologie du suivi du signal

La méthodologie découle des règles de l'auteur (dxsatcs.com) : pour les zones Out Of Footprint, la durée unitaire minimale de suivi d'une porteuse est de t = 72 heures. La raison en est que l'enregistrement doit couvrir plusieurs cycles journaliers (variation quotidienne de la température, de l'humidité, du vent et, le cas échéant, variation quotidienne de l'EIRP) et être ainsi véritablement représentatif. Pour chaque porteuse, le verrouillage (lock) du récepteur et la qualité Q (courbe bleue) ont été surveillés. Le critère d'échec était sans ambiguïté : une perte de verrouillage correspond à la valeur Q = 0.

## 4.1 Liste des porteuses suivies

| # | Fréquence / pol. | Faisceau | Contenu | Modulation, SR, FEC | Durée | Échantillons (1 Hz) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 11 766 V | EAST | Yahlive | DVB-S, QPSK, 27 500, 7/8 | 72 h | 259 200 |
| 2 | 11 842 V | EAST | Yahlive | DVB-S2, 8PSK, 27 500, 2/3 | 72 h | 259 200 |
| 3 | 11 881 V | EAST | GEM Turkey | DVB-S, QPSK, 27 500, 5/6 | 72 h | 259 200 |
| 4 | 11 977 H | EAST | Yahlive | DVB-S, QPSK, 27 500, 5/6 | 77 h | 277 200 |
| 5 | 11 996 V | EAST | Yahlive | DVB-S, QPSK, 27 500, 7/8 | 72 h | 259 200 |
| 6 | 12 072 V | EAST | Yahlive | DVB-S, QPSK, 27 500, 5/6 | 72 h | 259 200 |
| 7 | 12 168 H | MENA | Du UAE | DVB-S2, 8PSK, 27 500, 5/6 | 73 h | 262 800 |
| | **Total** | | | | **510 h** | **1 836 000** |

*Tabl. 1 – Les sept porteuses suivies. Le nombre d'échantillons est déduit de la durée et de l'échantillonnage à 1 Hz (heures × 3 600) ; la somme de 1 836 000 correspond à la valeur indiquée par l'auteur.*

Vérification de la somme : 5 × 72 h + 77 h + 73 h = 510 h ; 510 h × 3 600 s/h = 1 836 000 échantillons. Le nombre de points de mesure indiqué par l'auteur correspond donc exactement à un échantillonnage à 1 Hz.

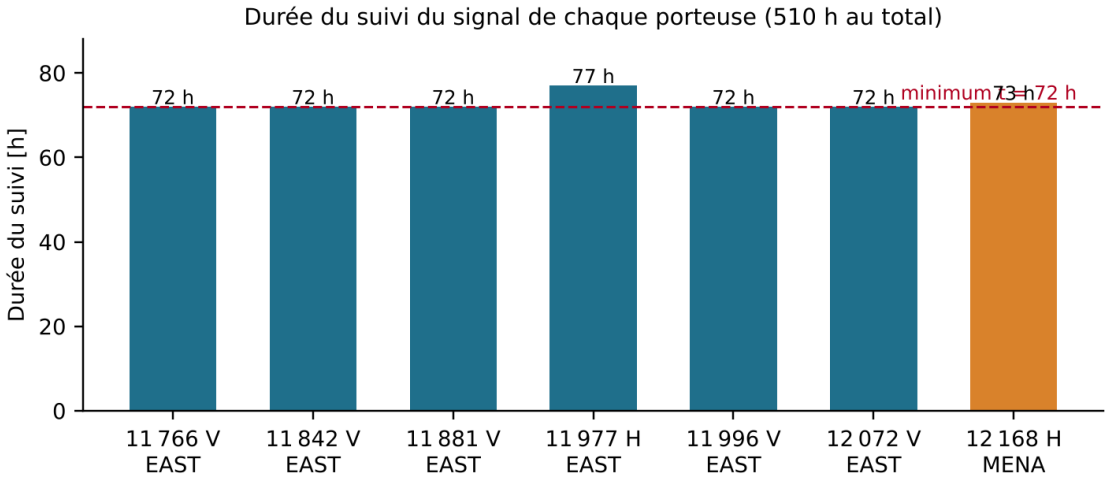



*Fig. 4 – Durée du suivi pour chaque porteuse. Tous les enregistrements respectent le minimum de 72 h requis pour les zones Out Of Footprint.*

### 4.2 Ce que représente la quantité de 510 heures

L'auteur parle d'« un déroulement continu et ininterrompu d'un fonctionnement stable du verrouillage ». Plus précisément, il s'agit de la **somme de sept enregistrements continus** (chacun d'au moins 72 heures), qui totalisent ensemble 510 heures sans perte de verrouillage. Cette formulation est plus prudente pour une publication scientifique, car elle ne suggère pas que toutes les porteuses ont été suivies simultanément ; d'après la somme des durées, il semble qu'elles aient été suivies l'une après l'autre. Quoi qu'il en soit, chacun de ces sept enregistrements constitue en soi une preuve pour sa porteuse, et leur résultat concordant renforce la conclusion générale.

## 5. Paramètres des porteuses reçues et leurs seuils

Pour pouvoir comparer les marges entre différentes modulations et différentes années, il faut les exprimer dans une grandeur physique commune : le rapport de l'énergie par symbole à la densité spectrale de bruit, $Es/N_0$. Pour le DVB-S2, la norme ETSI EN 302 307-1 donne les seuils idéaux d'$Es/N_0$ pour une réception quasi sans erreur (PER = $10^{-7}$) ; pour le DVB-S, les valeurs sont déduites du $E_b/N_0$ requis selon l'ETSI EN 300 421, en tenant compte du rendement du code et du code de Reed-Solomon (188/204).

| Porteuse | Système | Modulation, FEC | Seuil idéal d'$Es/N_0$ [dB] | Efficacité spectrale [bit/symbole] |
|---|---|---|---|---|
| 11 766 V, 11 996 V | DVB-S | QPSK 7/8 | ≈ 8,5 | 1,61 |
| 11 842 V | DVB-S2 | 8PSK 2/3 | 6,62 | 2,00 |
| 11 881 V, 11 977 H*, 12 072 V | DVB-S | QPSK 5/6 | ≈ 7,9 | 1,54 |
| 12 168 H (MENA) | DVB-S2 | 8PSK 5/6 | 9,35 | 2,50 |

*Tabl. 2 – Seuils idéaux (AWGN, sans pertes d'implémentation du récepteur). Un récepteur réel exige typiquement 0,5 à 1,5 dB de plus. L'efficacité spectrale du DVB-S inclut le RS(204,188) ; pour le DVB-S2, elle est donnée sans pilotes ni en-tête de trame. * Pour 11 977 H, la liste de l'auteur indique un FEC de 5/6, alors que la partie comparative de l'auteur mentionne 7/8 (voir chapitre 8).*

Le tableau conduit à une conclusion intéressante. La porteuse à 12 168 H du faisceau MENA utilise une modulation 8PSK avec un FEC de 5/6, qui présente le seuil le plus élevé des sept porteuses (9,35 dB). Puisqu'un enregistrement de 73 heures sans perte de verrouillage y a été obtenu, l'$Es/N_0$ à Lučenec doit être **durablement supérieur à 9,35 dB plus la perte d'implémentation du récepteur** pendant tout l'enregistrement. C'est en même temps la limite inférieure du niveau de signal de cette porteuse que l'on peut

déduire du résultat sans hypothèses supplémentaires. Les limites inférieures des autres porteuses s'obtiennent de la même manière : ≈ 8,5 dB pour le QPSK 7/8, ≈ 7,9 dB pour le QPSK 5/6 et 6,6 dB pour le 8PSK 2/3.

# 6. Résultats : stabilité du verrouillage et signification statistique

## 6.1 Résultat principal

Pour les sept porteuses, le verrouillage a été maintenu pendant toute la durée du suivi et la valeur de la qualité Q n'a jamais atteint zéro. La disponibilité obtenue est donc de 100 % observés pour 1 836 000 points de mesure (510 h). Il s'agit d'un résultat inhabituel en zone Out Of Footprint, car le fonctionnement se fait près du seuil : même une faible baisse du signal de 1 à 2 dB provoquerait, avec une marge réduite, la perte du verrouillage. Une telle stabilité indique que le signal ne fluctue pas (l'EIRP, le réglage de l'antenne et le trajet ne changent pas en 72 heures) et que la marge au-dessus du seuil, même faible, est présente de façon constante.

## 6.2 Évaluation statistique

Un nombre nul de pertes ne signifie pas une probabilité nulle de perte. La statistique fournit des bornes supérieures du risque. D'après la « règle de trois », si aucun événement ne se produit sur n unités indépendantes, la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % pour la probabilité de l'événement est d'environ 3/n. Si l'on choisit pour unité une heure (et non une seconde, car les échantillons à la seconde ne sont pas indépendants les uns des autres), on obtient pour l'ensemble de 510 h :

| Ensemble | Heures n | Pertes observées | Borne supérieure à 95 % pour la proportion d'heures avec perte | Borne inférieure de disponibilité (horaire) |
|---|---|---|---|---|
| Chaque porteuse séparément (72 h) | 72 | 0 | ≈ 4,2 % | ≈ 95,8 % |
| Les 7 porteuses ensemble | 510 | 0 | ≈ 0,59 % | ≈ 99,41 % |

*Tabl. 3 – Bornes statistiques pour un nombre nul de pertes (règle de trois, 95 %).*

Le nombre de 1 836 000 points ne peut donc pas être interprété comme 1 836 000 preuves indépendantes. Les échantillons voisins à la seconde sont fortement corrélés (le signal ne varie presque pas en une seconde). L'information indépendante est portée plutôt par le nombre de situations météorologiques et journalières différentes que l'enregistrement a couvertes ; on parle de l'ordre de centaines à milliers d'intervalles indépendants, et non de millions. La valeur de l'ensemble tient donc à **la durée de l'enregistrement et à la diversité des conditions** (jour/nuit, temps sec/pluie, température), ce que l'auteur a satisfait avec un minimum de 72 heures par porteuse. Le nombre 1 836 000 est une donnée exacte sur la densité de l'enregistrement, mais pour l'argumentation scientifique il faut indiquer comme données principales 510 heures et sept porteuses.

# 7. Influence des conditions météorologiques

L'auteur documente la survenue d'averses à l'aide des données de shmu.sk. Physiquement, c'est le principal mécanisme qui dégrade la réception en bande Ku : les gouttes de pluie absorbent et diffusent l'onde de longueur d'onde 2,5 cm, comparable à la taille des gouttes. L'affaiblissement linéique dû à la pluie s'exprime, selon l'UIT-R P.838, par la relation de puissance

$$\gamma_R = k \cdot R^{\alpha} \; [dB/km],$$

où R est l'intensité de la pluie en mm/h. Pour 12 GHz, k ≈ 0,0246 et α ≈ 1,12 pour la polarisation verticale (UIT-R P.838-3, valeurs arrondies). L'affaiblissement total s'obtient en multipliant par la longueur effective du trajet sous la pluie. Pour une élévation de 26,2°, une hauteur de l'isotherme zéro d'environ 3,1 km (UIT-R

P.839) et une altitude de la station de 0,2 km, le trajet oblique à travers la couche de pluie atteint au plus environ 7,4 km ; lors d'averses locales, la cellule pluvieuse est plus petite, c'est pourquoi j'indique aussi un trajet effectif plus court de 3 km.

| Intensité R [mm/h] | Nature de la pluie | Affaiblissement, trajet de 3 km [dB] | Affaiblissement, trajet de 7,4 km [dB] |
|---|---|---|---|
| 1 | faible bruine | 0,07 | 0,18 |
| 2 | pluie faible | 0,16 | 0,40 |
| 5 | pluie modérée | 0,45 | 1,10 |
| 10 | pluie plus forte | 0,97 | 2,40 |
| 20 | pluie forte | 2,12 | 5,23 |

*Tabl. 4 – Affaiblissement pluvial indicatif à 11,9 GHz (polarisation verticale). Il s'agit d'un modèle et non d'une mesure ; il sert à juger de la cohérence en ordre de grandeur avec l'observation.*

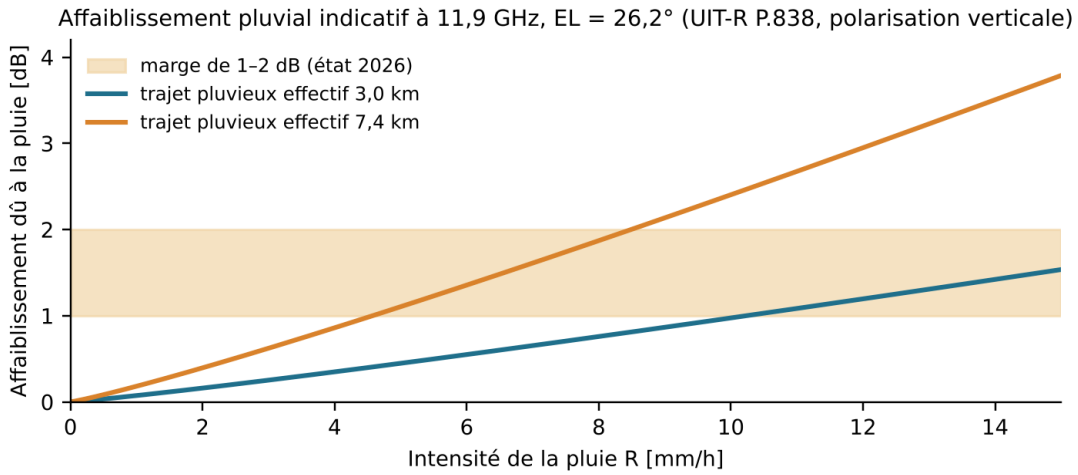



*Fig. 5 – Affaiblissement dû à la pluie en fonction de l'intensité. La bande jaune représente la marge de 1 à 2 dB qui était disponible en 2026 sur la porteuse 11 977 H.*

Le modèle montre que, pour une pluie faible à modérée (jusqu'à environ 5 mm/h), l'affaiblissement est de l'ordre de quelques dixièmes de dB à un dB. C'est compatible avec l'observation de l'auteur : lors d'une intensité de précipitations modérée, Q n'est pas tombé à zéro. À partir d'une intensité de 10 mm/h, l'affaiblissement peut atteindre 1 à 2,5 dB, ce qui pourrait entraîner une perte de verrouillage avec une marge de 1 à 2 dB. La stabilité observée ne signifie donc pas une résistance à la forte pluie ; elle signifie qu'aucune forte pluie ne s'est produite sur le trajet pendant les enregistrements, ou qu'elle a été brève.

S'y ajoutent d'autres effets, plus faibles : l'affaiblissement gazeux (oxygène, vapeur d'eau) d'environ 0,2 dB, l'affaiblissement dû aux nuages de quelques dixièmes de dB et la scintillation troposphérique, d'écart type typique de l'ordre de 0,1 à 0,3 dB, qui augmente légèrement à faible élévation. Les effets ionosphériques sont négligeables à 12 GHz.

**Recommandation pour la publication :** compléter le tableau 1 en indiquant, pour chaque enregistrement, l'intensité maximale des précipitations sur 10 minutes selon shmu.sk (mm/h) ainsi que le cumul pendant l'enregistrement. L'affirmation « réception stable même lors d'averses » devient ainsi mesurable et vérifiable.

# 8. Stabilité du déroulement et comparaison avec 2022

## 8.1 Absence de variations par sauts

L'auteur indique qu'aucun saut de puissance ni de qualité ne s'est produit dans les courbes des sept porteuses, contrairement à l'enregistrement de RT News à 11 475 MHz H du satellite Express AM-7 (40,0° E), où il a relevé de tels sauts. Un saut s'explique généralement en pratique par des interventions de l'opérateur (modification de la puissance en liaison montante, commutation du transpondeur ou du faisceau, changement de modulation), et non par le comportement de la propagation de l'onde. Un déroulement lisse, sans sauts, est donc cohérent avec le fait que les porteuses émises depuis Al Yah 1 étaient dans un état stable pendant les enregistrements et que les variations ne proviennent que de lents processus naturels (température, humidité, scintillation).

Selon l'auteur, le modèle de signal pour ces ondes n'a pas mis en évidence de défaut durable de l'onde à Lučenec ; il n'a donc pas été nécessaire d'utiliser la technologie des Nanocorrections synchrones, destinée à corriger les défauts dans les zones Out Of Footprint. Cette étude n'évalue ni ce modèle ni sa technologie ; toutes les conclusions présentées ici reposent uniquement sur les courbes de Q et de verrouillage mesurées directement. Il serait utile pour la communauté scientifique de joindre à l'étude une description du modèle et les enregistrements bruts.

## 8.2 Comparaison 2022 et 2026 sur la porteuse 11 977 H

La constatation la plus importante de l'auteur est une baisse durable du niveau du signal. Avec la même antenne (450 cm), l'auteur indique pour 2022 des marges de signal d'environ 7 à 9 dB en DVB-S2 QPSK, FEC 8/9, même dans des conditions nettement dégradées. Aujourd'hui, avec les paramètres modifiés DVB-S QPSK et FEC 7/8, la marge n'est que de 1 à 2 dB. En 2022, une marge de 3 à 4 dB était présente toute la journée sur le réflecteur de 300 cm, ce qui n'est plus le cas aujourd'hui.

La comparaison directe de marges de 7 à 9 dB et de 1 à 2 dB serait trompeuse, car elles ont un seuil de référence différent : une marge est toujours une distance par rapport au seuil de la modulation. Je les convertis donc en $Es/N_0$ = seuil + marge :

| État | Modulation | Seuil idéal [dB] | Marge [dB] | $Es/N_0$ estimé [dB] |
|---|---|---|---|---|
| 2022, PF 450 cm | DVB-S2 QPSK 8/9 | 6,2 | 7 à 9 | 13,2 à 15,2 |
| 2022, PF 300 cm (conversion pour 450 cm : +3,52 dB) | DVB-S2 QPSK 8/9 | 6,2 | 3 à 4 | 12,7 à 13,7 (pour 450 cm) |
| 2026, PF 450 cm | DVB-S QPSK 7/8 | ≈ 8,5 | 1 à 2 | 9,5 à 10,5 |
| 2026, PF 450 cm (si le FEC est 5/6) | DVB-S QPSK 5/6 | ≈ 7,9 | 1 à 2 | 8,9 à 9,9 |

*Tabl. 5 – Conversion des marges de 2022 et de 2026 en une grandeur commune $Es/N_0$. Les marges sont celles de l'auteur ; les seuils sont des valeurs idéales issues des normes, de sorte que l'$Es/N_0$ absolu est entaché d'une imprécision de ±1 dB, mais l'écart entre les années y est moins sensible si le récepteur affiche la marge de la même manière.*

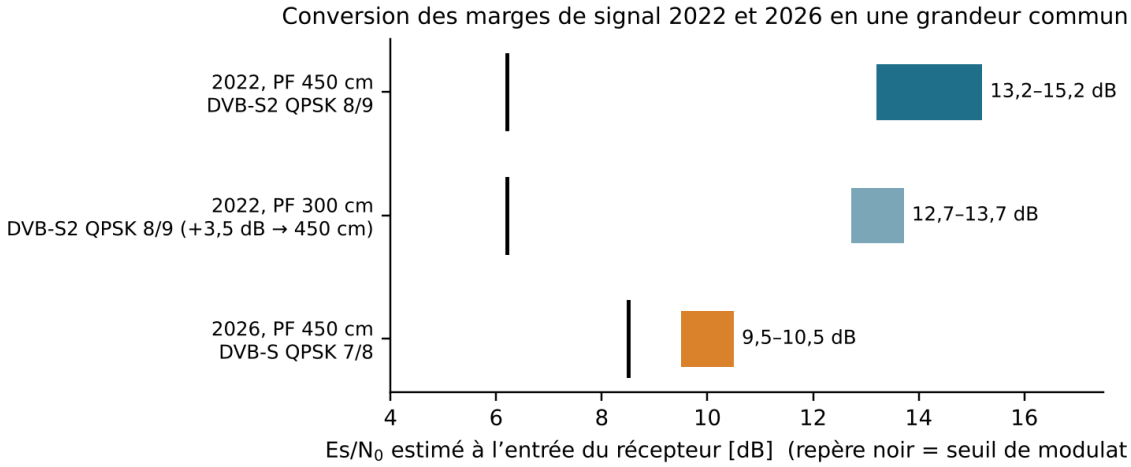



*Fig. 6 – Es/$N_0$ estimé en 2022 et en 2026. La baisse est d'environ 3 à 6 dB, typiquement autour de 4 dB.*

La conversion mène à trois conclusions. **Premièrement**, la baisse n'est pas seulement l'effet apparent d'un changement de modulation : même après normalisation en Es/$N_0$, il subsiste une diminution d'environ 3 à 6 dB (plage de 13,2 à 15,2 dB contre 9,5 à 10,5 dB). **Deuxièmement**, l'enregistrement de 2022 sur le réflecteur de 300 cm, après conversion (+3,52 dB), donne 12,7 à 13,7 dB, ce qui correspond presque à la moitié inférieure de l'enregistrement sur 450 cm (13,2 à 15,2 dB). Deux données indépendantes de l'auteur pour 2022 ne se contredisent donc pas, ce qui accroît la crédibilité de la comparaison. **Troisièmement**, une baisse de 3 à 6 dB correspond à une chute de la puissance à la moitié, voire au quart, de la valeur initiale, et elle est donc importante.

Contrôle des données : la liste des porteuses du chapitre 4 indique pour 11 977 H un FEC de 5/6, alors que la comparaison du chapitre 8 parle d'un FEC de 7/8. L'écart de résultat est faible (environ 0,6 dB sur le seuil), mais il faut harmoniser cette donnée avant la publication.

## 8.3 Causes possibles de la baisse et comment les distinguer

Les données seules ne permettent pas de déterminer ce qui a causé la baisse. Les hypothèses suivantes entrent en considération ; pour chacune, j'indique la mesure de contrôle qui la confirmera ou l'écartera.

| Hypothèse | Description | Comment vérifier |
|---|---|---|
| H1 : modification de l'EIRP côté satellite / opérateur | Réduction de la puissance du transpondeur, modification du back-off, ajustement du faisceau ou de l'orientation du satellite par rapport à l'état initial ; le satellite est en service depuis 2011, le régime d'exploitation a donc pu lui aussi évoluer. | Comparer la baisse sur des porteuses de différents transpondeurs et polarisations ; demander les données de l'opérateur ou comparer avec un autre observateur situé dans une zone similaire. |
| H2 : modification de l'orbite du satellite (inclinaison) | Une inclinaison croissante de l'orbite provoquerait une fluctuation quotidienne de Q et une variation du gain en direction de Lučenec. | Rechercher une périodicité de 24 heures dans Q ; selon l'auteur, il n'y a ni variations par sauts ni variations périodiques. |
| H3 : vieillissement de la chaîne de réception | Dégradation du facteur de bruit du LNB, humidité dans les connecteurs, modification du répartiteur d'alimentation, perte de gain du câble. | Mesure du bruit global du LNB (facteur Y, soleil ou ciel froid), remplacement du LNB, contrôle du câble et des connecteurs. |
| H4 : modification du réflecteur et de son réglage | Micro-déformation de la surface, déplacement du feed, léger écart par rapport au maximum (chap. 2.4 : 0,1° ≈ 0,8 dB). | Nouvelle recherche du maximum, contrôle du foyer et de la polarisation, comparaison avec une porteuse de référence. |
| H5 : modification de l'environnement du trajet | Croissance de la végétation ou nouvel obstacle à l'élévation de 26° dans la direction 139°. | Contrôle photographique de l'horizon, comparaison du déroulement en hiver et en été. |

*Tabl. 6 – Hypothèses sur la baisse du signal et mesures de contrôle proposées.*

L'auteur indique qu'une chute rapide se répète sur d'autres porteuses du diagramme EAST au cours des quatre dernières années. Cela plaiderait plutôt en faveur de facteurs communs à plusieurs porteuses (H1, H3, H4) que de phénomènes propres à une seule fréquence. Toutefois, si la cause était la chaîne de réception (H3, H4), cela concernerait aussi d'autres satellites reçus avec la même technique ; la comparaison avec une porteuse d'un autre satellite serait donc le test le moins coûteux et le plus décisif.

## 9. Bilan de liaison indicatif et EIRP déduit à Lučenec

Le bilan de liaison montre quel EIRP doit être présent à Lučenec pour correspondre à l'observation. Pour une porteuse de débit de symboles de 27,5 Msymb/s, on a

$$Es/N_0 = EIRP - L_{fs} - L_{autres} + G/T - 10{\cdot}log_{10}(k) - 10{\cdot}log_{10}(R_s),$$

où $-10{\cdot}\log_{10}(k) = 228{,}6$ dBW/(K·Hz) et $10{\cdot}\log_{10}(R_s) = 74{,}4$ dBHz. Hypothèses : gain d'antenne de 53,1 dBi ($\eta = 0{,}65$), température de bruit du système de 80 à 120 K (LNB, ciel, sol à 26° d'élévation), autres pertes de 0,5 dB (gaz, imprécision du pointage, polarisation).

| Situation | $Es/N_0$ [dB] | EIRP déduit à T = 80 K | à T = 100 K | à T = 120 K |
|---|---|---|---|---|
| 2022 (estimation basse) | 13,2 | 31,2 dBW | 32,2 dBW | 33,0 dBW |
| 2022 (estimation haute) | 15,2 | 33,2 dBW | 34,2 dBW | 35,0 dBW |
| 2026 (estimation basse) | 9,5 | 27,5 dBW | 28,5 dBW | 29,3 dBW |
| 2026 (estimation haute) | 10,5 | 28,5 dBW | 29,5 dBW | 30,3 dBW |

*Tabl. 7 – EIRP déduit en direction de Lučenec selon les hypothèses retenues. Il ne s'agit pas d'une mesure de l'EIRP ; les valeurs servent à apprécier l'ordre de grandeur et leur incertitude est d'environ ±2 dB.*

Le résultat montre que l'EIRP en direction de Lučenec est de l'ordre de 28 à 30 dBW, soit environ 20 dB de moins que la crête du diagramme (48 à 51 dBW). C'est conforme à une position très éloignée de la limite de couverture et cela montre que la réception en Europe centrale n'est possible que grâce au gain élevé de l'antenne : avec un réflecteur de 300 cm (−3,5 dB), la marge en 2026 tomberait sous zéro pour un même réglage, ce que l'auteur constate d'ailleurs dans son aperçu (« n'est plus possible »). Cette estimation montre en même temps pourquoi le doublement du diamètre du réflecteur (+6 dB) est précieux pour une telle zone : il correspond à la différence entre une réception stable et sa perte complète.

## 10. Discussion

**Ce que les résultats étayent.** Les données de l'auteur étayent de façon fiable l'affirmation selon laquelle, dans les conditions suivies, il a été possible de recevoir à Lučenec sept porteuses d'Al Yah 1 avec un réflecteur de 450 cm sans perte de verrouillage pendant 510 heures (sept enregistrements de 72 à 77 heures), y compris lors d'averses occasionnelles. Le modèle physique (chapitres 2, 7 et 9) explique ce résultat sans contradiction : la marge au-dessus du seuil est faible, mais constante, et l'affaiblissement dû à une pluie modérée est inférieur à la marge.

**Ce que les résultats n'étayent pas.** Ils n'étayent ni l'affirmation d'une résistance à la forte pluie, ni celle selon laquelle la réception sera tout aussi stable à d'autres saisons ou après une nouvelle baisse de l'EIRP. Avec une marge de 1 à 2 dB, le système est proche du seuil et une nouvelle baisse de quelques dB mettrait fin à la réception.

**Portée pratique.** Pour les observateurs en Europe centrale, trois conclusions pratiques en découlent. Premièrement, **le diamètre de l'antenne a une influence déterminante** : chaque doublement du diamètre apporte +6 dB, 450 cm contre 300 cm représentent +3,5 dB. Deuxièmement, **la qualité de la chaîne et la**

**précision du réglage** se répercutent directement sur la marge dans un tel régime (0,1° ≈ 0,8 dB ; une dégradation du facteur de bruit du LNB de 0,3 dB signifie à peu près une perte de 0,3 dB de marge). Troisièmement, **le suivi de longue durée avec documentation de l'environnement** (précipitations, température, vent) est le seul moyen de distinguer les variations dues au satellite de celles dues au sol.

**Relation avec d'autres satellites.** L'exemple d'Express AM-7 (40,0° E) avec un diagramme indien, dans lequel l'auteur a relevé un saut de puissance et de qualité, montre que les sauts sont courants lors d'émissions nouvelles ou changeantes. Les courbes régulières d'Al Yah 1 constituent donc qualitativement un autre type de comportement : stable, mais à un niveau inférieur à celui du passé.

## 11. Limites et conditions de reproductibilité

Pour que l'étude résiste à une évaluation scientifique, il faut exposer ouvertement ses limites :

- **Un seul lieu, une seule antenne, un seul observateur.** Les résultats valent pour Lučenec et pour la configuration donnée (réflecteur, LNB, récepteur). Une confirmation indépendante depuis un autre lieu ou avec une autre configuration renforcerait sensiblement la preuve.
- **Q et la marge sont des paramètres d'un récepteur donné.** Différents récepteurs les définissent différemment et l'échelle n'est pas nécessairement linéaire en dB. Les conversions du chapitre 8 sont donc indicatives ; il convient d'indiquer le modèle du récepteur et le mode d'affichage de Q.
- **Enregistrements séquentiels.** Le total de 510 heures est la somme de sept enregistrements et non un déroulement unique et simultané de toutes les porteuses (chap. 4.2).
- **Nombre d'échantillons.** La valeur de 1 836 000 points de mesure exprime la densité de l'enregistrement ; le poids statistique découle du nombre d'heures et de la diversité des conditions (chap. 6.2).
- **Précipitations.** Il convient de compléter la documentation de la pluie par les données de shmu.sk à l'aide d'un tableau numérique d'intensité pour chaque enregistrement (chap. 7).
- **Année 2022.** Les enregistrements non publiés de 2022 doivent être joints (au moins des graphiques indiquant la modulation, l'heure et le réglage), faute de quoi la comparaison reste invérifiée. Pour 11 977 H, il faut harmoniser la donnée du FEC (5/6 ou 7/8).
- **Cause de la baisse.** L'étude quantifie la baisse, mais ne peut en déterminer la cause (tabl. 6).

**Lot d'annexes recommandé pour la publication :** journaux bruts (CSV au pas d'une seconde : heure, Q, niveau, verrouillage), photographie de la configuration et de l'horizon, modèle du LNB et du récepteur, tableau des précipitations et des températures pour chaque enregistrement, enregistrements de 2022 avec indication du réglage.

## 12. Conclusion

À Lučenec, très éloigné de l'empreinte des diagrammes EAST et MENA du satellite Al Yah 1, il a été possible d'obtenir une réception continue de sept porteuses avec un réflecteur Prodelin de 450 cm : six du faisceau EAST et une du faisceau MENA, soit au total 510 heures (1 836 000 échantillons à 1 Hz), sans la moindre perte de verrouillage et sans chute de Q à zéro. L'analyse physique montre que ce résultat est cohérent avec la géométrie de réception (AZ 139,2°, EL 26,2°, trajet oblique de 38 962 km, affaiblissement en espace libre de 205,8 dB), avec un gain d'antenne d'environ 53 dBi, avec les seuils des modulations utilisées et avec l'affaiblissement attendu dû à une pluie modérée.

La conversion des enregistrements de 2022 en une grandeur commune $Es/N_0$ montre une baisse du niveau du signal d'environ 3 à 6 dB ; la marge constante actuelle est d'environ 1 à 2 dB. Le système fonctionne donc près du seuil, et la stabilité du verrouillage est remarquable précisément parce que la marge est faible, mais constante. Une nouvelle diminution de quelques dB mettrait fin à la réception. La cause de la baisse doit être déterminée par les mesures de contrôle indiquées dans le tableau 6.

L’étude établit ainsi qu’une réception en zone Out Of Footprint en Europe centrale est durablement possible avec un grand réflecteur et une chaîne de qualité, tout en montrant où se situent ses limites. Une fois les annexes mentionnées au chapitre 11 ajoutées, les résultats pourront être soumis à une vérification indépendante.

## Bibliographie et sources


[1] ETSI EN 300 421: Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services (DVB-S).

[2] ETSI EN 302 307-1: Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for broadcasting, interactive services, news gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2), Part 1.

[3] UIT-R P.618: Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems.

[4] UIT-R P.838: Specific attenuation model for rain for use in prediction methods.

[5] UIT-R P.839: Rain height model for prediction methods.

[6] UIT-R P.676: Attenuation by atmospheric gases and related effects.

[7] Maral, G., Bousquet, M.: Satellite Communications Systems. Wiley.

[8] Stutzman, W. L., Thiele, G. A.: Antenna Theory and Design. Wiley.

[9] dishpointer.com – calcul de l’AZ/EL pour 52,5° E (Al Yah 1 / Yahsat 1A), Lučenec ; SES – diagrammes de rayonnement YAHSAT 1A EAST et MENA, bande Ku (www.ses.com) ; shmu.sk – données de précipitations (à ajouter aux annexes).


## Annexe A – Relations utilisées

Pour une station de latitude φ et de longitude $\lambda_s$, un satellite à la longitude $\lambda_{sat}$ et $\Delta = \lambda_{sat} - \lambda_s$, on a (R = 6 378 km, r = 42 164 km) :

$$\cos\gamma = \cos\varphi \cdot \cos\Delta,\quad EL = \arctan[(\cos\gamma - R/r)/\sin\gamma],\quad AZ = 180° - \arctan[\tan\Delta/\sin\varphi],$$

$$d = \sqrt{(R^2 + r^2 - 2 \cdot R \cdot r \cdot \cos\gamma)}.$$

Pour Lučenec : φ = 48,3331°, Δ = 32,8336°, γ = 56,04°, ce qui donne AZ = 139,18°, EL = 26,16° et d = 38 962 km. L’azimut magnétique s’obtient en soustrayant la déclinaison magnétique (≈ 6,1° vers l’est), ce qui correspond à la valeur de 133,1° de dishpointer.com.

Seuils du DVB-S : $Es/N_0 = E_b/N_0 + 10 \cdot \log_{10}(2 \cdot R_c \cdot 188/204)$, avec $E_b/N_0$ = 5,0 / 5,5 / 6,0 / 6,4 dB pour $R_c$ = 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 (ETSI EN 300 421, valeurs arrondies). Règle de trois : borne supérieure à 95 % pour la probabilité d’un événement sur n essais indépendants sans événement ≈ 3/n.