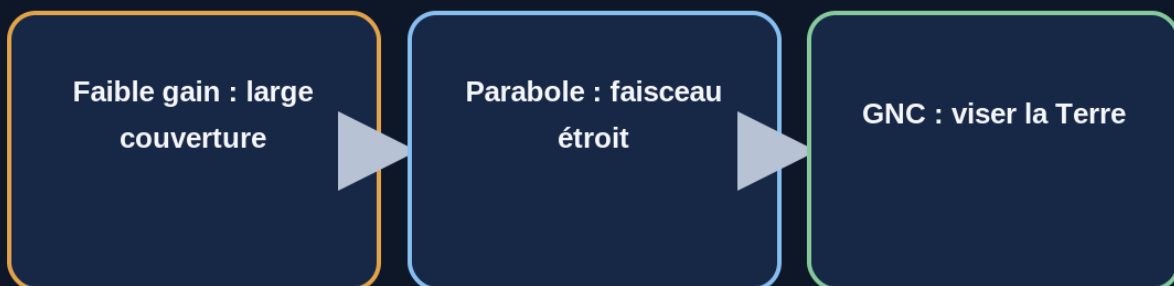


AM-10.02 — Antennes : gain, faisceau et pourquoi une grande parabole doit viser juste

Pourquoi une petite antenne peut-elle communiquer presque dans toutes les directions alors qu'une grande parabole performante exige un pointage précis ?

AM-10.02 · SPACE ACADEMY

Concentrer l'énergie dans la bonne direction



Delta-Sierra · Space Academy

Le gain améliore la liaison en concentrant l'énergie, mais augmente l'exigence de pointage.

1 - Comprendre la scène

Au début d'une mission, un engin peut utiliser une antenne à faible gain parce qu'il ne connaît pas encore parfaitement son orientation. Le signal est faible mais la zone couverte est large. Plus tard, une grande parabole à fort gain concentre l'énergie dans une direction étroite et reçoit mieux les signaux faibles — à condition de viser correctement.

Le mot gain ne signifie pas que l'antenne crée de l'énergie. Elle redistribue la puissance disponible selon les directions. Davantage d'énergie apparente dans le faisceau principal se paie par moins d'énergie ailleurs.

2 - Vocabulaire essentiel

Antenne - Dispositif qui convertit un signal électrique en onde rayonnée, ou l'inverse à la réception.

Directivité - Capacité à concentrer le rayonnement dans certaines directions.

Gain - Mesure de l'efficacité directionnelle d'une antenne par rapport à une référence, souvent exprimée en dBi.

dBi - Décibels par rapport à une antenne isotrope idéale.

Faisceau - Région angulaire où l'antenne rayonne ou reçoit le plus efficacement.

Largeur de faisceau - Angle caractérisant la largeur du lobe principal ; un faisceau étroit exige généralement un pointage plus précis.

3 - Mécanisme pas à pas

Faible gain : tolérance au pointage

Une antenne peu directive couvre une grande portion du ciel. Elle est utile en secours ou lorsque l'attitude est incertaine, mais elle ne concentre pas beaucoup d'énergie vers la Terre.

Fort gain : énergie concentrée

Une parabole utilise sa surface pour former un faisceau étroit. À puissance émise identique, la densité d'énergie dans la direction utile augmente, ce qui améliore le budget de liaison.

Diamètre et longueur d'onde

À fréquence donnée, une plus grande ouverture donne généralement un faisceau plus étroit. À diamètre donné, une longueur d'onde plus courte permet aussi un faisceau plus fin. C'est pourquoi taille, fréquence et précision de pointage sont liées.

4 - Formules et lecture

$$\theta \approx 70 \times \lambda / D$$

« θ est approximativement égal à soixante-dix multiplié par λ divisé par D ». θ est ici un ordre de grandeur de largeur de faisceau en degrés, λ la longueur d'onde et D le diamètre de la parabole.

Cette relation pédagogique montre le compromis : doubler D divise approximativement la largeur angulaire par deux. Le coefficient exact dépend de la définition du faisceau et de l'illumination de l'antenne.

$$\text{gain}_{\text{dB}} = 10 \log_{10}(P_{\text{direction}} / P_{\text{ref}})$$

« gain en décibels égale dix fois le logarithme décimal du rapport de puissance directionnelle à la référence ».

Le décibel compresse de grands rapports. Pour une antenne, le dBi compare à une source isotrope idéale.

5 - Unités et vérification

D est en mètres, λ en mètres dans la formule de faisceau ; leur rapport est donc sans unité et l'angle obtenu ici est en degrés grâce au coefficient choisi. Le gain est souvent donné en dBi. Une erreur classique consiste à additionner un gain en dBi à une puissance linéaire en watts sans conversion en décibels.

Plus de gain signifie souvent moins de tolérance au pointage. Demandez toujours : « quel gain, mais avec quelle largeur de faisceau et quelle précision d'attitude ? »

6 - Trois démonstrations

Exemple 1 — Faisceau pédagogique

Parabole $D = 3$ m, $\lambda = 0,036$ m.

$$\begin{aligned}\theta &\approx 70 \times 0.036 \div 3 \\ \theta &\approx 0.84^\circ\end{aligned}$$

Conclusion: Un faisceau inférieur à un degré demande déjà un pointage soigné.

Exemple 2 — Grande antenne au sol

$D = 34$ m, même $\lambda = 0,036$ m.

$$\begin{aligned}\theta &\approx 70 \times 0.036 \div 34 \\ \theta &\approx 0.074^\circ\end{aligned}$$

Conclusion: La grande ouverture forme un faisceau beaucoup plus étroit ; les chiffres sont des ordres de grandeur, pas une fiche de performance DSN.

Exemple 3 — Rapport de puissance

Une direction reçoit 100 fois plus de densité de puissance que la référence choisie.

gain = $10 \log_{10}(100)$
 $\log_{10}(100) = 2$
gain = 20 dB

Conclusion: Le logarithme transforme un facteur 100 en +20 dB.

7 - Approfondissement

Gain à l'émission et à la réception

La même antenne directive améliore généralement les deux sens : elle concentre la puissance émise et collecte efficacement l'onde reçue depuis la direction visée.

Pointage et GNC

Une grande antenne transforme la communication en problème de guidage et contrôle d'attitude. Le calcul de liaison et le GNC ne peuvent donc pas être conçus séparément.

Antenne faible gain comme assurance

Les missions conservent souvent des antennes plus tolérantes qui permettent de récupérer une communication de base après une anomalie d'attitude, même si leur débit est faible.

Fréquence, ouverture et mécanique

Monter en fréquence peut permettre un faisceau étroit avec une antenne plus petite, mais durcit le pointage, les tolérances de surface, l'électronique et parfois la sensibilité aux conditions atmosphériques au sol.

8 - Pourquoi cela compte pour Mars

Une communication Terre-Mars doit fonctionner avec des puissances embarquées limitées et des distances immenses. Gagner des décibels par l'antenne est souvent plus efficace que vouloir simplement augmenter la puissance de l'émetteur.

Les orbiteurs relais martiens possèdent davantage de puissance et des antennes plus capables que les rovers, ce qui explique leur rôle d'intermédiaire dans la remontée de données scientifiques vers la Terre.

9 - Pièges fréquents

- Dire que le gain d'antenne crée de l'énergie.
- Confondre gain et puissance de l'émetteur.
- Ignorer le coût de pointage d'un faisceau étroit.
- Additionner dBi et watts sans conversion.
- Utiliser $\theta \approx 70\lambda/D$ comme une loi universelle exacte.

10 - Exercices guidés

Question: Si D double et λ reste identique, que devient approximativement θ ?

Réponse: Il est divisé par deux.

Question: Pourquoi une antenne faible gain est-elle utile après une anomalie ?

Réponse: Son faisceau large tolère une orientation imprécise et peut maintenir une liaison minimale.

Question: Un facteur de puissance 10 correspond à combien de dB ?

Réponse: $10 \log_{10}(10) = 10$ dB.

11 - À savoir expliquer

- Définir directivité, gain, dBi, faisceau et largeur de faisceau.

- Expliquer pourquoi une parabole ne crée pas d'énergie.
- Relier qualitativement diamètre, longueur d'onde et largeur de faisceau.
- Calculer un ordre de grandeur $\theta \approx 70\lambda/D$.
- Expliquer le compromis gain $\leftrightarrow$ pointage.

12 - Sources NASA / JPL

NASA - Small Spacecraft Communications

<https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/soa-communications/>

NASA - What is the Deep Space Network?

<https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/what-is-the-deep-space-network/>

Ressource pédagogique libre : ce cours explique les principes pour un public débutant. Il ne remplace ni la conception de mission, ni les modèles de vol opérationnels, ni les procédures, essais et validations d'une agence spatiale.