

Chapitre 4

Etude des liaisons en espace libre

1. Gain, directivité et surface équivalente d'une antenne.

Lors de la définition d'un système de communication, il est nécessaire de déterminer le type et la taille des antennes d'émission et de réception, la puissance d'émission, l'ensemble des pertes et affaiblissements que va subir l'onde émise et enfin le rapport signal / bruit pour pouvoir effectuer la transmission avec la qualité requise. Effectuer cet ensemble de déterminations constitue l'établissement du bilan de liaison.

1.1 Flux d'énergie et intensité de rayonnement

Le flux d'énergie électromagnétique rayonné par une source de courant à grande distance est donné par la moyenne temporelle du vecteur de Poynting

$$\vec{\Pi} = \frac{1}{2} \operatorname{Re} (\vec{E} \times \vec{H}^*) = P_r \cdot \hat{a}_r \quad (1)$$

La puissance dP interceptée par l'élément de surface $ds = r^2 d\Omega$ / $d\Omega = \sin\theta d\theta d\phi$ ($d\Omega$: l'élément d'angle solide.) définit la puissance par unité de surface

ou la densité de puissance de rayonnement:

$$\frac{dP}{ds} = \frac{dP}{r^2 d\Omega} = P_r \text{ ---- (2)}$$

L'intensité de rayonnement $U(\theta, \phi)$ est définie comme la puissance de rayonnement par unité d'angle solide.

$$\frac{dP}{d\Omega} = r^2 \cdot \frac{dP}{ds} = r^2 \cdot P_r \rightarrow$$

$$U(\theta, \phi) = \frac{dP}{d\Omega} = r^2 \cdot P_r \text{ ---- (3)}$$

La puissance rayonnée totale est obtenue en intégrant l'équation (3) à travers tous les angles solides.

$$d\Omega = \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\phi \text{ à travers } 0 \leq \theta \leq \pi \text{ et } 0 \leq \phi \leq 2\pi.$$

$$\rightarrow P_{rad} = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} U(\theta, \phi) \cdot d\Omega \text{ ---- (4)}$$

L'antenne isotrope.

C'est une antenne qui rayonne de la même façon dans toutes les directions. Son diagramme de rayonnement est une sphère. Dans ce cas la puissance rayonnée totale P_{rad} est également distribuée à travers tous les angles solides. L'angle solide pour voir toute la surface d'une sphère est $\Omega_{sphère} = 4\pi \text{ str.}$

Par conséquent, l'intensité de rayonnement isotrope est donnée par.

$$U_I = \left(\frac{dP}{d\Omega} \right)_I = \frac{P_{rad}}{4\pi} = \frac{1}{4\pi} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} U(\theta, \phi) d\Omega = \text{cte } U(\theta, \phi) \text{ ---- (5)}$$

donc U_I est la moyenne de l'intensité de rayonnement à travers tous les angles solide. La densité de puissance correspondante est:

$$\left(\frac{dP}{dS}\right)_I = \frac{U_I}{r^2} = \frac{P_{rad}}{4\pi r^2} \quad \text{--- (6)}$$

1.2. Le gain directif (directivité)

Le gain directif d'une antenne dans une direction donnée (θ, ϕ) est l'intensité de rayonnement normalisée par rapport à l'intensité de rayonnement isotrope correspondante.

$$D(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{U_I} = \frac{U(\theta, \phi)}{P_{rad}/4\pi} = \frac{4\pi \cdot dP}{P_{rad} d\Omega} \quad \text{--- (7)}$$

Le gain directif mesure l'aptitude de l'antenne de diriger sa puissance dans une direction donnée.

La valeur maximale du gain directif est appelée "directivité" de l'antenne et elle est réalisée pour certaines directions (θ_0, ϕ_0) .

L'intensité de rayonnement est par conséquent maximale dans cette direction telle que:

$$D_{max} = \frac{U_{max}}{U_I} \quad \text{--- (8)}$$

La directivité est souvent exprimée en dB (le terme dB est aussi souvent utilisé pour se souvenir que la directivité est calculée par rapport au cas isotrope), soit

$$D_{dB} = 10 \log_{10} D_{max}$$

En exprimons l'intensité de rayonnement en fonction du gain directif, $\frac{dP}{d\Omega} = U(\theta, \phi) = D(\theta, \phi) U_I \Rightarrow$

$$\frac{dP}{d\Omega} = \frac{P_{rad}}{4\pi} D(\theta, \phi) \dots (9)$$

Pour la densité de puissance dans la direction (θ, ϕ)

$$\frac{dP}{dS} = \frac{dP}{r^2 d\Omega} = \frac{P_{rad}}{4\pi r^2} D(\theta, \phi) \dots (10).$$

En comparant (10) et (6), on constate que si la quantité de puissance $P_{rad} D(\theta, \phi)$ est émise de façon isotrope, alors l'équation (6) représente la densité de puissance isotrope correspondante.

Par conséquent, on appelle $P_{rad} D(\theta, \phi)$: Puissance Isotrope Effective ou puissance rayonnée effective (ERP) dans une direction (θ, ϕ) . Dans la direction du gain directif maximum, la quantité $P_{rad} D_{max}$ est appelé Puissance Isotrope Rayonnée Effective (PIRE), elle définit la densité de puissance maximale rayonnée par l'antenne.

$$\left(\frac{dP}{dS}\right)_{max} = \frac{P_{PIRE}}{4\pi r^2} \dots (11)$$

$$P_{PIRE} = P_{rad} \cdot D_{max}$$

1.3. Le gain en puissance

Il est appelé aussi tout simplement gain de l'antenne. Il est défini de la même façon que dans l'équation (7), mais au lieu de

normaliser par rapport à la puissance rayonnée totale, on normalise par rapport à la puissance totale P_T acceptée aux bornes de l'antenne, comme montré dans la Figure 17.

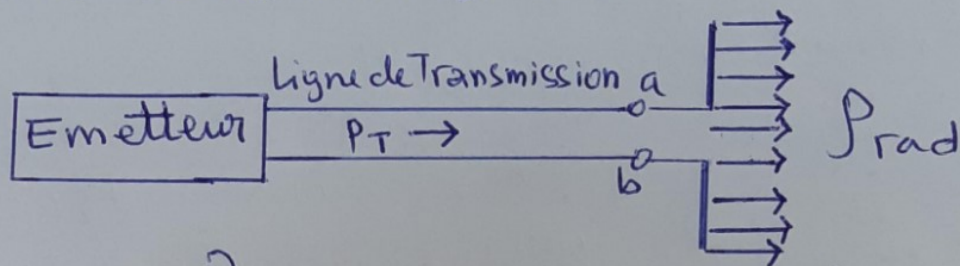


Figure 17. Puissance délivrée à l'antenne et puissance rayonnée.

$$G(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{P_T / 4\pi} = \frac{4\pi}{P_T} \cdot \frac{dP}{d\Omega} \quad \text{--- (12)}$$

La puissance P_T est différente de P_{rad} , ceci est dû aux différents mécanismes de pertes, tels que : les pertes ohmiques dues à la distribution du courant sur l'antenne ou les pertes dues aux diélectriques entourant l'antenne. Dans la définition du gain en puissance, il n'est inclus les pertes par réflexion dues aux problèmes d'adaptation entre la ligne de transmission et l'antenne. On définit ainsi le facteur d'efficacité de l'antenne par :

$$e = \frac{P_{rad}}{P_T} \Rightarrow P_{rad} = e P_T \quad \text{--- (13)}$$

- En général, $0 \leq e \leq 1$. Pour une antenne sans pertes $e = 1$ et $P_{rad} = P_T$. Dans ce cas idéal,

il n'y a pas de distinction entre le gain directif et le gain en puissance.

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_T} = e \cdot \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \Rightarrow$$

$$G(\theta, \phi) = e D(\theta, \phi) \quad \text{--- (14)}$$

$$G_{max} = e D_{max}$$

Pour la puissance rayonnée effective

$$P_{rad} D(\theta, \phi) = P_T G(\theta, \phi)$$

et la PIRE est donnée par:

$$P_{PIRE} = P_{rad} D_{max} = P_T G_{max}$$

Les quantités $U(\theta, \phi)$, $D(\theta, \phi)$ et $G(\theta, \phi)$ sont toutes proportionnelles entre elles, même si chacune d'elles représente un aspect du système de rayonnement. Il est commode de utiliser la version normalisée des différentes fonctions en définissant le diagramme de puissance normalisée ou le gain normalisé par:

$$g(\theta, \phi) = \frac{G(\theta, \phi)}{G_{max}} \quad \text{--- (15)}$$

A partir de la proportionnalité des différentes fonctions, on a:

$$g(\theta, \phi) = \frac{G(\theta, \phi)}{G_{max}} = \frac{D(\theta, \phi)}{D_{max}} = \frac{U(\theta, \phi)}{U_{max}} \quad \text{--- (16)}$$

En écrivant $P_T G(\theta, \phi) = P_T G_{max} g(\theta, \phi)$, on aura pour la densité de puissance:

$$\frac{dP}{ds} = \frac{P_T G_{\max} g(\theta, \phi)}{4\pi r^2} = \frac{P_{PIRE}}{4\pi r^2} g(\theta, \phi) \dots (7)$$

Exemple

Une station TV transmet une puissance de 10 kW avec le gain de 15 dB dans une direction particulière. Déterminer l'amplitude et la valeur efficace du champ électrique E à une distance de 5 km loin de la station.

$$\eta_0 = 120\pi = 376,730 \Omega.$$

Solution

$$\frac{dP}{ds} = \frac{1}{2} (\vec{E} \times \vec{H}^*) = \frac{P_{PIRE}}{4\pi r^2} \Rightarrow$$

$$\frac{E^2}{2\eta_0} = \frac{P_{PIRE}}{4\pi r^2}$$

$$G = 10^{G_{dB}/10} = 10^{15/10} = 31,62$$

$$P_{PIRE} = P_T G = 10 \times 31,62 = 316,2 \text{ kW.}$$

$$E = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{\eta_0 P_{PIRE}}{2\pi}} = 0,87 \text{ V/m}$$

$$E_{\text{eff}} = \frac{E}{\sqrt{2}} = 0,616 \text{ V/m.}$$

1.4. L'aire équivalente

Quand une antenne est utilisée en mode réception, une certaine quantité de puissance est extraite à partir d'une onde électromagnétique incidente

$$P_{\text{inc}} = \frac{E^2}{2\eta}$$

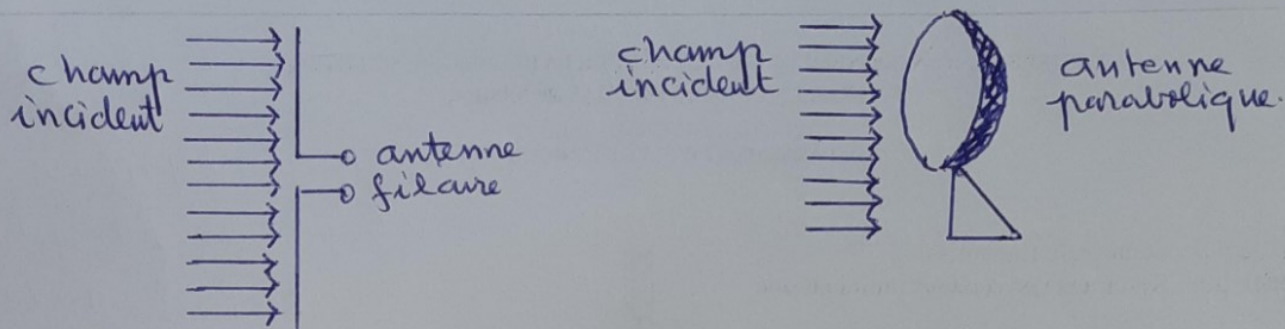


Figure 18. Aire équivalente d'une antenne.

L'aire équivalente A est définie comme étant cette surface qui, en interceptant la puissance incidente P_{inc} , elle donne à la sortie de l'antenne la puissance reçue P_r :

$$P_r = A \cdot P_{inc} \quad \text{--- (18)}$$

- Pour les antennes avec pertes, la puissance disponible à la sortie est: $P_T = e P_{rad}$.

- Ainsi on définit l'aire équivalente maximale A_m comme l'aire qui extrait la puissance P_{rad} de l'onde incidente: $P_{rad} = A_m P_{inc}$.

Il s'ensuit que:

$$A = e A_m \quad \text{--- (19)}$$

L'aire équivalente dépend de la directivité (θ, ϕ) . Il est montré que l'aire équivalente $A(\theta, \phi)$ est reliée au gain en puissance $G(\theta, \phi)$ et la longueur d'onde. $\lambda = c/f$ comme suit:

$$G(\theta, \phi) = \frac{4\pi A(\theta, \phi)}{\lambda^2} \quad \text{--- (20)}$$

Comme $G(\theta, \phi) = e D(\theta, \phi) \Rightarrow$

$$D(\theta, \phi) = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_m(\theta, \phi) \quad \text{--- (21)}$$

Dans la pratique, l'aire équivalente d'une antenne correspond à la direction du gain maximum G_{max} alors,

$$G_{max} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A \quad \text{--- (22)}$$

ou encore:

$$G_{max} = \frac{4\pi}{c^2} f^2 A \quad \text{--- (23)}$$

Remarque

L'aire équivalente n'est pas forcément l'aire physique de l'antenne.

Exemple: Les antennes filaires n'ont pas une surface physique caractéristique, pour les antennes paraboliques l'aire équivalente est une fonction de l'aire physique (à peu près 55 à 65%).

Exemple: Si la parabole a un diamètre D , alors:

$$A = e_a \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{--- (24)}$$

où e_a est le facteur d'efficacité de l'ouverture.

Typiquement, $e_a = 0,55 - 0,65$.

Combinons (22) et (24) $\rightarrow$ on aura.

$$G_{max} = e_a \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad \text{--- (25)}$$

2. Bilan de liaison.

Le bilan de liaison entre un émetteur et un récepteur peut être effectué en se servant des concepts du gain et d'aire équivalente. Considérons deux antennes orientées dans la direction du gain maximum de chacune et séparées entre elles par la distance r .

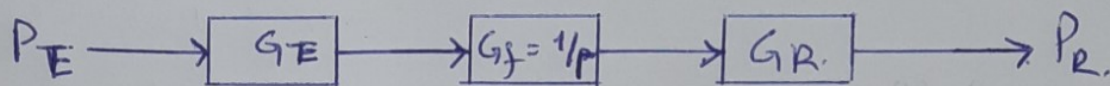
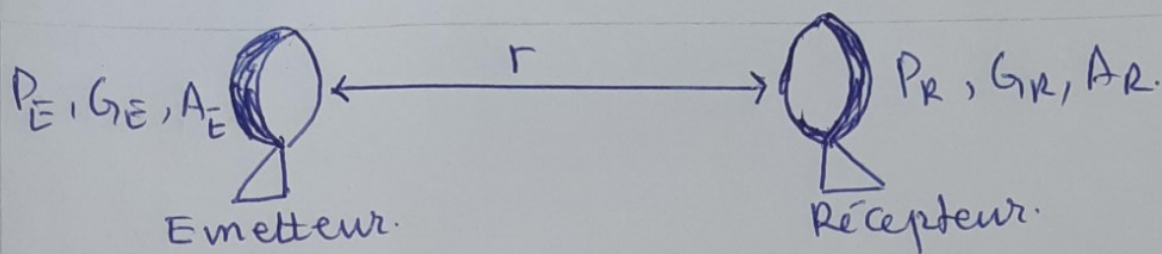


Figure 19. Bilan de liaison entre un émetteur et un récepteur.

Soit $\{P_E, G_E, A_E\}$ la puissance, le gain et l'aire équivalente d'un émetteur et $\{P_R, G_R, A_R\}$ les mêmes quantités pour une antenne réceptrice orientée dans la direction de l'antenne d'émission.

$$P_{PIRE} = P_E \cdot G_E$$

A une distance r , il est établie une densité de puissance.

$$S_T = \frac{dP_T}{dS} = \frac{P_{PIRE}}{4\pi r^2} = \frac{P_E G_E}{4\pi r^2} \quad \dots (26)$$

A partir de la densité de puissance incidente S_T , l'antenne réceptrice extrait la puissance P_R donnée par:

$$P_R = A_R S_T \Rightarrow P_R = \frac{P_E G_E A_R}{4\pi r^2} \quad \dots (27)$$

La formule (27) est connue sous le nom de Formule de Friis, on peut l'écrire sous plusieurs formes:

$$G_E = \frac{4\pi A_E}{\lambda^2} \Rightarrow P_R = \frac{P_E \cdot A_E \cdot A_R}{\lambda^2 \cdot r^2} \quad \dots (28)$$

Une autre forme pour recevoir l'expression (27), c'est le produit des gains en remplaçant

$$A_R = \frac{\lambda^2 G_R}{4\pi r} \Rightarrow P_R = \frac{P_E G_E G_R \lambda^2}{(4\pi r)^2} \dots \dots (29)$$

L'effet du chemin qui cause l'atténuation de P_R en $(1/r^2)$ peut être quantifié en définissant les pertes en espace libre et le gain correspondant par :

$$L_f = \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2; \quad G_f = \frac{1}{L_f} = \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \dots \dots (30)$$

$$P_R = P_E G_E \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 G_R = P_E G_E \frac{1}{L_f} G_R = P_E G_E G_f G_R \dots \dots (31)$$

Un facteur de pertes est à ajouter si nécessaire $G_{\text{other}} = 1/L_{\text{other}}$ représentant d'autres pertes telles que en dB (31) s'écrit :

$$(P_R)_{dB} = (P_E)_{dB} + (G_E)_{dB} - (L_f)_{dB} + (G_R)_{dB} \dots \dots (32)$$

Exemple

Un satellite géostationnaire émette un signal TV dans la direction d'une base terrienne à une distance de 40.000 km. Supposons que les paraboles des antennes de l'émetteur et du récepteur ont un diamètre de 0,5 m et 5 m, respectivement et un facteur d'efficacité $\epsilon_a = 60\%$. Si la puissance d'émission du satellite est de 6 W et la fréquence du liai-

son est de 4 GHz. Calculer les gains des antennes en dB et la puissance reçue P_R .

Solution

$$\lambda = c/f = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 10^8} \rightarrow \lambda = 7,5 \text{ cm.}$$

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A \quad \text{et} \quad A = e_a \frac{\pi D^2}{4} \rightarrow G = e_a \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2$$

$$G_{\text{sat}} = e_a \left(\frac{\pi D_{\text{sat}}}{\lambda} \right)^2 = 0,6 \left(\frac{3,14 \times 0,15}{7,5 \times 10^{-2}} \right)^2 = 263,2$$

$$\text{en dB} \rightarrow (G_{\text{sat}})_{\text{dB}} = 24 \text{ dB.}$$

$$G_{\text{earth}} = e_a \left(\frac{\pi D_{\text{earth}}}{\lambda} \right)^2 = 0,6 \left(\frac{3,14 \times 5}{7,5 \times 10^{-2}} \right)^2 = 26320$$

$$\text{en dB} \rightarrow (G_{\text{earth}})_{\text{dB}} = 44 \text{ dB.}$$

$$L_f = \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4 \times 3,14 \times 4 \times 10^6}{7,5 \times 10^{-2}} \right)^2 \rightarrow$$

$$(L_f)_{\text{dB}} = 196 \text{ dB.}$$

$$(P_E)_{\text{dB}} = 10 \log_{10} 6 = 8 \text{ dBW}$$

$$\begin{aligned} (P_R)_{\text{dB}} &= (P_E)_{\text{dB}} + (G_{\text{earth}})_{\text{dB}} + (G_{\text{sat}})_{\text{dB}} - (L_f)_{\text{dB}} \\ &= 8 + 44 + 24 - 196 \rightarrow \end{aligned}$$

$$(P_R)_{\text{dB}} = -120 \text{ dBW} \rightarrow$$

$$P_R = 1 \text{ pW.}$$

Pour terminer le bilan de liaison, il faut prendre en compte le bruit additif du canal et du récepteur.

- Le bruit thermique.

Le bruit thermique est défini par sa densité de puissance N_0 :

$$N_0 = kT \text{ [W/Hz]} \quad \dots (33)$$

k est la constante de Boltzmann.

T c'est la température.

La puissance P_b dans une bande de fréquence B est alors:

$$P_b = N_0 B \text{ [W]} \quad \dots (34)$$

En introduisant l'énergie par bit E_b dans la bande de réception et le débit binaire R_b , il vient:

$$P_R = E_b \cdot R_b \quad \dots (35)$$

Dans ce cas, le rapport E_b/N_0 est donné par:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{1}{R_b} \cdot \frac{P_R}{N_0} \quad \dots (36)$$

Pour obtenir un taux d'erreur acceptable lors de la démodulation, il est nécessaire d'avoir un rapport E_b/N_0 requis que l'on note $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\text{req}}$. Il faut donc ajuster la puissance d'émission et les tailles des antennes afin que:

$$\frac{P_R}{N_0} = R_b \cdot \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\text{req}} \quad \dots (37)$$

En remplaçant la valeur de P_R donnée par (31) dans l'équation (37), on aura alors:

$$\frac{P_R}{N_0} = \frac{P_E \cdot G_E \cdot G_f}{K} \cdot \frac{G_R}{T} \quad \dots (38)$$

Le terme $\frac{G_R}{T}$ est une caractéristique très importante pour qualifier la chaîne de réception.

Exemple

Considérons un satellite géostationnaire avec une puissance rayonnée de 100 W, l'antenne d'émission à un gain de 17 dB. L'antenne de réception de la station terrienne est une parabole de diamètre $D = 3\text{ m}$ avec une efficacité $\epsilon_a = 50\%$, la fréquence porteuse est égale à 4 GHz et les pertes en espace libre $L_f = 195,6\text{ dB}$. On suppose qu'il n'y a aucune autre perte atmosphérique à prendre en compte. La température de bruit est $T = 300^\circ\text{K}$.

Supposons que le rapport $(E_b/N_0) = 10\text{ dB}$.

- 1 - Quel est le débit maximum avec lequel le satellite géostationnaire peut transmettre.
- 2 - Que doit-on faire pour augmenter ce débit.

Solution

$$G_E = 17\text{ dB}, P_E = 10 \log_{10} 100 = 20\text{ dBW}$$

$$G_R = \epsilon_a \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 = 20 \log_{10} 0,5 \times 40\pi = 39\text{ dB}$$

$$P_R = G_R + G_E + P_E + G_f = 39 + 17 + 20 - 195,6 = -119,6\text{ dB}$$

$$N_0 = kT = 300 \times 1,38 \times 10^{-23} = -203\text{ dBW/Hz}$$

$$\left(\frac{P_R}{N_0} \right)_{\text{dB}} = 84,22\text{ dB/Hz} = -119,6 + 203$$

$$R_b = \frac{(P_R/N_0)}{(E_b/N_0)_{\text{req}}} = \left(\frac{P_R}{N_0} \right)_{\text{dB}} - \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{dB}}$$

$$R_b = 74,22 \text{ dBHz}$$

$$R_b [\text{bit/s}] = 10^{R_b/10} \rightarrow R_b = 26900 \text{ kbit/s}$$

Donc avec ces antennes et avec cette puissance d'émission le satellite peut transmettre au plus 26,9 Mbits/s.

S'il on veut augmenter cette valeur, on peut augmenter la puissance émise par le satellite, augmenter la taille de l'antenne du satellite ou augmenter le diamètre de l'antenne de la station terrestre.

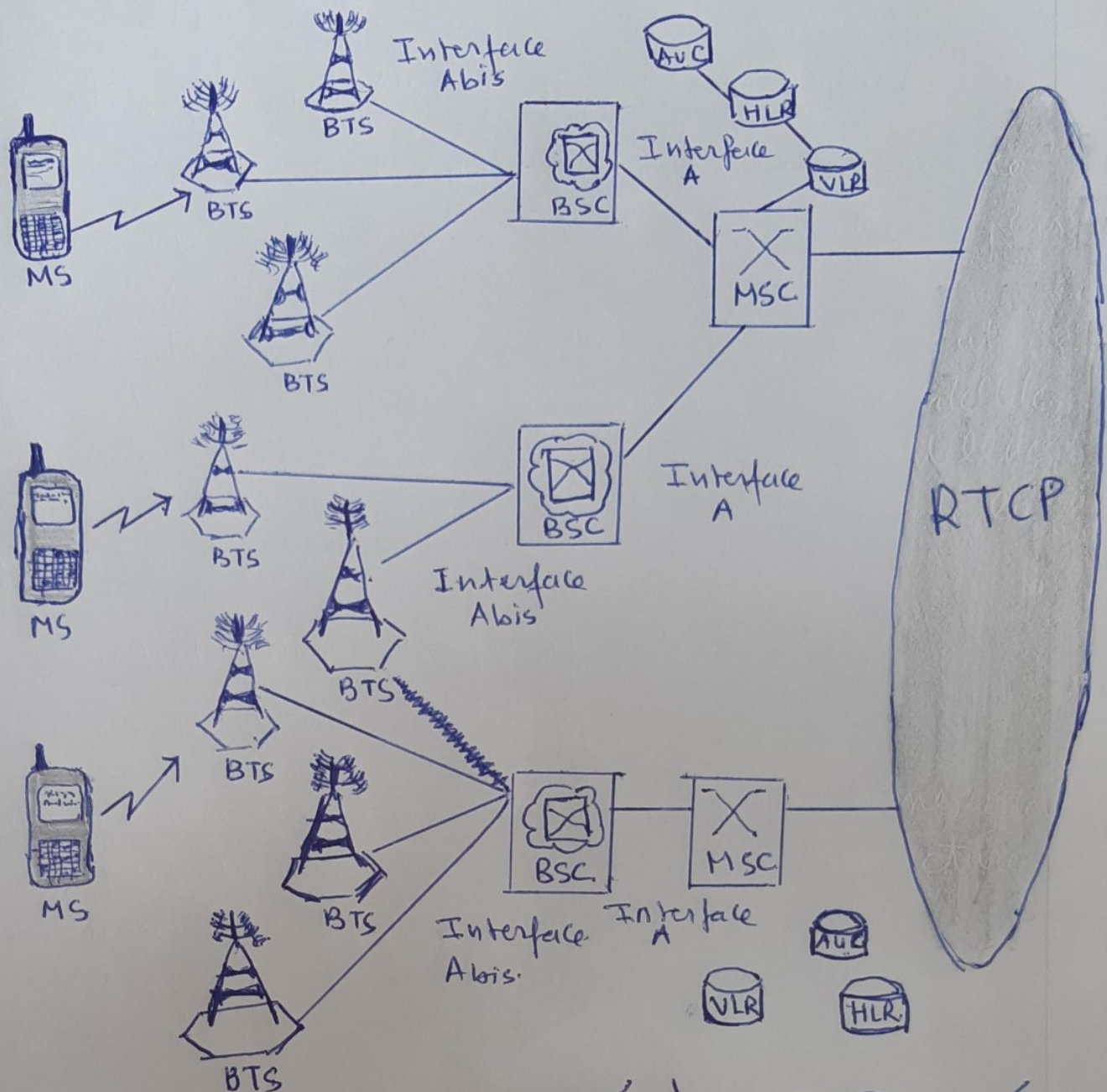
3. Architecture et spécifications d'un système radio

Pour illustrer l'architecture d'un système radio, on va prendre comme exemple l'architecture d'un réseau radio mobile GSM.

Un réseau GSM mobile est constitué de trois sous-systèmes :

- Le sous système Radio BSS : Base Station Sub-system
- Le sous système Réseau NSS : Network and Switching Sub-system
- Le sous système d'exploitation OSS : Operation Support Sub-system.

On peut ainsi représenter un réseau radio-mobilité de la manière suivante :



BSS: Base Station Sub-system. **NSS**: Network and Switching Sub-system

Figure 20. Architecture d'un réseau radio mobile GSM.

3.1 Mobile Station

La Mobile Station (MS) est composée de Mobile Equipment (le terminal GSM) et du

Subscriber Identity Module (SIM), une petite carte dotée de mémoire et de microprocesseur, qui sert à identifier l'abonné indépendamment du terminal utilisé; il est donc possible de continuer à recevoir et à émettre des appels et d'utiliser tous ces services simplement grâce à l'insertion de la carte SIM dans un terminal quelconque.

Mobile Equipment

Le Mobile Equipment est identifié (exclusivement) à l'intérieur de n'importe quel réseau GSM par l'International Mobile Equipment Identity (IMEI). L'IMEI est un numéro à 15 chiffres.

SIM

La carte SIM contient l'International Mobile Subscriber Identity (IMSI), qui sert à identifier l'abonné dans n'importe quel des systèmes GSM, et les procédures de cryptographie qui sauvegardent le secret de l'information de l'utilisateur ainsi que d'autres données telles que, par exemple, la mémoire alphanumérique du téléphone et la mémoire relative aux messages de texte (SMS) et enfin les mots de passe qui empêchent l'utilisation interdite de la carte et l'accès à d'autres fonctions supplémentaires.

3.2. Le Sous-système radio BSS (Base Station Sub-système)

Sa fonction principale est la gestion de l'attribution des ressources radio, indépendamment des

abonnés, de leur identité ou de leur communication. On distingue dans le BSS :

La Station de base BTS (Base Transceiver Station)

La Base Transceiver Station Contient tous les émetteurs - récepteurs appelés TRX reliés à la cellule et dont la fonction est de transmettre et recevoir des informations sur le canal radio en proposant une interface physique entre la Mobile Station et le BSC. La BTS exerce une série de fonctions décrites ci-après :

- Mesures des interférences sur les canaux non alloués à des communications (idle channels)
- Mesures sur la liaison montante (uplink), servant à l'algorithme de décision du handover.
- Calcul du Timing Advance (avance de temps) pour la synchronisation temporelle, selon la distance qui sépare la BTS du module.
- Détection des demandes d'accès des mobiles reçus sur le canal du Contrôle Commun (RACH).
- Détection des messages de Handover Access (HO ACCESS)
- La Capacité de gérer les Canaux Full Rate et Half Rate.
- La gestion de la diversité d'antenne, autrement dit l'utilisation de deux antennes de réception afin d'améliorer la qualité de signal reçu, les deux antennes reçoivent le même signal, indépendamment l'une de l'autre et sont atteintes

différemment par le fading: la probabilité qu'elles soient atteintes en même temps par un fading important est presque nulle.

- La supervision du Rapport des Ondes Stationnaire (R.O.S) en antenne.

- La Frequency Hopping (FH): La variation de fréquence utilisée dans un canal radio à des intervalles réguliers, afin d'améliorer la qualité du service à travers la diversité dans la fréquence.

- Discontinuous Transmission (DTX) Soit dans le uplink que dans le downlink.

- Le Contrôle dynamique de la puissance (DPC) de la MS et des BTS: le BSC détermine la puissance optimale avec laquelle la MS et le BTS effectuent la transmission sur le canal radio. (grâce à l'exploitation des relevés effectués par la MS et le BTS), dans le but d'améliorer l'efficacité du spectre.

- La gestion des algorithmes de chiffrement:

L'information de l'utilisateur est cryptographiée afin de garantir à l'abonné une certaine réserve sur le canal du trafic et sur celui de codage.

- Le monitoring de la Connexion Radio se fait en relevant les signaux Radiofréquences, ces signaux sont ensuite envoyés au BSC pour l'élaboration afin d'assurer un haut niveau de qualité de la Communication Radio.

- La gestion et la configuration du canal radio: il doit choisir pour chaque appel la cellule la mieux adaptée et doit sélectionner à l'intérieur de celle-ci le canal radio le plus adapté à la mise en route de la communication.
- La gestion de handover intra BSC: il décide sur la base des relevés reçus par la BTS, le moment pour effectuer le handover, autrement dit, le changement de cellule lors de déplacements de l'utilisateur pendant une conversation, à l'intérieur de la surface de couverture de sa compétence.

3.3. Le Sous-système réseau NSS

(Network Station Sub-system)

Il assure principalement les fonctions de commutation et de routage. C'est donc lui qui permet l'accès au réseau RTCP ou RNIS. En plus des fonctions indispensables de commutation, on y retrouve les fonctions de gestion de la mobilité, de la sécurité et de la confidentialité qui sont implantées dans la norme GSM.

Le MSC (Mobile Services Switching Center)

Le MSC est l'élément Central du NSS. Il gère grâce aux informations reçues par le HLR et le VLR, la mise en route et la gestion du codage de tous les appels directs et en provenance de différents types de réseaux. Il assure aussi la commutation des appels en cours entre des BSC différents ou vers un autre MSC.

D'autres fonctions fondamentales du MSC. sont décrites ci-après:

- L'authentification de l'auteur de l'appel: l'identification de la MS à l'origine de l'appel est nécessaire pour déterminer si l'utilisateur est en droit de bénéficier du service.

- Le processus de handover. Un utilisateur peut, sur le réseau GSM, continuer d'utiliser le service même quand, pendant une conversation, il franchit les limites de la cellule dans laquelle il se trouve.

Le HLR (Home Location Register)

Lorsqu'un utilisateur souscrit à un nouvel abonnement au réseau GSM, toutes les informations qui concernent son identification sont mémorisées sur le HLR. Il a pour mission de communiquer au VLR quelques données relatives aux abonnés, à partir du moment où ces derniers se déplacent d'une location à une autre.

Le VLR (Visitor Location Register)

Le VLR est une base de données qui mémorise de façon temporaire les données concernant tous les abonnés qui appartiennent à la surface géographique qu'elle contrôle. Ces données sont réclamées à l'HLR auquel l'abonné appartient. Généralement pour simplifier les données réclamées et ainsi la structure du système, les constructeurs installent le VLR et le MSC côte à côte, de telle sorte que la surface géographique contrôlée

par le MSC et celle contrôlée par le VLR Correspondent.

L'AUC (Authentication Center)

Le centre d'authentification est une fonction du système qui a pour but de vérifier si le service est demandé par un abonné autorisé, et ceci en fournissant soit les codes pour l'authentification que le chiffrement.

Le mécanisme d'authentification vérifie la légitimité de la SIM sans transmettre, pour autant, sur le canal radio les informations personnelles de l'abonné, telles le IMSI et la clé de chiffrement dans le but de vérifier si l'abonné qui essaye d'accéder au service est autorisé et n'est pas abusif. Le chiffrement par contre génère quelques codes secrets qui serviront pour cryptographier tous les échanges qui ont eu lieu sur le canal radio. Les codes d'authentification et de chiffrement sont obtenus par hasard pour chaque abonné grâce à quelques ensembles d'algorithmes définis par le standard et sont mémorisés soit sur l'AUC que sur la SIM.

L'authentification se fait de façon systématique chaque fois que la MS se connecte au réseau et plus précisément dans les cas suivants:

- Chaque fois que la MS reçoit ou émet un appel.
- A chaque mise à jour de la position de la MS (location updating)
- A chaque demande de mise en activité, de cessation d'activité ou de l'utilisation des services supplémentaires.

3.4. Le sous-système opérationnel OSS

Il assure la gestion et la supervision du réseau. C'est la fonction dont l'implémentation est laissée avec le plus de liberté dans la norme GSM. La supervision du réseau revient à de nombreux niveaux :

- Détection de pannes • Mise en service de sites • Modification de paramètres • Réalisation de statistiques.

3.5. Les interfaces

• L'interface Um

C'est l'interface entre les deux sous-systèmes MS et le BTS. On la nomme couramment "interfaceradio" ou "interface air".

• L'interface Abis

C'est l'interface entre les deux composants du sous-système BSS : le BTS (Base Station Transceiver) et le BSC (Base Station Center).

L'interface A

C'est l'interface entre les deux sous-systèmes BSS (Base Station Sub system) et le NSS (Network Sub System).