










## Qu'est-ce que la 5G ?

La 5G est la **5<sup>e</sup> génération des réseaux mobiles**, conçue pour offrir :

-  **Débit ultra-rapide**
-  **Latence très faible**
-  **Connectivité massive (IoT, capteurs...)**
-  **Flexibilité réseau grâce à une nouvelle architecture**

---

## 4G vs 5G – Ce qui change dans l'architecture

4G – EPC	5G – 5GC
 Architecture <b>monolithique</b>	 Architecture <b>orientée services</b> (SBA)
 Fonctions centralisées	 Fonctions découplées et interconnectables
 Éléments réseau rigides	 Flexibilité avec microservices/API
 Optimisée pour le mobile & internet	 Adaptée à l'IoT, edge computing, slicing

---

## Architecture Monolithique vs Services

Monolithique (4G)	Orientée Services (5G)
Tout est dans un bloc unique	Chaque fonction est un service indépendant
Difficile à adapter ou mettre à jour	Facile à modifier, déployer ou étendre
Peu évolutive	Très agile et évolutive
Ex. : Modification AMF = impact sur tout le core	Ex. : MAJ AMF sans toucher aux autres services

---

## À retenir :

La 5G apporte **une architecture souple et évolutive**, inspirée du **modèle cloud** et des **microservices**, pour mieux répondre aux besoins d'aujourd'hui et de demain.

## Vue d'ensemble : Control Plane vs User Plane

---

### Control Plane (CP)

Gère la **signalisation** et le **contrôle** du réseau.

- Authentifie l'utilisateur
- Établit, modifie et termine les sessions
- Décide de la route que prendra la donnée

### Analogie aéroport :

→ *Agents qui vérifient les billets, la sécurité, et organisent les vols*

---

### User Plane (UP)

Transporte **les données de l'utilisateur**

- Flux vidéo, navigation web, messages, etc.
- Passe par des tunnels GTP-U
- Pas de logique de décision : il **suit les règles définies par le CP**

### Analogie aéroport :

→ *Les tapis roulants qui déplacent les bagages d'un point à l'autre*

---

## Astuce mémoire :

Le **Control Plane** décide, le **User Plane** transporte.

Exemple:

## Exemple : Un appel vidéo sur WhatsApp

### Control Plane (CP)

Quand vous lancez l'appel :

- Le **CP authentifie** votre téléphone sur le réseau 5G.
- Il **négoce la qualité du service (QoS)** pour l'appel.
- Il **établit le tunnel GTP-U** à travers le réseau (entre vous et votre correspondant).
- Il garde aussi le contrôle si la cellule change (handover).

### User Plane (UP)

Une fois l'appel lancé :

- Le **UP transporte** uniquement la vidéo et l'audio en temps réel.
- Il **passé par le tunnel défini** par le CP, sans prendre de décision.
- Il est **ultra rapide et optimisé** pour minimiser la latence.

---

## Résumé :

Élément	Control Plane (CP)	User Plane (UP)
Fonction	Décider, contrôler	Transmettre les données
Exemple dans l'appel	Authentification, gestion de session	Transmission vidéo/audio en temps réel
Analogie aéroport	Sécurité, enregistrement, gestion des vols	Tapis roulant des bagages

### 3. Les Composants Clés de l'Architecture 5G

---

#### UE – User Equipment

- **Définition** : Smartphone, modem 5G, capteur IoT, etc.
  - **Rôle** : Initier la connexion au réseau 5G.
  - **Exemple** : un téléphone **5G Samsung** ou un **bracelet de santé connecté**.
  - **Analogie** : Le **voyageur**.
- 

#### AMF – Access and Mobility Function

- **Définition** : Gère la connexion initiale et la mobilité (Control Plane).
  - **Rôle** : Authentifie l'utilisateur, gère les handovers (changement d'antenne).
  - **Exemple** : Lorsque tu sors du métro et que ton **appel ne coupe pas** en basculant sur une autre antenne.
  - **Analogie** : Le **guichetier** qui valide ton billet et te dirige.
- 

#### SMF – Session Management Function

- **Définition** : Gère les sessions de données (Control Plane).
  - **Rôle** : Attribuer une IP, configurer le chemin des paquets.
  - **Exemple** : Tu ouvres **YouTube** → SMF attribue une session avec une adresse IP pour streamer.
  - **Analogie** : Le **répartiteur** du trafic de données.
- 

#### UDM – User Data Management

- **Définition** : Base de données d'abonnés.
  - **Rôle** : Stocke identifiants, profils d'abonnement, préférences.
  - **Exemple** : Tu as un forfait **5G illimité**, et c'est le UDM qui contient cette info.
  - **Analogie** : Le **registre des clients VIP**.
- 

### ✓ Auth Server – Authentication Server Function

- **Définition** : Vérifie que l'UE est bien autorisé.
  - **Rôle** : Authentification via la SIM, génération de clés de chiffrement.
  - **Exemple** : Quand tu redémarres ton téléphone et qu'il affiche "**authentification réseau...**".
  - **Analogie** : Le **contrôle de douane**.
- 

### 🚀 UPF – User Plane Function

- **Définition** : Acheminement des données utilisateur (User Plane).
- **Rôle** : Transfère les données entre UE ↔ Internet, applique QoS.
- **Exemple** : Tu télécharges une **vidéo HD sur TikTok** → l'UPF fait transiter les paquets.
- **Analogie** : Le **train ou l'avion** qui transporte tes données.

dans un contexte d'investigation numérique ou de cybersécurité 🔍👤

Voici **les composants 5G à consulter**

## ✅ 1. UDM (User Data Management)

♦ Tu y trouveras :

- L'identité permanente de l'UE
  - Les abonnements, profils, politiques
  - Les clés d'authentification  
📌 Utilisé si tu veux savoir **qui est l'utilisateur**, ce à quoi il a accès, ou faire un mapping IMSI → abonné
- 

## ✅ 2. AMF (Access and Mobility Function)


♦ Tu y trouveras :

- Les traces d'authentification et d'attachement
  - Les changements de cellule ou de zone
  - Les messages de signalisation entre UE et le réseau  
📌 Utile pour retracer **les mouvements d'un appareil**, l'historique de connexion, ou détecter un **accès suspect**.
- 

## ✅ 3. SMF (Session Management Function)


♦ Tu y trouveras :

- Les sessions PDU établies
- Les adresses IP attribuées aux UEs

- Les politiques de QoS appliquées  
 Clé pour faire le lien entre une **adresse IP** observée sur le réseau et un **utilisateur mobile**.
- 

## ✓ 4. UPF (User Plane Function)

### ♦ Tu y trouveras :

- Les flux de données utilisateur (ex. trafic Internet)
  - Les adresses IP, ports utilisés, destinations  
 Tu peux y observer ou analyser des **attaques réseau, le trafic malveillant**, ou faire du DPI si besoin.
- 

### En résumé :

Besoin	Composant à consulter
Identifier un abonné	UDM
Voir les connexions et authentifications	AMF
Lier IP à l'abonné	SMF
Analyser trafic utilisateur	UPF

## Structure du paquet GTP-U (avec les Flags et la longueur spécifique) :

L'en-tête GTP-U standard est constitué de plusieurs parties importantes, et la section **Flags** (1 octet) joue un rôle crucial dans le contrôle du paquet. Ce champ est suivi par le **Length** (2 octets) qui indique la longueur du **Payload** (les données utilisateur ou les paquets IP encapsulés).

Voici la structure complète avec les détails :

```
-----  
| Flags (1 octet) | Length (2 octets) | TEID (4 octets) | Payload  
Data (variable size) |  
-----
```

## Décomposition des champs :

1. **Flags (1 octet)** : Ce champ est un ensemble de bits où chaque bit a une signification particulière. On l'a déjà détaillé dans ton message précédent, mais je vais ajouter des détails ici.
    - **G-PDU (1 bit)** : Indique si c'est un paquet utilisateur (1) ou un paquet de contrôle (0).
    - **E (1 bit)** : Présence d'un en-tête d'extension.
    - **S (1 bit)** : Indicateur de présence d'un numéro de séquence.
    - **PN (1 bit)** : Pour le multiplexage des paquets dans certains cas.
    - **Bits restants** : Bits de contrôle supplémentaires non utilisés dans certains cas.
  2. **Length (2 octets)** : Ce champ spécifie la longueur du **Payload** (données utilisateur) en octets. Cela permet de savoir combien d'octets de données suivent l'en-tête.
  3. **TEID (Tunnel Endpoint Identifier - 4 octets)** : Identifiant unique du tunnel. Il permet de faire le lien avec la session utilisateur. Par exemple, `0x12345678`.
  4. **Payload Data (variable size)** : Contient les données utilisateur encapsulées, comme un paquet IP. La taille varie selon le contenu de ce paquet.
-



## Exemple détaillé avec longueur et flags :

Prenons un exemple détaillé avec une longueur de payload et les flags définis :

Flags: 0x18 (G-PDU=1, E=1, S=1, PN=0)

Length: 0x0008 (8 octets pour les données utilisateur)

TEID: 0x12345678 (identifiant du tunnel)

Payload: [IP Packet] (par exemple, un paquet IP avec 8 octets de données)

- **Flags** : 0x18 en hexadécimal signifie que le paquet contient des données utilisateur (G-PDU=1), un en-tête d'extension (E=1), et utilise des numéros de séquence (S=1).
  - **Length** : 0x0008 indique que le **Payload** fait 8 octets.
  - **TEID** : 0x12345678 est l'identifiant unique du tunnel.
  - **Payload** : Ce sont les données utilisateur encapsulées (par exemple, un paquet IP de 8 octets).
- 

## Exemple en hexadécimal :

Si on représente cela en hexadécimal pour un paquet avec 8 octets de données :

18 00 08 12 34 56 78 00 00 00 00 ... [Paquet IP]

- **18** : **Flags** (0x18 en hexadécimal) indique les options de contrôle.
- **00 08** : **Length** (0x0008 en hexadécimal) signifie que le payload fait 8 octets.
- **12 34 56 78** : **TEID** (0x12345678).
- **00 00 00 00** : Données de l'**IP Payload**.

## Le GTP-U 🚚 : Un tunnel secret pour les données

Le **GTP-U** (GPRS Tunneling Protocol - User Plane) est comme un **tunnel secret** 🕵️ qui permet aux **données des utilisateurs** (comme des vidéos 🎥, des appels 📞, ou des messages 📱) de voyager en toute sécurité à travers le réseau mobile 🌐, sans être modifiées.

### Voici comment ça fonctionne :

#### 1. Envelopper les données 📁 :

- Imagine que tu veux envoyer une **lettre** ✉️ (les données) à ton ami. Le **GTP-U** va mettre cette lettre dans une **enveloppe** 📦 (le paquet GTP-U) pour que personne ne puisse voir ce qu'il y a à l'intérieur pendant son trajet.
- Cette enveloppe contient des **informations de contrôle** (comme l'adresse de ton ami, c'est-à-dire le **Tunnel Endpoint Identifier** 🏠). Cela permet au réseau de savoir à qui et où envoyer les données.

#### 2. Envoyer à travers le réseau 🚀 :

- Une fois l'enveloppe prête, elle traverse le **réseau mobile** 🌐, en passant par des stations de base 📶, des serveurs et d'autres éléments du réseau, tout en restant **intacte** et **protégée**. Le GTP-U fait en sorte que les données arrivent à destination sans être altérées. C'est un peu comme envoyer un colis **blindé** 🛡️.

#### 3. Ouvrir l'enveloppe à la fin 🎉 :

- Une fois arrivée à destination (par exemple, sur le téléphone 📱 de l'utilisateur), l'enveloppe est **ouverte** 📧 et les données sont **décryptées** pour être utilisées par l'utilisateur. C'est comme si tu récupérais enfin la lettre de ton ami et tu lisais son message 💬.

### Pourquoi c'est super utile ? 🤔

- **Sécurité** 🛡️ : Le GTP-U garantit que tes **données** voyagent en toute sécurité, sans être vues par des gens malveillants.
- **Précision** 🎯 : Il s'assure que les données arrivent à la **bonne destination** (le bon utilisateur) avec la **bonne session**.
- **Efficacité** ⚡ : Les données peuvent voyager rapidement et sans erreur dans le réseau mobile, même si le chemin est compliqué.

## 1. UE (User Equipment) 📱 :

L'**UE** est l'appareil de l'utilisateur, comme un smartphone, une tablette ou un autre terminal. C'est le **point de départ** des **données** qu'un utilisateur veut envoyer ou recevoir.

- **Exemple** : Quand tu envoies un message, ou que tu regardes une vidéo sur ton smartphone, les données partent de l'UE.
- 

## 2. Station de Base (gNB) 🏠 :

La **Station de Base** (gNB) est une antenne qui se connecte directement à l'**UE** et qui fait le lien entre l'UE et le reste du réseau mobile. Elle se charge de gérer la **connexion radio** entre l'UE et le réseau central (core network).

- **Exemple** : Quand tu te connectes à Internet, le gNB permet à ton téléphone de se connecter à Internet en communiquant avec le réseau 5G.
- 

## 3. GTP-U (User Plane) 🚂 :

Le **GTP-U** est utilisé pour transporter les **données des utilisateurs** (comme des vidéos, des appels, etc.) entre différents composants du réseau. Cela inclut le transport des données de l'UE à travers le **gNB** et vers le **UPF**.

- **Exemple** : Quand tu regardes une vidéo, les paquets de données (les morceaux de la vidéo) sont envoyés via le **GTP-U**, comme des colis qui voyagent à travers le réseau mobile.

## Flux de données détaillé entre tous les composants (UE → Station de base → AMF → SMF → Auth Server → UDM → UPF → GTP-U) :

### 1. L'UE (User Equipment) 📱 demande une connexion

L'**UE** (smartphone, tablette, etc.) cherche à se connecter au réseau 5G. Cela peut se produire lorsqu'un utilisateur tente d'ouvrir une page web, passer un appel ou envoyer un message.

- **UE** : Envoie une demande de connexion à la **station de base (gNB)**.
- 

### 2. La Station de Base (gNB 🏠) transmet la demande au réseau central

Le **gNB** (station de base) est responsable de la gestion de la connexion radio avec l'UE. Lorsqu'un appareil veut accéder au réseau, il doit être authentifié et ses données doivent être gérées par le réseau central.

- **gNB** : Transmet la demande de connexion à l'**AMF (Access and Mobility Management Function)** dans le **Control Plane**.
- 

### 3. AMF (Access and Mobility Management Function 🧠)

L'**AMF** est responsable de l'authentification de l'UE et de la gestion de la mobilité (connexion, déconnexion, etc.).

- **AMF** :
    - Authentifie l'UE en s'assurant qu'il est autorisé à se connecter au réseau.
    - Vérifie la localisation de l'UE (s'il est dans la bonne zone de couverture).
    - Dirige ensuite l'UE vers le **SMF** (Session Management Function) pour gérer la session de données.
- 

### 4. SMF (Session Management Function 📁)

Le **SMF** gère la **session de données** (les informations relatives à la connexion, la bande passante, les services associés, etc.).

- **SMF** :
    - Crée la session de données pour l'UE.
    - Demande à l'**UPF** (User Plane Function) de préparer le chemin pour les données utilisateurs.
    - Dirige l'authentification vers le **Auth Server** si nécessaire.
- 

## 5. Auth Server (Serveur d'authentification 🗝️)

Le **Auth Server** vérifie les identifiants de l'UE pour s'assurer qu'il est légitime et autorisé à se connecter au réseau.

- **Auth Server** :
    - Authentifie l'UE en vérifiant son identité via les informations reçues de l'AMF et l'**UDM**.
    - Si l'authentification est réussie, l'Auth Server retourne une **réponse d'authentification** à l'AMF.
- 

## 6. UDM (Unified Data Management Server 📊)

L'**UDM** gère les informations de **profil d'abonnement** et de **sécurité** des utilisateurs (par exemple, les clés cryptographiques).

- **UDM** :
    - Fournit à l'AMF des informations spécifiques à l'utilisateur (profil d'abonnement, autorisations de réseau, etc.).
    - Envoie les informations nécessaires pour sécuriser la communication et assurer que l'utilisateur peut accéder aux services du réseau.
- 

## 7. UPF (User Plane Function 🚦)

Une fois que la **session de données** est activée, l'**UPF** gère le flux de **données utilisateur** (par exemple, la vidéo, les messages, les appels VoIP).

- **UPF :**

- Prépare le **tunnel GTP-U** pour transporter les données utilisateur entre le réseau et l'UE.
- Assure l'acheminement des paquets de données à travers le réseau vers la destination correcte (par exemple, un serveur web ou un autre utilisateur).

---

## 8. GTP-U (GPRS Tunneling Protocol - User Plane )

Le **GTP-U** encapsule les données de l'utilisateur dans un **tunnel sécurisé**, permettant à ces données de voyager à travers le réseau sans être modifiées.

- **GTP-U :**

- **Encapsule** les paquets de données dans un tunnel GTP, les transportant entre l'UPF, les stations de base, et les autres composants du réseau.
- Le **GTP-U** garantit que les données utilisateur arrivent à destination sans être altérées, en utilisant des **identifiants uniques** pour associer les paquets de données aux bonnes sessions utilisateur (via le **TEID**, Tunnel Endpoint Identifier).

---

## 9. L'UPF et l'acheminement final des données

L'**UPF** s'assure que les **données utilisateur** arrivent à leur destination finale. Cela peut être un serveur web, une plateforme de contenu vidéo, ou tout autre service sur Internet.

- **UPF :**

- Redirige les données vers l'**Internet** ou le **serveur** demandé par l'UE, via l'acheminement dans le tunnel GTP-U.
- Le **UPF** s'occupe de gérer le flux et la qualité du service pour ces données (par exemple, la gestion de la bande passante).

## **Quiz : Architecture 5G - Flux de données et composants**

**1. Quel est le rôle principal de l'AMF (Access and Mobility Management Function) ?**

- A) Acheminer les données utilisateurs entre le réseau et l'UE
- B) Gérer l'authentification et la mobilité de l'UE
- C) Créer des tunnels GTP-U pour les données
- D) Fournir une connexion Internet pour l'UE

**2. Dans le processus de connexion 5G, qui vérifie si l'UE (User Equipment) est autorisé à se connecter au réseau ?**

- A) SMF
- B) Auth Server
- C) UPF
- D) AMF

**3. Quel est le rôle du GTP-U dans le réseau 5G ?**

- A) Gérer les sessions de données
- B) Transporter les paquets de données utilisateur entre les composants du réseau
- C) Authentifier l'UE
- D) Assurer la connectivité radio entre l'UE et le réseau central

**4. Que fait le UPF (User Plane Function) dans un réseau 5G ?**

- A) Gère la mobilité de l'UE
- B) Transporte les données utilisateur dans un tunnel sécurisé (GTP-U)
- C) Authentifie les utilisateurs
- D) Crée des sessions de données pour l'UE

**5. Lequel des composants suivants est responsable de la gestion des informations de profil d'abonnement et de sécurité des utilisateurs dans le réseau 5G ?**

- A) SMF
- B) UDM
- C) Auth Server
- D) AMF

**6. Quand l'UE veut se connecter au réseau 5G, quel est le premier composant qu'il contacte pour établir la connexion ?**

- A) UPF
- B) gNB (station de base)
- C) SMF
- D) Auth Server

**7. Quelle fonction est assurée par le Control Plane (CP) dans le réseau 5G ?**

- A) Transporter les données utilisateur
- B) Gérer les sessions et l'authentification de l'UE
- C) Assurer la gestion de la bande passante
- D) Gérer les tunnels GTP-U

**8. Le GTP-U permet de transporter des données utilisateurs entre les composants réseau. Comment ces données sont-elles sécurisées pendant leur transport ?**

- A) Grâce à des protocoles de chiffrement
- B) Par le biais de l'authentification de l'UE
- C) En les encapsulant dans un tunnel GTP, sans modification des données
- D) En utilisant des serveurs de sécurité comme l'UDM

**9. Quelle est la fonction de la Station de Base (gNB) dans un réseau 5G ?**

- A) Acheminer les données utilisateur vers Internet
- B) Assurer la connectivité radio entre l'UE et le réseau central
- C) Gérer les sessions de données de l'UE
- D) Authentifier l'UE et gérer les profils utilisateurs

**10. Quel composant est responsable de la gestion de la session de données entre l'UE et le réseau ?**

- A) AMF
  - B) SMF
  - C) UPF
  - D) GTP-U
-



## **Réponses :**

1. **B) Gérer l'authentification et la mobilité de l'UE**
2. **B) Auth Server**
3. **B) Transporter les paquets de données utilisateur entre les composants du réseau**
4. **B) Transporte les données utilisateur dans un tunnel sécurisé (GTP-U)**
5. **B) UDM**
6. **B) gNB (station de base)**
7. **B) Gérer les sessions et l'authentification de l'UE**
8. **C) En les encapsulant dans un tunnel GTP, sans modification des données**
9. **B) Assurer la connectivité radio entre l'UE et le réseau central**
10. **B) SMF**