

# Chapitre 4

## Systemes de transmission d'images

### 4.1 INTRODUCTION

La transmission d'images numériques est un processus fondamental qui soutend une multitude d'applications dans notre société contemporaine. Qu'il s'agisse de partager des moments personnels avec des amis et de la famille, de diffuser des événements en direct à un public mondial, de permettre des diagnostics médicaux à distance, ou de recueillir des informations cruciales à partir d'observations satellitaires, la capacité de transférer efficacement des informations visuelles sous forme numérique est devenue indispensable. Ce processus permet de partager des informations visuelles à distance, de manière efficace et rapide, en exploitant les technologies numériques. Son importance réside dans sa capacité à surmonter les limitations géographiques et temporelles associées aux méthodes traditionnelles de partage d'images.

L'histoire des systèmes de transmission d'images est marquée par une évolution significative, depuis les premières tentatives avec la télécopie et les systèmes de télévision analogique jusqu'aux solutions numériques sophistiquées que nous connaissons aujourd'hui. L'avènement de l'informatique personnelle et le développement exponentiel des réseaux de communication, notamment Internet, ont radicalement transformé la manière dont les images sont acquises, stockées et, surtout, transmises. Le passage des technologies analogiques aux technologies numériques a été particulièrement déterminant, offrant une flexibilité accrue, une qualité d'image améliorée et l'introduction de nouvelles fonctionnalités telles que la compression avancée et le cryptage des données.

Cependant, le domaine de la transmission d'images numériques est toujours confronté à des défis et des enjeux importants. La gestion de la bande passante, en particulier pour la transmission d'images haute résolution et de flux vidéo volumineux, reste une préoccupation majeure. La nécessité de développer des techniques de compression toujours plus efficaces, capables de réduire la taille des fichiers sans entraîner une perte significative de qualité visuelle, est constante. La sécurité et la confidentialité des données transmises sont également cruciales, en particulier dans des applications sensibles telles que la médecine et la surveillance. Assurer l'intégrité des données face aux erreurs de transmission et garantir l'interopérabilité entre une variété de systèmes et d'appareils différents sont d'autres défis importants auxquels la recherche et le développement dans ce domaine continuent de s'attaquer.

La transition des systèmes analogiques aux systèmes numériques a marqué un tournant décisif dans l'histoire de la transmission d'images. Contrairement aux signaux continus des systèmes analogiques, les systèmes numériques convertissent les images en données discrètes, permettant l'application de codes de correction d'erreurs pour assurer l'intégrité des données transmises. De plus, la représentation numérique

a ouvert la voie à des algorithmes de compression sophistiqués, réduisant considérablement la bande passante nécessaire à la transmission et l'espace de stockage requis. Le développement de processeurs de signaux numériques (DSP) et de réseaux logiques programmables (FPGA) a joué un rôle essentiel dans cette transformation en fournissant la puissance de calcul nécessaire pour ces opérations complexes en temps réel.

La demande croissante pour des contenus visuels de haute qualité dans un large éventail d'applications, allant du divertissement aux domaines professionnels tels que la médecine et la télédétection, exerce une pression constante sur le développement de systèmes de transmission d'images plus efficaces et robustes. Cette demande est alimentée par les progrès des dispositifs de capture d'images, tels que les caméras et les scanners à haute résolution, ainsi que par la dépendance croissante à l'égard des informations visuelles pour la communication et l'analyse. La transmission efficace de ces fichiers volumineux nécessite des réseaux à plus large bande passante et des techniques de compression plus avancées. Les limitations de la bande passante des réseaux existants et le besoin de transmission en temps réel dans des applications comme la visioconférence et la télémédecine soulignent la nécessité d'une recherche et d'un développement continu dans le domaine des systèmes de transmission d'images.

## 4.2 COMPOSANTS ESSENTIELS D'UN SYSTÈME DE TRANSMISSION D'IMAGES

Un système de transmission d'images numériques typique comprend plusieurs composants essentiels qui fonctionnent en synergie pour permettre le transfert efficace d'informations visuelles :

La première étape est la **source d'image**, qui peut être un dispositif de capture comme un appareil photo numérique ou un scanner, ou un fichier image existant stocké sur un ordinateur ou un serveur. Si l'image provient d'une source analogique, comme une photographie traditionnelle, elle doit d'abord être convertie en une représentation numérique par un processus de numérisation.

Une fois que l'image est sous forme numérique, elle est souvent soumise à un processus d'**encodage** et de **compression**. L'encodage consiste à convertir les données de l'image dans un format spécifique adapté à la transmission, tandis que la compression vise à réduire la taille du fichier image en éliminant les redondances ou les informations moins perceptibles. La compression peut être sans perte, où l'image originale peut être parfaitement reconstruite, ou avec perte, où une certaine quantité d'informations est sacrifiée pour obtenir une réduction de taille plus importante. Le choix de la méthode de compression dépend des exigences de l'application en termes de qualité d'image et de bande passante disponible pour la transmission.

L'image encodée et compressée est ensuite transmise via un **canal de transmission**. Ce canal peut être un support physique, tel qu'un câble coaxial, une paire torsadée (utilisée dans les réseaux Ethernet) ou une fibre optique, ou un support sans fil, tel que les ondes radio (utilisées dans les réseaux Wi-Fi et cellulaires), les micro-ondes, les signaux infrarouges ou les faisceaux laser. Les caractéristiques du canal, notamment sa bande passante (la quantité de données qui peut être transmise par unité de temps), le niveau de bruit (interférences qui peuvent corrompre le signal) et l'atténuation (la perte de force du signal sur la distance), jouent un rôle crucial dans la qualité et la vitesse de la transmission de l'image.

Au niveau du **récepteur**, le signal image transmis doit être soumis à un processus de **décodage** et de **décompression**. Le décodage inverse le processus d'encodage, ramenant les données à un format image utilisable, tandis que la décompression restaure l'image à partir de sa forme compressée. Le récepteur peut être un ordinateur, un smartphone, une télévision ou tout autre dispositif capable de recevoir et de traiter le signal. Enfin, l'image décompressée est présentée à l'utilisateur sur un **dispositif**

**d'affichage**, tel qu'un écran d'ordinateur, un écran de smartphone ou un moniteur.

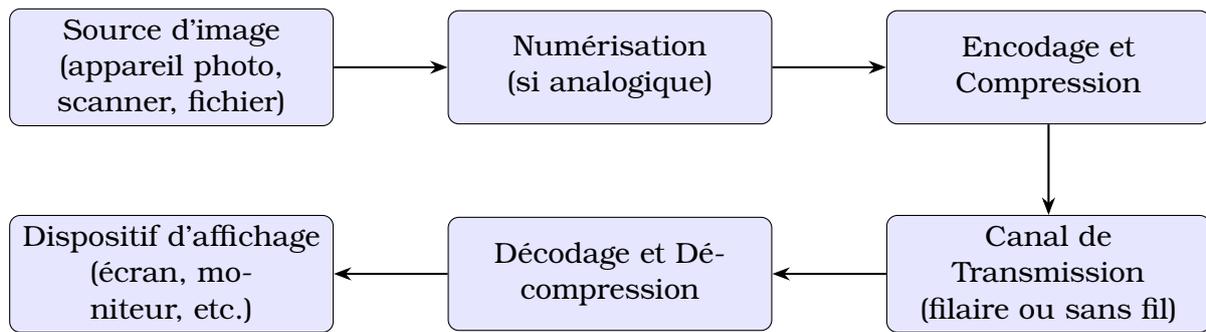


FIGURE 4.1 – Composants essentiels d'un système typique de transmission d'images numériques.

L'efficacité et la fiabilité d'un système de transmission d'images sont fortement tributaires des caractéristiques du canal de transmission. Des facteurs tels que les limitations de bande passante, les interférences dues au bruit et l'atténuation du signal peuvent impacter significativement la qualité et la vitesse du transfert d'images. Un canal avec une bande passante élevée permet la transmission de plus grandes quantités de données en moins de temps, ce qui est crucial pour les images ou vidéos haute résolution. Le bruit peut corrompre les données transmises, entraînant des erreurs dans l'image reçue. L'atténuation provoque une diminution de la force du signal avec la distance, nécessitant potentiellement des répéteurs ou des amplificateurs pour maintenir l'intégrité du signal. La compréhension de ces limitations du canal est essentielle pour choisir le support de transmission approprié et employer des techniques telles que la correction d'erreurs et le traitement du signal pour atténuer leurs effets.

Le processus d'encodage et de compression à l'émetteur, ainsi que le décodage et la décompression au récepteur, forment un pipeline crucial pour une transmission d'images efficace. Le choix des techniques d'encodage et de compression affecte directement la taille des données transmises et la qualité de l'image reconstruite. L'encodage convertit les données de l'image numérique dans un format approprié à la transmission sur un canal spécifique. La compression réduit la quantité de données à transmettre, économisant ainsi de la bande passante et du temps. La sélection des algorithmes de compression (avec ou sans perte) implique un compromis entre la réduction de la taille du fichier et la qualité de l'image. Au récepteur, les processus de décodage et de décompression inversent ces étapes pour reconstruire l'image originale. La compatibilité des schémas d'encodage/décodage entre l'émetteur et le récepteur est essentielle pour une transmission d'images réussie.

### 4.3 TYPES DE SYSTÈMES DE TRANSMISSION D'IMAGES

Les systèmes de transmission d'images peuvent être classés en fonction du support utilisé pour transporter les données, principalement en systèmes filaires et systèmes sans fil.

#### 4.3.1 SYSTÈMES DE TRANSMISSION FILAIRE

Ces systèmes utilisent un support physique pour guider le signal image de l'émetteur au récepteur.

##### 4.3.1.1 CÂBLE COAXIAL

**Fonctionnement** : Le câble coaxial est conçu pour transmettre des signaux de radiofréquence (RF), qui peuvent inclure des données d'image, avec de faibles pertes. Il

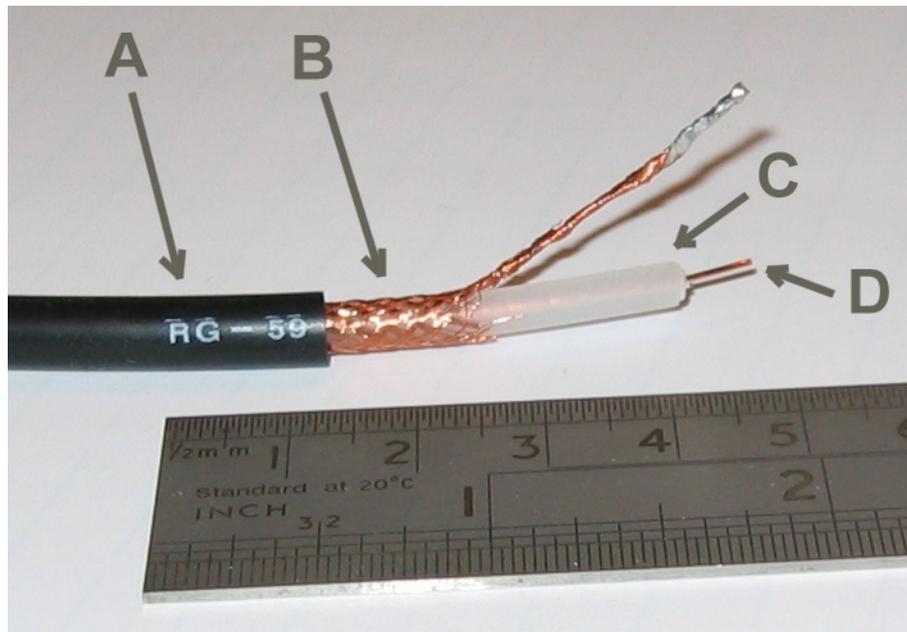


FIGURE 4.2 – Câble coaxial flexible de type RG-59 - A : Gaine extérieure en plastique, B : Blindage en cuivre, C : Diélectrique, D : Conducteur central (âme) en cuivre.

est constitué d'un conducteur central, généralement en cuivre, entouré d'une couche isolante diélectrique, elle-même enveloppée d'un blindage conducteur (souvent une tresse) et d'un revêtement extérieur protecteur. Le signal image, sous forme de courant électrique, se propage à travers le conducteur central, tandis que le blindage extérieur protège le signal des interférences électromagnétiques.

**Avantages :** Le câble coaxial offre une bonne résistance aux interférences électromagnétiques grâce à son blindage. Il est généralement durable et relativement abordable pour des distances courtes à moyennes. Il est également facile à câbler et à installer pour des configurations simples.

**Inconvénients :** Sa bande passante est limitée par rapport à la fibre optique, ce qui peut être un inconvénient pour la transmission d'images haute résolution ou de grandes quantités de données. L'installation professionnelle pour de longues distances peut devenir coûteuse. Le câble peut être volumineux et inesthétique s'il n'est pas dissimulé. Une défaillance du câble peut interrompre la transmission pour tout le système qui en dépend. Bien que généralement durable, il peut être endommagé par une flexion excessive, affectant la qualité du signal.

#### 4.3.1.2 PAIRE TORSADÉE

**Fonctionnement :** La paire torsadée utilise deux fils conducteurs enroulés en hélice l'un autour de l'autre pour réduire les interférences électromagnétiques et la diaphonie. Pour la transmission d'image, le signal vidéo est envoyé à travers la paire. La torsion assure que le bruit affecte les deux fils de manière égale, permettant au récepteur de l'annuler. Des taux de torsion différents entre les paires dans un même câble aident à minimiser la diaphonie. Les paires torsadées peuvent être non blindées (UTP) ou blindées (STP) pour une meilleure protection contre les interférences.

**Avantages :** Elle est facile à mettre en œuvre et à terminer, ce qui rend la configuration des connexions pratique. Elle est relativement peu coûteuse, surtout pour les courtes distances. Elle est flexible et facile à connecter, ce qui simplifie l'installation et la gestion des câbles.

**Inconvénients :** Elle peut entraîner une distorsion du signal, surtout sur de longues distances, ce qui pourrait impacter la qualité de l'image. L'atténuation du signal est

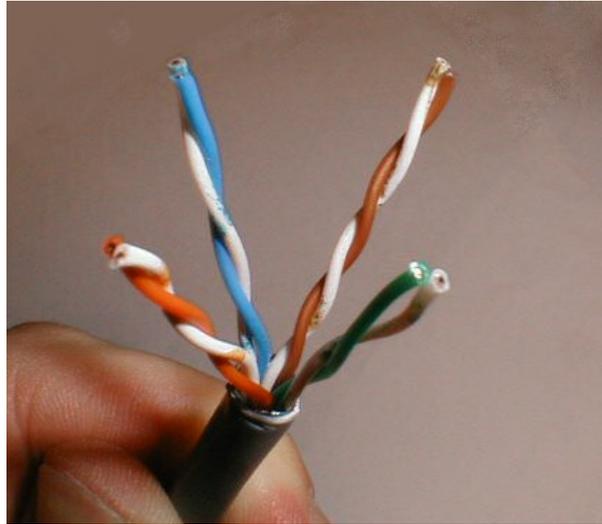


FIGURE 4.3 – Quatre paires torsadées d'un câble réseau de type UTP.

élevée, limitant la portée pour une transmission claire de l'image. Elle prend en charge une bande passante relativement faible par rapport au coaxial et à la fibre. Elle offre une sécurité moindre et est relativement facile à intercepter. Les câbles sont fins et peuvent se casser facilement, nécessitant une manipulation et un entretien réguliers. Elle est susceptible aux interférences électromagnétiques (EMI).

#### 4.3.1.3 FIBRE OPTIQUE

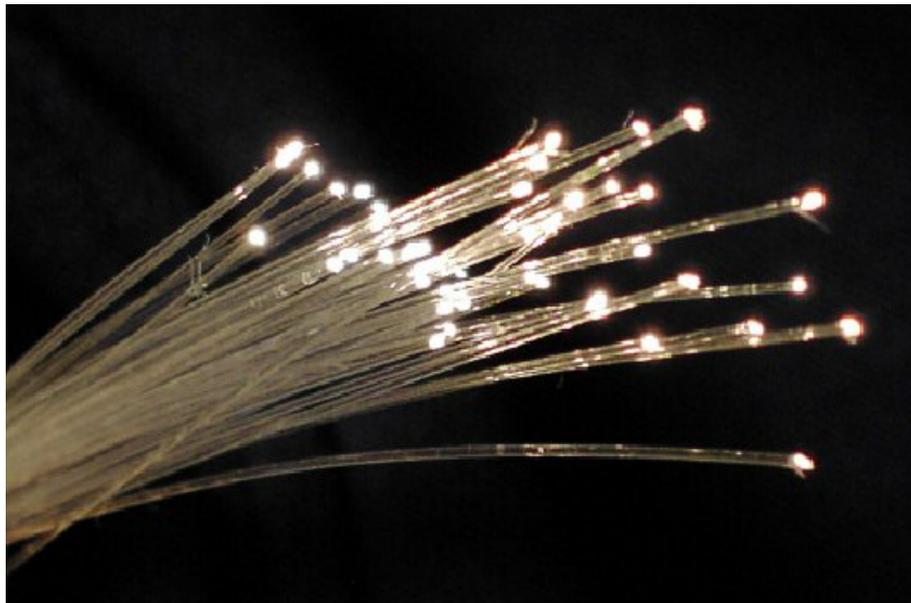


FIGURE 4.4 – Un faisceau de fibres optiques.

**Fonctionnement** : La fibre optique transmet les données sous forme d'impulsions lumineuses à travers des brins de verre ou de plastique. L'information de l'image est convertie en signaux lumineux qui se propagent le long de la fibre grâce au principe de la réflexion interne totale. Un émetteur (souvent une diode laser ou une LED) génère les impulsions lumineuses, et un récepteur (photodiode) à l'autre extrémité les détecte et les reconvertit en signaux électriques pour reconstruire l'image.

**Avantages** : Elle offre une bande passante extrêmement large et une vitesse de transmission très rapide, permettant de transmettre de grandes quantités de don-

nées d'image de haute qualité. La dégradation du signal est faible sur de longues distances, réduisant le besoin de répéteurs. Elle est immunisée contre les interférences électromagnétiques, assurant une transmission claire et de meilleure qualité. Elle a généralement une longue durée de vie.

**Inconvénients** : Elle est assez fragile et plus sensible aux dommages causés par le pliage ou la torsion que les fils de cuivre, ce qui nécessite une manipulation prudente. L'installation et la connexion nécessitent souvent des équipements et des compétences spécialisés, ce qui peut être plus coûteux. La distance entre l'émetteur et le récepteur doit rester relativement courte, sinon des répéteurs optiques sont nécessaires pour amplifier le signal, ce qui peut ajouter de la complexité et des coûts supplémentaires pour les transmissions sur de très longues distances.

#### **4.3.2 SYSTÈMES DE TRANSMISSION SANS FIL**

##### **4.3.2.1 WI-FI**

**Fonctionnement** : Le Wi-Fi utilise des ondes radio pour transmettre des données entre des appareils et un routeur sans fil.

**Avantages** : Il est facile à installer, offre une flexibilité sans fil et permet le partage de connexion.

**Inconvénients** : Il est vulnérable aux interférences, limite la vitesse et la couverture, et est susceptible d'être piraté.

##### **4.3.2.2 BLUETOOTH**

**Fonctionnement** : Le Bluetooth permet la communication sans fil à courte portée entre des appareils compatibles.

**Avantages** : Il offre une commodité sans fil, une faible consommation d'énergie et une sécurité.

**Inconvénients** : La vitesse de transfert est plus lente et la portée est limitée.

##### **4.3.2.3 RÉSEAUX MOBILES (3G, 4G, 5G)**

**Fonctionnement** : La transmission d'images par les réseaux mobiles utilise des ondes radio entre les appareils mobiles et les stations de base cellulaires.

**Avantages** : Elle offre une grande mobilité et des vitesses de transmission de données en constante augmentation.

**Inconvénients** : La vitesse et la fiabilité peuvent varier, et des coûts sont associés à l'utilisation des données.

#### **4.3.3 TRANSMISSION VIA RÉSEAUX INFORMATIQUES**

##### **4.3.3.1 LAN (LOCAL AREA NETWORK)**

**Fonctionnement** : Un réseau local (LAN) connecte des appareils à proximité géographique, comme dans une maison, un bureau ou un campus. Il permet l'échange de données à haute vitesse via Ethernet ou Wi-Fi.

**Applications** : Partage de fichiers, impression en réseau, collaboration locale, surveillance locale.

##### **4.3.3.2 MAN (METROPOLITAN AREA NETWORK)**

**Fonctionnement** : Un réseau métropolitain (MAN) couvre une zone géographique plus large qu'un LAN, mais plus restreinte qu'un WAN, typiquement à l'échelle d'une ville ou d'un campus universitaire étendu. Il connecte plusieurs LAN entre eux via des infrastructures à haut débit comme la fibre optique.

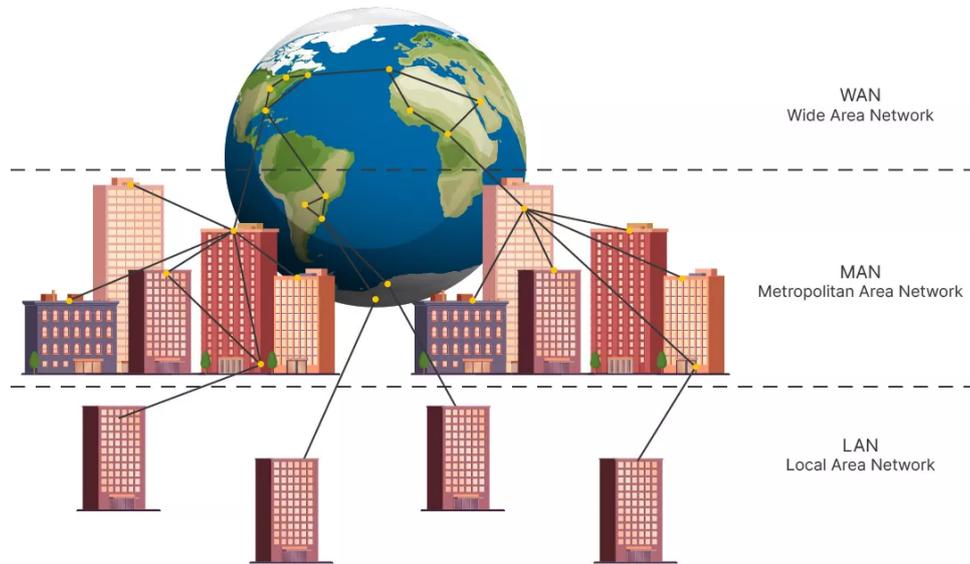


FIGURE 4.5 – Comparaison des réseaux LAN, MAN et WAN : principaux types de réseaux informatiques.

**Applications** : Interconnexion de bâtiments d'une même organisation à l'échelle urbaine, accès partagé à des ressources (data centers, serveurs), services municipaux (vidéosurveillance, IoT urbain).

#### 4.3.3.3 WAN (WIDE AREA NETWORK) ET INTERNET

**Fonctionnement** : Un réseau étendu (WAN) connecte des réseaux LAN (et MAN) sur de longues distances, souvent via des liaisons satellites ou sous-marines. Internet est le plus grand WAN, utilisant le protocole TCP/IP pour la transmission de données.

**Applications** : Communication mondiale, accès au cloud, télétravail, commerce électronique, diffusion multimédia à grande échelle.

Le choix du système de transmission, qu'il soit filaire ou sans fil, est déterminé par une multitude de facteurs, notamment la distance, les besoins en bande passante, le coût, les considérations de sécurité et l'environnement de transmission. Chaque type de système présente un ensemble unique d'avantages et d'inconvénients, le rendant adapté à des applications spécifiques. Par exemple, pour les applications à courte distance et à large bande passante dans un bâtiment, les systèmes filaires comme Ethernet sur paire torsadée ou fibre optique peuvent être préférés en raison de leur fiabilité et de leur vitesse. Pour les applications mobiles ou à distance, les systèmes sans fil offrent une plus grande flexibilité et portée, mais peuvent avoir des limitations en termes de bande passante ou de sensibilité aux interférences. Le coût du déploiement et de la maintenance de l'infrastructure joue également un rôle important dans le processus de sélection.

La prévalence croissante des technologies sans fil reflète une demande croissante de mobilité et de commodité. Cependant, cette tendance introduit également des défis liés à la sécurité, à la gestion des interférences et aux limitations de bande passante, qui doivent être relevés par des avancées technologiques et des efforts de normalisation continus. Les technologies sans fil comme le Wi-Fi, le Bluetooth et les réseaux mobiles offrent aux utilisateurs la liberté de se connecter et de partager des informations sans les contraintes des câbles physiques. Cependant, la nature partagée du support sans fil le rend sensible aux interférences d'autres appareils et facteurs environnementaux. La sécurité est également une préoccupation majeure, car les signaux sans fil peuvent être interceptés. De plus, la bande passante disponible dans les ré-

seaux sans fil peut être limitée, en particulier dans les zones densément peuplées. Relever ces défis nécessite le développement de protocoles sans fil plus robustes et sécurisés, ainsi que des techniques de gestion du spectre efficaces.

#### **4.4 MÉTHODES ET PROTOCOLES DE TRANSMISSION D'IMAGES NUMÉRIQUES**

La transmission d'images numériques s'appuie sur divers protocoles et méthodes pour assurer un transfert efficace et fiable des données.

##### **4.4.1 PROTOCOLES DE TRANSFERT DE FICHIERS (FTP)**

Le Protocole de Transfert de Fichiers (FTP) est un protocole réseau standard conçu pour le transfert efficace de fichiers, y compris des images, entre ordinateurs sur un réseau TCP/IP. Il utilise une architecture client-serveur, établissant des connexions séparées pour les commandes de contrôle et le transfert des données. FTP est couramment utilisé pour télécharger des images vers des serveurs web ou pour partager de grandes collections d'images. Des versions sécurisées comme FTPS (FTP over SSL/TLS) et SFTP (FTP over SSH) chiffrent les données pendant la transmission.

##### **4.4.2 PROTOCOLE DE TRANSFERT HYPERTEXTE (HTTP/HTTPS)**

Le Protocole de Transfert Hypertexte (HTTP) est le protocole de base pour la navigation web, utilisé pour récupérer des ressources telles que des documents HTML et des images. Il fonctionne sur un modèle de requête-réponse entre un client (navigateur) et un serveur web. Les images sont généralement intégrées dans des pages web via la balise <img> et transmises via HTTP ou sa version sécurisée HTTPS, qui utilise le cryptage SSL/TLS.

##### **4.4.3 PROTOCOLE DE CONTRÔLE DE TRANSMISSION / PROTOCOLE INTERNET (TCP/IP)**

La suite de protocoles TCP/IP est fondamentale pour la communication sur Internet et la plupart des réseaux modernes. TCP assure une transmission fiable des données en les segmentant en paquets, en garantissant leur ordre et leur livraison sans erreur. IP est responsable de l'adressage et du routage des paquets. La plupart des protocoles de niveau application, y compris FTP et HTTP, utilisent TCP/IP.

##### **4.4.4 DIGITAL IMAGING AND COMMUNICATIONS IN MEDICINE (DICOM)**

DICOM est une norme internationale spécifiquement conçue pour la gestion et la transmission d'informations d'imagerie médicale. Il définit un format de fichier standard et un protocole de communication réseau pour l'échange d'images médicales et de données associées entre différents systèmes d'imagerie. Il est utilisé dans les systèmes PACS pour le stockage, la récupération et la transmission d'images médicales.

##### **4.4.5 PICTURE TRANSFER PROTOCOL (PTP)**

PTP est un protocole permettant le transfert d'images depuis un appareil photo numérique vers un ordinateur. Il est standardisé pour l'USB et offre une alternative à l'USB Mass Storage.

## **CONCLUSION**

Le domaine des systèmes de transmission d'images numériques est en constante évolution, avec des avancées continues dans les technologies de capture, de compression et de transmission. On observe le développement de codecs de compression plus efficaces, tels que JPEG AI et HEVC. L'intelligence artificielle joue un rôle croissant

dans l'amélioration et la compression des images. L'adoption de réseaux à plus haut débit (5G, fibre optique) permet de supporter la transmission d'images haute résolution et de vidéos. La transmission progressive gagne en importance pour améliorer l'expérience utilisateur.

La demande pour des images et des vidéos de plus haute résolution continue de croître, nécessitant des systèmes de transmission capables de gérer des débits de données plus importants. La sécurité et la confidentialité dans la transmission d'images deviennent de plus en plus importantes. Les systèmes de transmission plus adaptatifs et conscients du contexte, capables d'optimiser la qualité et l'efficacité en fonction des conditions du réseau et des besoins de l'application, sont une tendance future.

L'avenir des systèmes de transmission d'images sera probablement façonné par les progrès de l'IA et de l'apprentissage profond, qui offrent le potentiel d'une compression plus efficace, d'une qualité d'image améliorée et d'une sécurité accrue. La demande croissante de contenu multimédia en temps réel et de haute qualité continuera de stimuler le besoin de bande passante plus élevée et de latence plus faible dans les systèmes de transmission d'images. L'intégration croissante de la transmission d'images avec les technologies mobiles et cloud est une tendance significative, permettant une plus grande accessibilité, flexibilité et évolutivité pour diverses applications.