ANNÉE PASSERELLE EN INGÉNIERIE

Introduction à la Téléinformatique

Notions fondamentales, théorie, exemples et exercices

v0.10

HEIA-FR

Vincent Audergon

Année académique 2026-2027

ANNÉE PASSERELLE EN INGÉNIERIE

Introduction à la Téléinformatique

Notions fondamentales, théorie, exemples et exercices

Vincent Audergon

HEIA-FR

Année académique 2026-2027

© 2026 Vincent Audergon, HEIA-FR

Ce document est un support de cours destiné aux étudiant·e·s dans le cadre du cours « Année Passerelle en Ingénierie » à HEIA-FR. Toute reproduction ou diffusion en dehors de ce cadre nécessite l'accord préalable de l'auteur.

Édition 0.10 .
Contact : vincent.audergon@hefr.ch

PRÉFACE

ATTENTION
Cette édition est publiée **progressivement** au fil du semestre : elle contient les chapitres des semaines 1 à **1** (voir le plan du cours ci-après). Les chapitres suivants seront ajoutés au fur et à mesure — consultez le site du cours pour la dernière version.

Ce livre accompagne le cours de base de téléinformatique. Il n'a pas vocation à remplacer les cours. Il rassemble, dans un même volume, la théorie essentielle, des exemples résolus et des exercices pour s'entraîner. La présence aux cours reste obligatoire.

L'ouvrage est pensé comme un **ouvrage de référence** pour le cours. Chaque chapitre s'ouvre sur ses objectifs et se lit de façon autonome : vous pouvez le parcourir dans l'ordre ou y revenir ponctuellement, lorsqu'une notion vous échappe ou qu'un exercice réclame un rappel. Les chapitres sont ordonnés dans le même ordre que les slides du cours.

Les concepts théoriques présentés dans cet ouvrage sont parfois simplifiés pour faciliter la compréhension. Des subtilités et des pans théoriques sont volontairement omis, car ils ne sont pas nécessaires pour atteindre les objectifs du cours. L'ouvrage est donc un **outil d'apprentissage**, et non un manuel de référence exhaustif pour une introduction à la téléinformatique. Il est important de compléter votre apprentissage avec les cours, les travaux pratiques et d'autres ressources pour obtenir une compréhension complète du sujet.

Les **définitions**, **exemples** et **exercices** sont numérotés par chapitre et signalés par des encadrés de couleur, afin de repérer d'un coup d'œil ce que l'on cherche. Les solutions figurent à la fin du livre : essayez d'abord, consultez ensuite.

Toute suggestion d'amélioration ou de correction est la bienvenue. N'hésitez pas à me contacter par mail à l'adresse vincent.audergon@hefr.ch ou à passer dans mon bureau pour en discuter (C10.08).

Transparence sur l'usage de l'IA: cet ouvrage est classé **DALIA D2**[1] (Augmenté par IA) : une intelligence artificielle est intervenue dans la création de petits éléments spécifiques, sans changer le sens de l'oeuvre. L'idéation, la rédaction et la validation finale du contenu restent humaines.

A travers le livre, divers blocs colorés sont utilisés pour signaler des éléments particuliers. Voici leur signification :

REMARQUE
Un point particulier, important ou délicat.

ATTENTION
Un point auquel il faut faire particulièrement attention.

ASTUCE
Une astuce qui permet de mieux assimiler une notion

DÉFINITION 0.1 · EXEMPLE

Une définition est un encadré de couleur, destiné à signaler une notion ou un concept à connaître.

EXEMPLE 0.1

Un exemple est un encadré de couleur, destiné à illustrer une notion ou un concept de manière concrète.

EXERCICE 0.1

Un exercice à résoudre. Les solutions sont disponibles à la fin du livre.

APPROFONDISSEMENT

[1] https://daliascale.org/fr/

Informations complémentaires, mais en dehors des critères d'évaluation du cours, c'est pour votre propre intérêt.

ANECDOTE

Complément d'information sous forme d'anecdote, également en dehors des critères d'évaluation du cours.

PLAN DU COURS

SEM.	CHAPITRE
1	Introduction à la téléinformatique
1	Signaux, topologies et classifications des réseaux
1	Binaire, hexadécimal et opérations logiques
2	Protocoles et modèles en couches *(à venir)*
2	Matériel *(à venir)*
2	Accès au médium *(à venir)*
3	Ethernet et IP *(à venir)*
3	ARP et ICMP *(à venir)*
4	Routage *(à venir)*
4	TCP et UDP *(à venir)*
5	Linux *(à venir)*
6	*Semaine de relâche (à venir)*
8	DHCP et DNS *(à venir)*
8	HTTP *(à venir)*
9	Cryptographie, Telnet et SSH *(à venir)*
9	Mail et FTP *(à venir)*
10	NAT *(à venir)*
11	CISCO IOS *(à venir)*
11	RIP et OSPF *(à venir)*
12	Sécurité *(à venir)*
12	Wireless *(à venir)*

SEM.	CHAPITRE
12	Automatisation *(à venir)*

Table des matières

1 Introduction à la téléinformatique 9
1.1 Qu'est-ce que la téléinformatique ? 9
1.2 Historique 10
1.3 Enjeux sociétaux, éthiques et environnementaux 12
1.4 Qu'est-ce qu'un réseau ? 13
1.5 Éléments d'un réseau informatique 15
1.6 Médium de transmission 16
1.7 Applications et services 16
2 Signaux, topologies et classifications des réseaux 19
2.1 Chaîne de transmission 19
2.2 Signal numérique et signal analogique 20
2.3 Modes de transmission 22
2.4 Topologies de réseau 23
2.4.1 Topologie en bus 24
2.4.2 Topologie en anneau 25
2.4.3 Topologie en étoile 25
2.4.4 Topologie maillée 26
2.4.5 Topologie en arbre 26
2.4.6 Comparaison des topologies 27
2.5 Classification des réseaux 28
3 Binaire, hexadécimal et opérations logiques 31
3.1 Unités de mesure de l'information 31
3.1.1 Bit et octet 31
3.1.2 Ordres de grandeur 32
3.1.3 Notations 33
3.1.4 Débit 33
3.1.5 Latence 34
3.1.6 Résumé 34
3.2 Représentation des nombres 34
3.2.1 Binaire 35
3.2.2 Hexadécimal 36
3.2.3 Conversion de la base 10 à la base 2 et 16 37
3.3 Opérations logiques 40
3.3.1 Opérateur ET (AND) 40
3.3.2 Opérateur OU (OR) 41
3.3.3 Opérateur NON (NOT) 41

3.3.4 Opérateur OU exclusif (XOR) 42
3.3.5 Opérations sur plusieurs bits 42
3.4 Encodage ASCII 44
Corrigés des exercices 47
Symboles réseau 55
Glossaire 57
Bibliographie 65
Index 67

CHAPITRE 1

Introduction à la téléinformatique

OBJECTIFS DU CHAPITRE

À l'issue de ce chapitre, vous saurez :

- définir la téléinformatique
- situer l'état de l'art et les enjeux de la téléinformatique
- décrire les éléments d'une chaîne de transmission
- citer des exemples d'applications et de services de téléinformatique

1.1 Qu'est-ce que la téléinformatique ?

Avant de pouvoir définir ce qu'est la téléinformatique, il est nécessaire de rappeler ce que sont l'informatique et les télécommunications.

DÉFINITION 1.1 · INFORMATIQUE

Science du traitement automatique et rationnel de l'information considérée comme le support des connaissances et des communications. (larousse.fr)

DÉFINITION 1.2 · TÉLÉCOMMUNICATIONS

Transmission, émission ou réception d'informations par fil, radioélectricité, optique, ou d'autres systèmes électromagnétiques. (larousse.fr)

DÉFINITION 1.3 · TÉLÉINFORMATIQUE

Association de techniques des télécommunications et de l'informatique en vue de réaliser, à distance, l'échange de données et la commande des traitements automatiques. (larousse.fr)

1.2 Historique

Il y a fort longtemps

Transmission de signaux

Les Hommes communiquaient à distance par des signaux visuels (fumée, feu, drapeaux, etc.) ou sonores (trompes, tambours, etc.).

1837

Télégraphe électrique

Samuel Morse et Alfred Vail mettent au point un code de points et de traits : la première transmission numérique de masse.

1876

Téléphone

Graham Bell dépose le brevet du téléphone : la voix devient un signal électrique analogique transporté sur fil.

1969

ARPANET

Premier réseau à commutation de paquets reliant quatre universités américaines : l'ancêtre d'Internet.

1983

TCP/IP

ARPANET adopte la pile TCP/IP comme protocole unique : naissance de l'Internet moderne.

1991

Le Web

Tim Berners-Lee publie le premier site web au CERN et rend le protocole HTTP public.

2000

Internet devient grand public

L'Internet devient accessible au grand public. On dénombre environ 361 millions d'utilisateurs en 2000.

2007

iPhone

Apple lance l'iPhone, un smartphone qui révolutionne la téléinformatique en combinant téléphone, internet et applications mobiles. D'autres smartphones suivent rapidement, rendant l'accès à l'information et aux services en ligne omniprésent.

2010

2 milliards d'utilisateurs

Le nombre d'utilisateurs d'Internet atteint 2 milliards, marquant une adoption mondiale massive de la téléinformatique.

2012

Généralisation de la 4G

Le déploiement de la technologie 4G LTE permet des vitesses de transmission de données plus rapides et une meilleure connectivité mobile, facilitant l'utilisation d'applications en temps réel et le streaming vidéo sur les smartphones.

2013

Les smartphones en Suisse

En Suisse, le nombre de smartphones dépasse celui des téléphones mobiles traditionnels, avec environ 50 à 60% de la population équipée.

2019

5G

Le déploiement de la 5G commence, offrant des vitesses de transmission encore plus rapides, une latence réduite et la possibilité de connecter un grand nombre d'appareils simultanément, ouvrant la voie à de nouvelles applications de téléinformatique.

2020

Télétravail et pandémie

La pandémie de COVID-19 entraîne une adoption massive du télétravail et des outils de communication en ligne, mettant en évidence l'importance de la téléinformatique dans la vie professionnelle et personnelle.

2022

ChatGPT et IA générative

L'essor de l'intelligence artificielle générative, avec des modèles comme ChatGPT, transforme la manière dont les utilisateurs interagissent avec les systèmes informatiques, facilitant l'accès à l'information et la création de contenu.

2025

IA Omniprésente

L'intelligence artificielle devient omniprésente dans les applications de téléinformatique, offrant des assistants

virtuels, des recommandations personnalisées et des capacités d'automatisation avancées.

EXERCICE 1.1 · CHRONOLOGIE DE LA TÉLÉINFORMATIQUE

Sans regarder la frise ci-dessus, classez ces événements du plus ancien au plus récent : le Web, ARPANET, l'iPhone, le télégraphe électrique, l'adoption de TCP/IP.

1.3 Enjeux sociétaux, éthiques et environnementaux

Aujourd'hui, l'ITU (International Telecommunication Union) dénombre environ 6 milliards d'utilisateurs d'internet, soit près de 75% de la population mondiale [1]. La téléinformatique est devenue un élément central de la vie quotidienne, influençant la communication, l'éducation, le commerce, le divertissement et bien d'autres aspects de la société. Elle a transformé la manière dont les individus interagissent, accèdent à l'information et participent à l'économie mondiale. Selon l'étude JAMES 2024 [2], les jeunes Suisses passent en moyenne 3 à 4 heures par jour sur leur smartphone et 34% utilisent des outils à base d'IA générative au moins une fois par semaine.

Les retombées positives de cette révolution sont concrètes et mesurables. L'éducation s'est ouverte : le nombre d'apprenants inscrits à des cours en ligne ouverts à tous (MOOC) est passé de zéro en 2012 à environ 220 millions en 2021 [3]. En médecine, selon Flodgren et al. [4], la télémédecine améliore le contrôle de la glycémie chez les patients diabétiques, avec des résultats par ailleurs équivalents à ceux d'une prise en charge en face à face : un accès aux soins facilité, sans perte de qualité. À cela s'ajoutent des bénéfices quotidiens plus diffus : rester en contact avec ses proches, accéder à l'information en quelques secondes ou encore utiliser des robots pour effectuer des tâches dangereuses pour un humain à distance.

Les revers de la médaille sont également nombreux : cybercriminalité, désinformation, dépendance aux écrans, atteintes à la vie privée et à la sécurité des données, impact environnemental des data centers et de la blockchain, etc. La téléinformatique soulève donc des questions éthiques, sociales et environnementales importantes, nécessitant une réflexion sur son utilisation responsable et durable.

D'après l'étude JAMES 2024 [2], plus d'un quart des jeunes suisses déclarent avoir déjà reçu plusieurs fois des insultes en ligne, 20% ont été

victimes de diffusions de photos ou vidéos embarrassantes à leur sujet, et 7% ont déjà été victimes de menaces ou de chantage en ligne.

Du côté de la désinformation, l'OFS (Office fédéral de la statistique) indique qu'en 2025, 58% de la population suisse déclare avoir déjà rencontré du contenu faux ou douteux sur des sites ou des réseaux sociaux [5].

La consommation d'énergie des data centers est également un enjeu majeur. Selon l'Agence internationale de l'énergie (IEA), les data centers à travers le monde consomment environ 1.5% de l'électricité mondiale en 2024 pour un total de 415 TWh. Cette consommation devrait plus que doubler, pour atteindre 945 TWh d'ici 2030, soit la consommation électrique annuelle du Japon en 2025 [6]. Cette augmentation est due à la croissance exponentielle des données générées par les utilisateurs, l'essor de l'intelligence artificielle et le développement de services en ligne. Selon Freitag et al. [7], l'empreinte carbone du numérique en 2020 représente 2.1% à 3.9% des émissions mondiales de gaz à effet de serre, soit davantage que l'aviation civile.

Les datacenters ne sont pas les seuls responsables de l'empreinte carbone de la téléinformatique. Les blockchains et par extension les cryptomonnaies représentent une part significative de la consommation électrique mondiale. Selon le Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI), le réseau du Bitcoin à lui seul consomme environ 201 TWh par an (état mi-juillet 2026), soit environ 0.7% de la consommation électrique mondiale [8].

En résumé, la révolution de la téléinformatique a apporté des avantages considérables à la société, mais elle pose également des défis importants en matière d'éthique, de sécurité et d'environnement. Il est crucial de continuer à développer des technologies et des pratiques responsables et durables pour maximiser les bénéfices tout en minimisant les impacts négatifs.

1.4 Qu'est-ce qu'un réseau ?

Au sens large, un réseau désigne un ensemble d'éléments (noeuds) interconnectés par des liens (arêtes), permettant la circulation d'une ressource ou d'une information.

L'un des réseaux les plus connus est probablement le réseau routier, qui relie des villes et des villages par des routes et autoroutes, permettant la circulation de véhicules et de personnes. Les autoroutes sont des liens à

grande capacité, tandis que les routes secondaires sont des liens à plus faible capacité. Les villes et villages sont les noeuds du réseau.

En téléinformatique, l'analogie avec le réseau routier est pertinente : les ordinateurs et autres équipements informatiques sont les noeuds, tandis que les câbles, fibres optiques et ondes radio sont les liens qui permettent la circulation des données. Certains liens sont à grande capacité (fibre optique, 5G), tandis que d'autres sont à plus faible capacité (ADSL, 3G). Les protocoles de communication jouent un rôle similaire aux règles de circulation, régissant la manière dont les données circulent dans le réseau.

DÉFINITION 1.4 · RÉSEAU INFORMATIQUE

Mise en relation d'au moins deux systèmes informatiques (ordinateurs, serveurs, périphériques) au moyen d'un médium de communication.

Un réseau informatique peut être de différentes tailles, formes et complexités, allant d'un simple réseau local dans une maison ou un bureau, à un vaste réseau mondial comme Internet.

EXEMPLE 1.1 · EXEMPLES DE RÉSEAUX INFORMATIQUES

- Internet
- Réseau d'entreprise
- Réseau de l'HEIA-FR
- Des écouteurs Bluetooth connectés à un smartphone
- Deux ordinateurs reliés par un câble Ethernet
- etc.

1.5 Éléments d'un réseau informatique

Un réseau informatique est composé de différents éléments, chacun ayant un rôle spécifique dans le système global. Dans le cadre du cours de téléinformatique, la nomenclature suivante est utilisée :

- **Périphérique / Hosts** : Un noeud du réseau, que ce soit un noeud dit « terminal » (ordinateur, smartphone, tablette, etc.) ou un noeud dit « intermédiaire » (routeur, switch, etc.).
- **Medium / Support de transmission** : Le lien physique ou logique qui permet la transmission des données entre les périphériques. Il peut s'agir de câbles (cuivre, fibre optique), d'ondes radio (Wi-Fi, 4G/5G) ou d'autres technologies de communication.
- **Messages / Données** : L'information qui transite à travers le réseau.
- **Protocoles / Règles de communication** : Les règles et conventions qui régissent la manière dont les périphériques communiquent entre eux, assurant que les messages sont correctement transmis, reçus et interprétés.

La Fig. 1 montre un exemple de réseau informatique utilisé pour envoyer un message d'un périphérique à un autre.

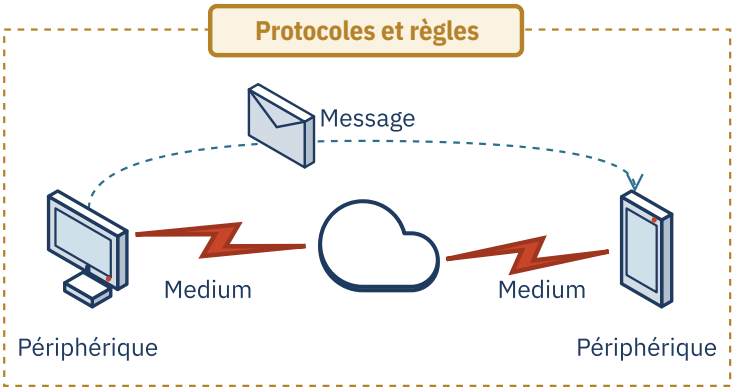


Fig. 1. – Illustration des différents éléments d'un réseau informatique. Dans cet exemple, l'ordinateur envoie un message au smartphone. La communication est régie par des règles.

EXERCICE 1.2 · NOMMER DES PÉRIPHÉRIQUES

Nommer des périphériques (terminaux et intermédiaires).

1.6 Médium de transmission

Les médiums (ou supports) de transmission sont les canaux par lesquels les données circulent dans un réseau informatique. Ils peuvent être classés en deux grandes catégories : les médiums filaires et les médiums sans fil. Pour transmettre une information d'un point A à un point B, des médiums de différents types peuvent être utilisés, chacun ayant ses propres caractéristiques, avantages et inconvénients.

EXEMPLE 1.2 · TRANSMISSION DE DONNÉES SUR DIFFÉRENTS MÉDIUMS

Alice envoie un message à Bob depuis son smartphone. Tout d'abord, les données sont transmises par les ondes radio entre le smartphone d'Alice et l'antenne relais la plus proche. Ensuite, les données voyagent à travers le réseau de l'opérateur mobile, composé de fibre optique. Enfin, elles atteignent l'ordinateur de Bob par le câble cuivre du réseau local.

EXERCICE 1.3 · IDENTIFIER LES ÉLÉMENTS D'UN RÉSEAU

Alice regarde une vidéo en streaming sur sa tablette, connectée au Wi-Fi de la maison. Le routeur de la maison est relié à Internet par une fibre optique. Identifiez dans ce scénario : les périphériques terminaux, les périphériques intermédiaires, les médiums de transmission et le message.

1.7 Applications et services

La téléinformatique permet la mise en place de nombreux services et applications qui facilitent la communication, l'accès à l'information et la collaboration à distance. Parmi les applications les plus courantes, on peut citer :

- La communication par messagerie
  - Email
  - Messagerie instantanée (WhatsApp, Telegram, Signal)
  - Réseaux sociaux (Facebook, Twitter, Instagram)
- Applications en temps réel
  - Jeux en ligne
  - Streaming vidéo (Netflix, YouTube, Twitch)

  - Streaming audio (Spotify, Apple Music)
  - Communication en temps réel (Discord, Slack, MS Teams)
- Applications partagées
  - Stockage en ligne (Google Drive, Dropbox, OneDrive)
  - Outils de collaboration (Google Docs, Microsoft Office 365)
  - Plateformes de gestion de projets (Trello, Asana, Jira)
- Partage de ressources
  - Impression à distance
  - Partage de fichiers
  - Accès à des bases de données distantes
- Gestion centralisée
  - Administration de systèmes et réseaux
  - Supervision et monitoring d'infrastructures
  - Gestion de serveurs et services cloud
- Cloud
  - Infrastructure as a Service (IaaS)
  - Platform as a Service (PaaS)
  - Software as a Service (SaaS)
- Etc.

Chaque application ou service possède des besoins spécifiques en termes de débit, latence et fiabilité. Le débit est la quantité de données pouvant transiter par seconde (ou autre unité de temps), la latence est le délai entre l'envoi et la réception d'un message, et la fiabilité est la capacité à transmettre les données sans perte ni corruption (le message arrive intact et complet).

EXERCICE 1.4 · FIABILITÉ, DÉBIT ET LATENCE SELON L'APPLICATION

Parmi les points suivants: débit, latence et fiabilité, quel est l'aspect le plus important pour l'envoi d'un email ? Pour le streaming vidéo (Netflix) ? Et pour les jeux en ligne ?

CHAPITRE 2

Signaux, topologies et classifications des réseaux

OBJECTIFS DU CHAPITRE

À l'issue de ce chapitre, vous saurez :

- définir les notions de signal, de bruit et de canal
- distinguer un signal analogique d'un signal numérique
- citer les modes de transmission unicast, multicast et broadcast
- citer les principales topologies de réseau et leurs caractéristiques
- citer les classifications des réseaux de téléinformatique

2.1 Chaîne de transmission

Une chaîne de transmission est un ensemble d'éléments qui permettent de transmettre des données d'un émetteur à un récepteur. Elle se compose de trois éléments principaux : l'émetteur, le canal et le récepteur. Le signal est émis par l'émetteur, transmis par le canal et reçu par le récepteur. Le bruit peut altérer le signal lors de sa transmission, ce qui peut entraîner des erreurs de communication. Ce modèle fonctionne autant pour la téléinformatique que pour tout autre type de communication (orale, écrite, radio, etc.). Par exemple, dans le cadre d'une communication orale, l'émetteur est la personne qui parle, le canal est l'air et le récepteur est la personne qui écoute. Le bruit peut être un bruit de fond ou une mauvaise prononciation qui altère le message.

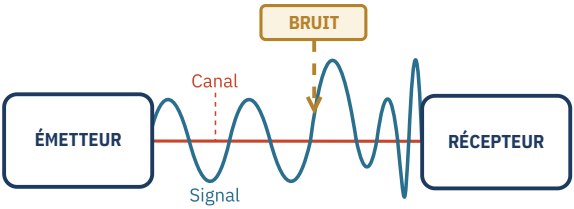


Fig. 2. – Illustration d'une chaîne de transmission. Le signal est émis par un émetteur, transmis par un canal et reçu par un récepteur. Le bruit peut altérer le signal lors de sa transmission, ce qui peut entraîner des erreurs de communication.

Dans le cadre de la téléinformatique, des mécanismes de correction d'erreurs sont mis en place pour détecter et corriger les erreurs de transmission. Ces mécanismes permettent d'assurer la fiabilité des communications, même en présence de bruit. Les différents types de médiums de transmission (câbles, fibres optiques, ondes radio, etc.) ont une sensibilité différente au bruit et aux interférences, ce qui peut influencer la qualité de la transmission.

EXERCICE 2.1 · IDENTIFIER LES ÉLÉMENTS D'UNE CHAÎNE DE TRANSMISSION

Pour le contexte ci-dessous, identifiez l'émetteur, le canal, le récepteur et les sources potentielles de bruit qui pourraient altérer le signal.

Alice envoie une lettre manuscrite à Bob. Le facteur transporte la lettre de la maison d'Alice à la maison de Bob. Pendant le transport, la lettre est exposée à des conditions météorologiques défavorables, comme la pluie et le vent, qui peuvent endommager le papier et rendre le texte illisible. De plus, il est possible que la lettre soit perdue ou volée pendant le transport.

2.2 Signal numérique et signal analogique

Il existe deux types de signaux : les signaux analogiques et les signaux numériques. Un signal analogique est un signal continu qui peut prendre une infinité de valeurs (Fig. 3), tandis qu'un signal numérique est un signal discret qui ne peut prendre qu'un nombre limité de valeurs (Fig. 4).

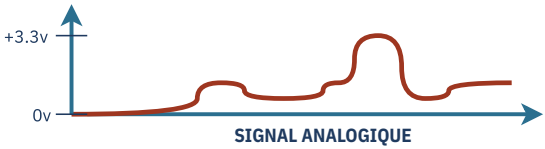


Fig. 3. – Illustration d'un signal analogique. Le signal analogique est continu et peut prendre une infinité de valeurs.

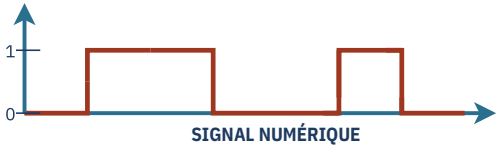


Fig. 4. – Illustration d'un signal numérique. Le signal numérique est discret et ne peut prendre qu'un nombre limité de valeurs.

Historiquement, les signaux analogiques étaient utilisés pour transmettre des informations, mais avec l'avènement de l'informatique et des technologies numériques, les signaux numériques sont devenus prédominants. Les signaux numériques présentent plusieurs avantages par rapport aux signaux analogiques, notamment une meilleure résistance au bruit et aux interférences.

ANECDOTE

Par abus de langage, le terme « numérique » est souvent remplacé par le terme « digital » en français. Cependant, ce terme est erroné car il signifie « relatif aux doigts » et n'a pas de rapport avec le traitement de l'information. Cette confusion est due à l'anglais, où le terme digital signifie « relatif aux chiffres » et est utilisé pour désigner les systèmes numériques.

EXERCICE 2.2 · ANALOGIQUE OU NUMÉRIQUE ?

Pour chaque élément ci-dessous, indiquez s'il s'agit d'un signal (ou support) analogique ou numérique.

A. La voix humaine se propageant dans l'air

B. Un fichier MP3

C. Un disque vinyle

D. Un SMS

E. La température affichée par un thermomètre à mercure

2.3 Modes de transmission

En télécommunication, la transmission peut se faire entre un émetteur et un ou plusieurs récepteurs. On distingue trois modes de transmission : le unicast, le multicast et le broadcast.

Le mode de transmission unicast (illustré par la Fig. 5) consiste à envoyer un signal d'un émetteur vers un récepteur unique. Ce mode est utilisé pour les communications directes entre deux appareils, comme dans le cas d'une conversation téléphonique ou d'une connexion Internet entre un ordinateur et un serveur.

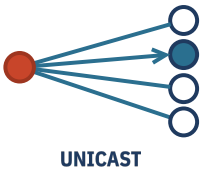


Fig. 5. – Illustration d'une transmission unicast. Le signal est envoyé d'un émetteur vers un récepteur unique.

Le mode de transmission multicast (illustré par la Fig. 6) consiste à envoyer un signal d'un émetteur vers un groupe de récepteurs. Ce mode est utilisé pour les communications de groupe, comme dans le cas d'une diffusion de vidéo en direct ou d'une conférence en ligne.

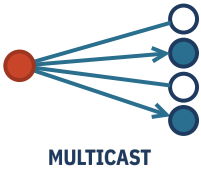


Fig. 6. – Illustration d'une transmission multicast. Le signal est envoyé d'un émetteur vers un groupe de récepteurs.

Le mode de transmission broadcast (illustré par la Fig. 7) consiste à envoyer un signal d'un émetteur vers tous les hôtes du domaine de diffusion (voir le chapitre *Accès au médium*). Il est utilisé pour transmettre des informations à tous les appareils d'un réseau, comme dans le cas d'une diffusion de messages ou d'annonces.

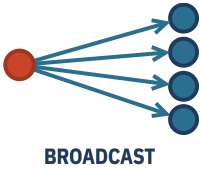


Fig. 7. – Illustration d'une transmission broadcast. Le signal est envoyé d'un émetteur vers tous les récepteurs du réseau.

EXERCICE 2.3 · IDENTIFIER LE MODE DE TRANSMISSION

Pour chaque situation, indiquez le mode de transmission : unicast, multicast ou broadcast.

A. Un appel vidéo entre deux personnes.

B. La transmission d'un flux vidéo en direct à un groupe d'abonnés.

C. Une annonce envoyée à tous les hôtes d'un réseau local.

D. Le téléchargement d'un fichier depuis un serveur.

2.4 Topologies de réseau

Un réseau peut prendre de nombreuses formes différentes, appelées topologies. Un certain nombre de topologies sont couramment utilisées dans les réseaux de téléinformatique, chacune ayant ses propres caractéristiques et avantages. Les principales topologies sont la topologie en bus, la topologie en anneau, la topologie en étoile, la topologie maillée et la topologie en arbre (ou hiérarchique). Chacune de ces topologies est décrite ci-dessous.

2.4.1 Topologie en bus

La topologie en bus est une topologie dans laquelle tous les périphériques du réseau sont connectés à un seul câble de transmission, comme illustré par la Fig. 8. Les données sont transmises le long du bus et chaque périphérique peut écouter les données qui passent. Cette topologie est simple à mettre en place et peu coûteuse, mais elle présente des limitations en termes de performance et de fiabilité. En effet, si le lien est coupé ou si le bus est endommagé, l'ensemble du réseau peut être affecté.

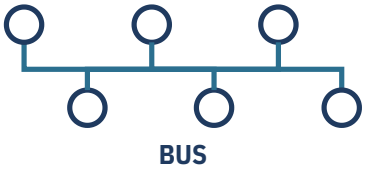


Fig. 8. – Illustration d'une topologie en bus. Chaque point représente un périphérique du réseau.

ANECDOTE

De nos jours, la topologie en bus n'est plus beaucoup utilisée à cause des nombreux défauts qu'elle présente. Dans les années 1980, une norme Ethernet appelée 10BASE5 avait pour principe d'utiliser une topologie en bus. Les périphériques se branchaient directement sur le câble du bus à l'aide de prises appelées « prises vampire » (Fig. 9). Ces prises étaient appelées ainsi car elles venaient s'accrocher au câble du bus comme un vampire s'accroche à sa victime.

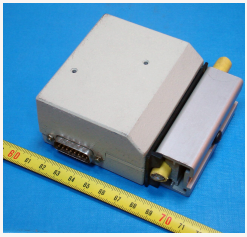


Fig. 9. – Illustration d'une prise vampire. Ces périphériques se branchaient directement sur le câble du bus.

2.4.2 Topologie en anneau

Dans la topologie en anneau, chaque périphérique est connecté à deux autres périphériques, formant ainsi un cercle. Les données circulent dans un seul sens autour de l'anneau, et chaque périphérique agit comme un répéteur, transmettant les données au périphérique suivant. Certaines implémentations avancées utilisent un double anneau avec circulation inverse pour assurer une redondance, mais cela augmente significativement la complexité et le coût. Dans un tel cas, la topologie supporte jusqu'à un lien coupé, mais pas deux.

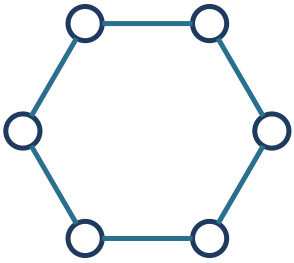


Fig. 10. – Illustration d'une topologie en anneau. Chaque point représente un périphérique du réseau.

La topologie en anneau fonctionne souvent avec un protocole de jeton, qui permet de réguler l'accès au réseau et d'éviter les collisions. Dans ce protocole, un jeton circule autour de l'anneau et seul le périphérique qui possède le jeton peut transmettre des données. Cela garantit que les données sont transmises de manière ordonnée et évite les conflits entre les périphériques.

2.4.3 Topologie en étoile

La topologie en étoile est la topologie la plus couramment utilisée dans les réseaux modernes. Dans cette topologie, tous les périphériques sont connectés à un périphérique d'interconnexion central. Si un lien tombe en panne, seul le périphérique concerné est affecté, et non l'ensemble du réseau. En revanche, le périphérique central représente un point de défaillance unique (« SPOF » pour « Single Point of Failure » en anglais). Si ce périphérique tombe en panne, l'ensemble du réseau est affecté. Cette topologie est facile à mettre en place et à maintenir, et elle offre de bonnes performances. Elle est parfois doublée (ou redondée) pour éviter le problème du SPOF, ce qui donne une étoile double (voir Fig. 11).

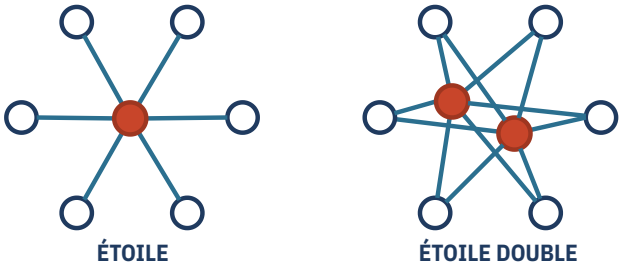


Fig. 11. – Illustration d'une topologie en étoile et d'une topologie en étoile double. Chaque point représente un périphérique du réseau.

2.4.4 Topologie maillée

La topologie maillée est la plus robuste de toutes les topologies, mais également la plus coûteuse. Dans cette topologie, chaque périphérique est connecté à tous les autres périphériques du réseau. Cela permet une redondance maximale, car si un périphérique tombe en panne, les données peuvent toujours circuler par d'autres chemins. Elle est généralement utilisée dans les réseaux de grande taille ou critiques, où la fiabilité est primordiale. Elle peut être complète (chaque périphérique est connecté à tous les autres) ou partielle (certains périphériques sont connectés à plusieurs autres, mais pas à tous), comme illustré par la Fig. 12. Internet est un exemple de réseau maillé partiel.

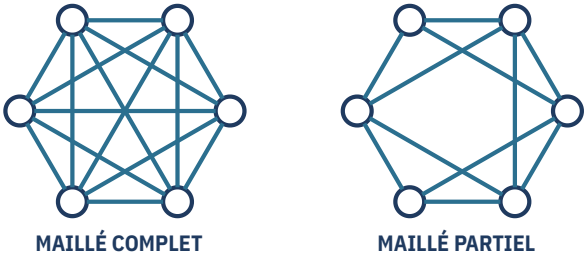


Fig. 12. – Illustration d'une topologie maillée. Chaque point représente un périphérique du réseau.

2.4.5 Topologie en arbre

La topologie en arbre (ou hiérarchique) est essentiellement un ensemble de topologies en étoile connectées entre elles, sous la forme d'une structure arborescente. Elle présente l'avantage de permettre une hiérarchisation des périphériques, ce qui facilite la gestion du réseau. Cependant, elle reste vulnérable aux pannes, car si un périphérique central tombe en panne, tous

les périphériques connectés à lui sont affectés. Cette topologie est souvent utilisée dans les réseaux d'entreprise ou les réseaux de campus.

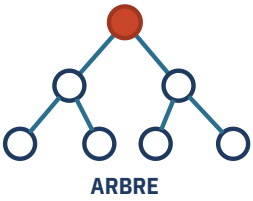


Fig. 13. – Illustration d'une topologie en arbre. Chaque point représente un périphérique du réseau.

2.4.6 Comparaison des topologies

Toutes les topologies ont leurs avantages et leurs inconvénients. Le Tableau 1 résume les principales caractéristiques de chaque topologie, en termes de coût, de fiabilité, de scalabilité (à quel point ce réseau peut être étendu facilement) et de difficulté de gestion.

Topo.	Avantages	Inconvénients	Exemples d'utilisation
Bus	Simple à mettre en place, peu coûteuse	Peu fiable, difficile à étendre	Anciens réseaux Ethernet (années 80-90)
Anneau	Accès déterministe, pas de collision (jeton)	Vulnérable aux pannes, complexe	Anciens réseaux Token Ring
Étoile	Facile à mettre en place et à maintenir, bonne performance	SPOF, nécessite un périphérique central	Réseaux locaux modernes
Maillée	Très robuste, redondance maximale	Coûteuse, complexe à mettre en place	Internet, réseaux critiques
Arbre	Hiérarchisation, facilité de gestion	La panne d'un nœud isole toute sa branche	Réseaux d'entreprise, réseaux de campus

Tableau 1. – Comparaison rapide des topologies principales

EXERCICE 2.4 · NOMBRE DE LIENS D'UN MAILLAGE COMPLET

A. Dans une topologie maillée complète de 6 périphériques, combien de liens sont nécessaires ?

B. Donnez la formule générale pour n périphériques.

C. Ce résultat explique l'un des inconvénients listés dans le Tableau 1. Lequel ?

2.5 Classification des réseaux

Un réseau est classé en fonction de sa taille. Les principales classes sont les réseaux locaux (LAN), les réseaux métropolitains (MAN) et les réseaux étendus (WAN). Le Tableau 2 présente les principales caractéristiques de chaque classe de réseau.

Classe	Nom complet	Portée (m)	Exemples d'utilisation
PAN	Personal Area Network	10^1	Bluetooth, casques audio, télécommandes
LAN	Local Area Network	10^3	Réseaux domestiques, réseaux d'entreprise
MAN	Metropolitan Area Network	10^4	Réseaux d'entreprise, réseaux de campus
WAN	Wide Area Network	10^6	Internet, réseaux interurbains
GAN	Global Area Network	10^7	Réseaux intercontinentaux, réseaux satellitaires

Tableau 2. – Classification des réseaux en fonction de leur taille

Un réseau local (LAN) est un réseau à l'échelle d'un bâtiment ou d'un site. Il couvre une zone géographique limitée et est généralement utilisé pour connecter des ordinateurs, des imprimantes et d'autres périphériques au sein d'une entreprise ou d'une maison. La gestion d'un LAN est souvent

privée et le débit de transmission est généralement élevé. Il existe une variante de LAN appelée WLAN (Wireless Local Area Network), qui utilise des technologies sans fil pour connecter les périphériques.

Un WAN est quant à lui à grande échelle, couvrant des zones géographiques étendues, comme des villes, des pays ou même des continents. Il est utilisé pour connecter plusieurs LAN entre eux et permet la communication entre des sites distants.

La Fig. 14 illustre les différences entre un réseau local (LAN) et un réseau étendu (WAN).

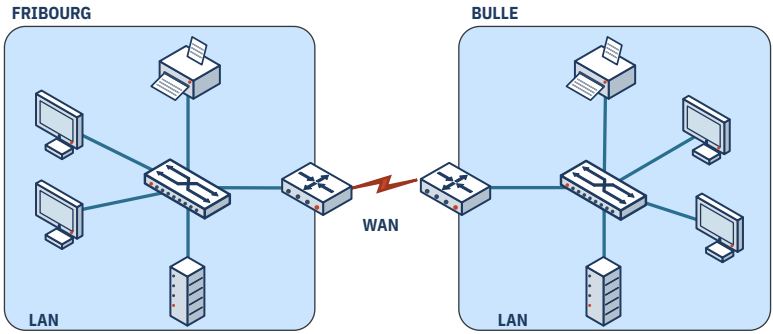


Fig. 14. – Illustration des différences entre un réseau local (LAN) et un réseau étendu (WAN). Dans cet exemple, une entreprise a un réseau local sur son site principal à Fribourg, et un autre réseau local sur son site secondaire à Bulle. Les deux sites sont connectés par un réseau étendu (WAN).

EXERCICE 2.5 · IDENTIFIER LA CLASSE DE RÉSEAU

Pour chaque exemple ci-dessous, identifiez la classe de réseau correspondante.

A. Un réseau domestique qui connecte plusieurs ordinateurs, smartphones et imprimantes dans une maison.

B. Un réseau d'entreprise qui connecte plusieurs bureaux dans une ville.

C. Une manette de jeu vidéo qui se connecte à la console de jeu via Bluetooth.

D. Le réseau de satellites de géolocalisation Galileo (« GPS » européen) qui permet la communication entre les satellites et les récepteurs sur Terre.

CHAPITRE 3

Binaire, hexadécimal et opérations logiques

OBJECTIFS DU CHAPITRE

À l'issue de ce chapitre, vous saurez :

- Définir les unités de mesure de l'information (bit, octet, kilo-octet, méga-octet, etc.)
- définir les systèmes de numération binaire et hexadécimal
- effectuer des conversions entre ces systèmes
- appliquer les opérations logiques de base (AND, OR, NOT, XOR)

Ce chapitre introduit les concepts fondamentaux de la logique binaire et des systèmes de numération utilisés en informatique et en téléinformatique. Il couvre les unités de mesure de l'information, les bases de la numération binaire et hexadécimale, ainsi que les opérations logiques de base qui sont essentielles pour la manipulation des données et la conception des circuits numériques. Il est important d'aborder ces concepts avant de plonger dans les protocoles de communication et les architectures réseau, car ils constituent le fondement de la compréhension des systèmes informatiques et des réseaux modernes.

3.1 Unités de mesure de l'information

Ce segment présente les unités de mesure de l'information, qui sont essentielles pour quantifier la taille des données et pour représenter une taille de stockage ou la quantité d'information transmise sur un réseau. Ces unités sont basées sur le bit, l'octet et leurs multiples.

3.1.1 Bit et octet

En informatique, l'information est mesurée en **bit** (pour binary digit), qui est l'unité de base. Un bit peut prendre deux valeurs : 0 ou 1. Cela est

lié à la nature binaire des systèmes informatiques, qui utilisent des états électriques (Off/On) pour représenter l'information.

Un ensemble de 8 bits constitue un **octet** (aussi appelé **byte** en anglais), qui est l'unité de mesure la plus couramment utilisée pour quantifier la taille des données.

> **APPROFONDISSEMENT** · Pourquoi 8 bits ?
>
> Pourquoi 8 bits ? Pourquoi pas 10 ? ou 100 ? La taille de 8 bits a été choisie pour des raisons historiques et pratiques. Elle permet de représenter 256 valeurs différentes (de 0 à 255), ce qui permet de coder un large éventail de caractères et de symboles, notamment dans les systèmes de codage comme ASCII; tout en restant suffisamment compacte pour être efficace en termes de stockage et de traitement.

Formellement, un byte n'est pas forcément égal à un octet, mais dans la pratique, ces deux termes sont souvent utilisés de manière interchangeable.

3.1.2 Ordres de grandeur

Les bits et les octets sont souvent regroupés en multiples pour représenter de plus grandes quantités d'information. Les multiples les plus courants sont le kilo-octet (Ko), le méga-octet (Mo), le giga-octet (Go), et ainsi de suite. Il est important de noter que ces multiples peuvent être basés sur des puissances de 10 ou de 2, ce qui peut prêter à confusion.

En suivant le système international d'unités (SI), les préfixes sont basés sur des puissances de 10 :

- 1 kilo-octet (Ko) = 1 000 octets
- 1 méga-octet (Mo) = 1 000 Ko = 1 000 000 octets
- 1 giga-octet (Go) = 1 000 Mo = 1 000 000 000 octets
- etc.

En revanche, on retrouve aussi des préfixes binaires, basés sur des puissances de 2 :

- 1 kibi-octet (Kio) = 1 024 octets
- 1 mébi-octet (Mio) = 1 024 Kio
- 1 gibi-octet (Gio) = 1 024 Mio

etc.

Il n'est pas rare de trouver les notations utilisant le **B** de **byte** pour les octets, et le **b** pour les bits, afin de distinguer clairement les deux unités.

3.1.3 Notations

Le Tableau 3 ci-dessous résume les principales unités de mesure de l'information, leurs symboles et leurs ordres de grandeur. Une « unité » peut être remplacée par un bit (**b**), un octet (**o**), ou un byte (**B**).

Unité	Symbole	Description	Ordre de grandeur
bit	**b**	unité fondamentale de l'information (0 ou 1)	
byte	**B**	8 bits	
octet	**o**	8 bits	
kilo	**k**	1 000 unités	10^3
méga	**M**	1 000 kilo	10^6
giga	**G**	1 000 méga	10^9
tera	**T**	1 000 giga	10^{12}
kibi	**Ki**	1 024 unités	2^{10}
mébi	**Mi**	1 024 kibi	2^{20}
gibi	**Gi**	1 024 mébi	2^{30}
tébi	**Ti**	1 024 gibi	2^{40}

Tableau 3. – Tableau des unités de mesure de l'information

EXERCICE 3.1 · CONVERSIONS

Convertir les quantités suivantes d'une unité à une autre:

A. 10 MB en Mb

B. 1000 kB en GB

C. 250 o en b

D. 1 Gb en GB

E. 500 ko en KiB

3.1.4 Débit

Un débit est la quantité d'information transmise par unité de temps. Il est généralement exprimé en bits par seconde (bit/s ou bps) ou en bytes par

seconde (B/s). Le débit peut varier en fonction de la technologie utilisée, de la qualité du canal de transmission et des protocoles de communication.

EXERCICE 3.2 · CALCUL DU TEMPS DE TÉLÉCHARGEMENT: MODEM 56K

Vous avez peut-être déjà entendu parler du modem 56k. Le « 56k » fait référence à un débit de 56 kilobits par seconde (kbps). En théorie, et avec une telle vitesse, combien de temps faudrait-il pour télécharger un PDF de 5 Mo ?

EXERCICE 3.3 · CALCUL DU TEMPS DE TÉLÉCHARGEMENT: FIBRE OPTIQUE

Une fibre optique peut offrir un débit de 1 Gbps. En théorie, combien de temps faudrait-il pour télécharger un PDF de 5 Mo ?

3.1.5 Latence

La latence est le temps nécessaire pour qu'un signal parcoure un canal de communication, de l'émetteur au récepteur. Elle est généralement mesurée en millisecondes (ms) et peut être influencée par divers facteurs tels que la distance, la qualité du canal, les protocoles utilisés et la congestion du réseau. Elle n'est pas à confondre avec le débit, qui mesure la quantité d'information transmise par unité de temps.

3.1.6 Résumé

Une quantité de données est mesurée en bits ou en octets, et peut être exprimée en multiples tels que kilo, méga, giga, etc. Le débit mesure la quantité d'information transmise par unité de temps, tandis que la latence mesure le temps nécessaire pour qu'un signal parcoure un canal de communication.

3.2 Représentation des nombres

Au cours de l'histoire, l'humanité a appris à compter et à représenter les nombres de différentes manières. Le système décimal est celui que nous utilisons le plus souvent dans la vie quotidienne. Pourquoi « décimal » ? Parce qu'il est basé sur 10 chiffres (0 à 9), probablement parce que nous avons 10 doigts.

Si on généralise, on parle de symbole à la place de chiffre, et de base à la place de dix. Ainsi, le système décimal est un système de base 10, utilisant

10 symboles (0 à 9). La position du symbole dans un nombre représente son poids, par rapport à la base. Le symbole le plus à droite a un poids de 1 (10^0), le suivant a un poids de 10 (10^1), puis 100 (10^2), et ainsi de suite. Par exemple, le nombre 305 en base 10 peut être décomposé comme ceci :

$$305 = 3 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 5 \times 10^0 = 300 + 0 + 5$$

ASTUCE

Si nous avons n positions à disposition pour représenter un nombre en base b, le nombre maximum que nous pouvons représenter est $b^n - 1$. Par exemple, avec 3 positions en base 10, le nombre maximum est $10^3 - 1 = 999$.

3.2.1 Binaire

Le binaire fonctionne de la même manière que le décimal, mais la base est **2**, et le nombre de symboles est également 2 : `0` et `1`. Chaque position dans un nombre binaire représente une puissance de 2, à partir de la droite.

Par exemple, le nombre binaire `1011` peut être décomposé comme ceci :

$$1011_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 8 + 0 + 2 + 1 = 11_{10}$$

REMARQUE

Comment savoir si 101 est écrit en binaire ou en décimal ? 101 pourrait représenter le nombre cent un en décimal, ou le nombre cinq en binaire. Pour lever l'ambiguïté, on peut ajouter un indice à la base : 101_{10} pour le décimal, 101_2 pour le binaire ou encore 101_{16} pour l'hexadécimal. On peut aussi utiliser des préfixes (typiquement utilisé dans les langages de programmation) : 0b101 pour le binaire, 0x101 pour l'hexadécimal, et rien pour le décimal.

EXERCICE 3.4 · CONVERSION DE LA BASE 2 À LA BASE 10

Convertir les nombres suivants de la base 2 à la base 10:

A. 1011_2

B. 1101_2

C. 10010_2

D. 111111_2

ASTUCE
Apprenez par coeur les puissances de 2 de 2^0 à 2^{16}, elles vous serviront tout au long de votre vie professionnelle ! La suite est 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192, 16384, 32768, 65536.

EXERCICE 3.5 · VALEURS MAXIMALES SUR n BITS

A. Quelle est la plus grande valeur représentable sur 8 bits ? Sur 16 bits ?

B. Combien de bits faut-il au minimum pour représenter le nombre 1000 ?

3.2.2 Hexadécimal

La base 16, appelée **hexadécimal**, utilise 16 symboles : les chiffres de 0 à 9 et les lettres de A à F (ou a à f) pour représenter les valeurs de 10 à 15. Elle est souvent utilisée en informatique pour représenter des valeurs binaires de manière plus compacte, car chaque chiffre hexadécimal correspond à 4 bits (un **nibble**). Voici un exemple de nombre hexadécimal et sa décomposition mathématique :

$$2F_{16} = 2 \times 16^1 + F \times 16^0 = 2 \times 16 + 15 \times 1 = 32 + 15 = 47_{10}$$

La Tableau 4 montre les symboles hexadécimaux et leurs équivalents décimaux et binaires.

ASTUCE
Pour convertir un nombre hexadécimal en binaire, il suffit de remplacer chaque chiffre hexadécimal par son équivalent binaire à 4 bits. Par exemple, pour convertir le nombre hexadécimal `2F` en binaire, on remplace `2` par `0010` et `F` par `1111`, ce qui donne `00101111`.

Valeur hexadécimale	Valeur décimale	Valeur binaire
0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011

Valeur hexadécimale	Valeur décimale	Valeur binaire
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111
8	8	1000
9	9	1001
A	10	1010
B	11	1011
C	12	1100
D	13	1101
E	14	1110
F	15	1111

Tableau 4. – Tableau des symboles hexadécimaux et leurs équivalents décimaux et binaires

EXERCICE 3.6 · CONVERSION DE LA BASE 16 AUX BASES 10 ET 2

Convertir les nombres suivants de la base 16 aux bases 10 et 2:

A. $1\mathrm{A}_{16}$

B. FF_{16}

C. $2\mathrm{B}_{16}$

D. $\mathrm{C3}_{16}$

3.2.3 Conversion de la base 10 à la base 2 et 16

Convertir un nombre de base 2 ou 16 à la base 10 est assez intuitif, on fait la somme des produits de chaque chiffre par sa puissance de base. La conversion inverse, de la base 10 à la base 2 ou 16, est un peu plus complexe et nécessite l'utilisation de divisions successives.

La méthode générale pour convertir un nombre décimal en binaire ou hexadécimal est la suivante :

1. Trouver la plus grande puissance de la base cible (2 pour binaire, 16 pour hexadécimal) qui est inférieure ou égale au nombre décimal.
2. Soustraire cette puissance du nombre décimal et noter le chiffre correspondant (1 pour binaire, le chiffre hexadécimal pour hexadécimal).
3. Répéter le processus avec le reste jusqu'à ce que le reste soit zéro.

Comme en notation décimale, des zéros peuvent être ajoutés à gauche pour compléter le nombre à un certain nombre de bits ou de chiffres hexadécimaux, si nécessaire. Ils n'ont aucune valeur et ne changent pas le nombre représenté (ce qui n'est pas le cas pour les zéros à droite, qui eux, changent la valeur du nombre).

$00000010_2 = 10_2 = 2_{10} = 00000002_{10} = 2_{16} = 002_{16}$

ATTENTION

La représentation octale (base 8) est rarement utilisée dans la programmation moderne, bien qu'on la retrouve encore dans certaines configurations (comme les permissions Unix/Linux : chmod 755) et quelques langages hérités. Historiquement, plusieurs langages utilisaient le préfixe « 0 » seul pour désigner un nombre octal — ainsi, 010 correspondrait à 8 en décimal ($1 \times 8 + 0$), non 10. Cependant, cette notation pose des risques d'erreur : Python 3 exige désormais 0o10, JavaScript (ES6+) préfère aussi 0o au lieu du simple 0. Pour éviter toute ambigüité, privilégiez donc 0o quand vous écrivez littéraux octaux, et évitez de remplir arbitrairement des valeurs numériques de zéros à gauche, sauf si requis par un formatage spécifique.

EXEMPLE 3.1 · CONVERSION DE LA BASE 10 À LA BASE 2

Nous souhaitons convertir le nombre décimal 45 en binaire.

Premièrement on se pose la question « Quelle est la plus grande puissance de 2 qui entre entièrement dans 45 ? 64 est trop grand, 32 est parfait. Donc on note un 1 pour la puissance de 2^5 (32).

Pour l'instant nous avons : 1xxxx_2

Ensuite, on soustrait 32 de 45, ce qui nous laisse avec 13. La plus grande puissance de 2 qui entre dans 13 est 8 (2^3), donc on note un 1 pour la puissance de 2^3. La puissance entre 32 et 8 est 16 (2^4), qui ne rentre pas dans 13, donc on note un 0 pour la puissance de 2^4.

Nous avons maintenant : 101xx_2

On soustrait 8 de 13, ce qui nous laisse avec 5. La plus grande puissance de 2 qui entre dans 5 est 4 (2^2), donc on note un 1 pour la puissance de 2^2.

Nous avons maintenant : 1011x_2

On soustrait 4 de 5, ce qui nous laisse avec 1. La plus grande puissance de 2 qui entre dans 1 est 1 (2^0), donc on note un 1 pour la puissance de 2^0.

Il n'y a pas de reste, donc on arrête ici. Ainsi, le nombre binaire correspondant à 45 est 101101_2. On peut vérifier cela en calculant la valeur décimale de 101101_2 : $1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 32 + 0 + 8 + 4 + 0 + 1 = 45$.

EXERCICE 3.7 · CONVERSION DE LA BASE 10 AUX BASES 2 ET 16

Convertir les nombres décimaux suivants :

A. 100_{10} en binaire

B. 173_{10} en binaire

C. 255_{10} en binaire

D. 300_{10} en hexadécimal

E. 4096_{10} en hexadécimal

3.3 Opérations logiques

Un opérateur logique (ou porte logique) est un dispositif qui prend une ou plusieurs entrées binaires (0 ou 1) et produit une sortie binaire en fonction d'une règle logique spécifique. Les opérateurs logiques sont fondamentaux en informatique et en électronique numérique, car ils permettent de manipuler des données binaires et de prendre des décisions basées sur des conditions.

ANECDOTE · Porte logique dans Minecraft

Vous avez peut-être déjà joué à Minecraft, auquel cas vous connaissez sûrement la Redstone. Cet élément du jeu permet de créer des circuits logiques. La Fig. 15 montre un exemple de porte AND réalisée avec de la Redstone dans Minecraft. Les portes logiques dans le jeu fonctionnent de manière similaire à leurs homologues dans le monde réel, permettant aux joueurs de créer des mécanismes complexes et des systèmes automatisés.

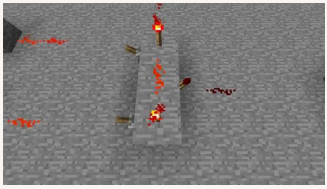


Fig. 15. – Porte AND dans Minecraft

L'ensemble des règles logiques qu'applique un opérateur logique peut être représenté sous forme de table de vérité. Une table de vérité énumère toutes les combinaisons possibles d'entrées et les sorties correspondantes pour un opérateur logique donné. Cela permet de visualiser et de comprendre le comportement de l'opérateur dans différentes situations. Dans ce document et dans le cours, nous nous concentrerons sur les quatre opérateurs logiques de base : AND, OR, NOT et XOR. Nous considérons le cas de deux entrées binaires, mais ces opérateurs peuvent être étendus à plus d'entrées si nécessaire (sauf pour NOT, qui n'a qu'une seule entrée, et le XOR, qui est souvent défini pour deux entrées).

3.3.1 Opérateur ET (AND)

L'opérateur logique ET (AND) nécessite que les deux entrées soient vraies (1) pour que la sortie soit vraie (1). Si l'une ou les deux entrées sont fausses

(0), la sortie sera fausse (0). La table de vérité pour l'opérateur AND est la suivante :

Entrée A	Entrée B	Sortie A AND B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tableau 5. – Table de vérité pour l'opérateur AND

L'opérateur AND est aussi appelé l'intersection logique, ou le produit logique. Il est noté `AND`, `·`, `&`, ou encore `∧` selon le contexte.

3.3.2 Opérateur OU (OR)

L'opérateur logique OU (OR) nécessite qu'au moins une des deux entrées soit vraie (1) pour que la sortie soit vraie (1). Si les deux entrées sont fausses (0), la sortie sera fausse (0). La table de vérité pour l'opérateur OR est la suivante :

Entrée A	Entrée B	Sortie A OR B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Tableau 6. – Table de vérité pour l'opérateur OR

L'opérateur OR est aussi appelé l'union logique, ou la somme logique. Il est noté `OR`, `+`, ou encore `∨` selon le contexte.

3.3.3 Opérateur NON (NOT)

L'opérateur logique NON (NOT) prend une seule entrée et inverse sa valeur. Si l'entrée est vraie (1), la sortie sera fausse (0), et si l'entrée est fausse (0), la sortie sera vraie (1). La table de vérité pour l'opérateur NOT est la suivante :

Entrée A	Sortie NOT A
0	1

Entrée A	Sortie NOT A
1	0

Tableau 7. – Table de vérité pour l'opérateur NOT

L'opérateur NOT est aussi appelé la négation logique, ou l'inverse logique. Il est noté `NOT`, `!`, ou encore `¬` selon le contexte. En algèbre booléenne, il est souvent représenté par une barre au-dessus de la variable (par exemple, $\overline{A}$ pour NOT A).

3.3.4 Opérateur OU exclusif (XOR)

L'opérateur logique OU exclusif (XOR) nécessite que les deux entrées soient différentes pour que la sortie soit vraie (1). Si les deux entrées sont identiques (les deux vraies ou les deux fausses), la sortie sera fausse (0). La table de vérité pour l'opérateur XOR est la suivante :

Entrée A	Entrée B	Sortie A XOR B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Tableau 8. – Table de vérité pour l'opérateur XOR

Le OU exclusif est noté `XOR`, `^`, ou encore `⊕` selon le contexte. Il est souvent utilisé dans les opérations de cryptographie.

APPROFONDISSEMENT · Autres portes logiques

D'autres portes logiques existent, comme NAND, NOR, XNOR, etc. Elles sont souvent utilisées dans la conception de circuits numériques et peuvent être combinées pour créer des fonctions logiques plus complexes. Elles ne sont pas abordées dans ce cours, mais vous pouvez les explorer si vous le souhaitez.

3.3.5 Opérations sur plusieurs bits

Il est possible d'appliquer un opérateur logique sur un ensemble de bits en appliquant l'opérateur sur chaque paire de bits correspondants. Par exemple, si nous avons deux mots binaires de 4 bits chacun :

$A = 1010_2, B = 1100_2$

$A \text{ AND } B = 1000_2$

On appelle souvent cet ensemble de bits un **mot binaire** (**machine word** ou simplement **word** en anglais). Les opérations logiques sur des mots binaires sont courantes en programmation basse niveau, notamment pour la manipulation de masques, le chiffrement simple, ou la compression de données.

REMARQUE

Opération bitwise: Ce terme technique décrit les opérations qui agissent bit par bit sur des mots entiers, plutôt que sur des nombres considérés comme des valeurs arithmétiques globales.

REMARQUE

La notion de **mot** dépend de l'architecture : sur un processeur 32 bits, un **word** correspond généralement à 32 bits et un **half-word** à 16 bits. Dans ces exemples, nous utiliserons des mots de 4 bits pour simplifier les calculs et les représentations.

EXERCICE 3.8 · OPÉRATEURS LOGIQUES FONDAMENTAUX

Appliquez les opérateurs logiques suivants. Calculez le résultat final pour chaque opération ci-dessous:

A. $0 \text{ AND } 1$

B. $1 \text{ XOR } 0$

C. $(0 \text{ AND } 1) \text{ OR } (1 \text{ XOR } 0)$

D. $1 \text{ AND } (0 \text{ OR } 1)$

E. $(1 \text{ XOR } 1) \text{ OR } (0 \text{ AND } 1)$

EXERCICE 3.9 · OPÉRATEURS LOGIQUES SUR DES MOTS BINAIRES

Appliquez les opérateurs logiques sur les mots binaires suivants. Calculez le résultat final pour chaque opération ci-dessous, avec $A = 1010_2$, $B = 1100_2$, et $C = 0110_2$:

A. A AND B

B. A XOR C

C. $(A$ OR $B)$ AND C

D. $(A$ XOR $B)$ OR $(B$ AND $C)$

E. $(A$ AND $C)$ XOR $(B$ OR $C)$

ASTUCE

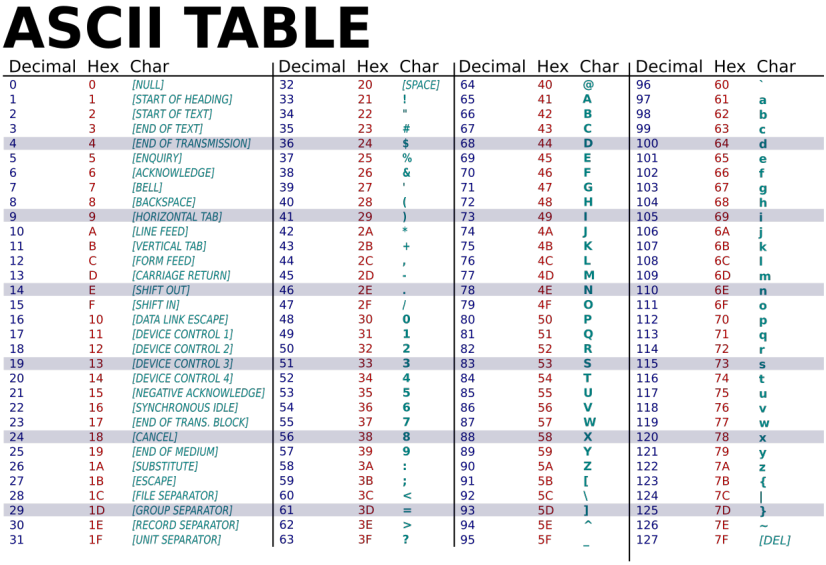
Pour mémoriser rapidement les tables de vérité, associez les opérateurs à leur nom français :

- ET (AND) demande que TOUT soit vrai: sortie 1 seulement si tout est 1
- OU (OR) accepte qu'UN SEUL soit vrai: sortie 0 seulement si tout est 0
- NON (NOT) est un simple inverseur
- XOR signifie « l'un ou l'autre mais pas les deux »: sortie 1 si différents

3.4 Encodage ASCII

L'informatique ne traite que des nombres binaires, mais nous avons besoin de représenter des caractères lisibles par l'homme. Comment faire cela ? C'est là qu'intervient l'encodage de caractères. L'un des encodages les plus connus est l'ASCII (American Standard Code for Information Interchange), qui a été développé dans les années 1960 pour standardiser la représentation des caractères dans les systèmes informatiques. Il utilise 7 bits pour représenter chaque caractère, permettant de coder 128 caractères différents, incluant les lettres majuscules et minuscules, les chiffres, la ponctuation et certains caractères de contrôle. Etant destiné à l'anglais, il ne contient pas de caractères accentués. L'ASCII étendu utilise 8 bits pour représenter 256 caractères, incluant des symboles supplémentaires et des caractères accentués pour certaines langues européennes. De nos jours, les encodages plus modernes comme UTF-8 sont largement utilisés, car ils permettent de représenter un plus grand nombre de caractères, y compris ceux des langues non latines.

En ASCII, chaque caractère est associé à un code numérique unique. Par exemple, le caractère “A” est représenté par le code 65 en décimal, ou 01000001 en binaire. La Fig. 16 montre la table ASCII sur 7 bits, avec les codes décimaux correspondants pour chaque caractère.



ASCII TABLE

Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char
0	0	[NULL]	32	20	[SPACE]	64	40	@	96	60	`
1	1	[START OF HEADING]	33	21	!	65	41	A	97	61	a
2	2	[START OF TEXT]	34	22	"	66	42	B	98	62	b
3	3	[END OF TEXT]	35	23	#	67	43	C	99	63	c
4	4	[END OF TRANSMISSION]	36	24	$	68	44	D	100	64	d
5	5	[ENQUIRY]	37	25	%	69	45	E	101	65	e
6	6	[ACKNOWLEDGE]	38	26	&	70	46	F	102	66	f
7	7	[BELL]	39	27	'	71	47	G	103	67	g
8	8	[BACKSPACE]	40	28	(	72	48	H	104	68	h
9	9	[HORIZONTAL TAB]	41	29	)	73	49	I	105	69	i
10	A	[LINE FEED]	42	2A	*	74	4A	J	106	6A	j
11	B	[VERTICAL TAB]	43	2B	+	75	4B	K	107	6B	k
12	C	[FORM FEED]	44	2C	,	76	4C	L	108	6C	l
13	D	[CARRIAGE RETURN]	45	2D	-	77	4D	M	109	6D	m
14	E	[SHIFT OUT]	46	2E	.	78	4E	N	110	6E	n
15	F	[SHIFT IN]	47	2F	/	79	4F	O	111	6F	o
16	10	[DATA LINK ESCAPE]	48	30	0	80	50	P	112	70	p
17	11	[DEVICE CONTROL 1]	49	31	1	81	51	Q	113	71	q
18	12	[DEVICE CONTROL 2]	50	32	2	82	52	R	114	72	r
19	13	[DEVICE CONTROL 3]	51	33	3	83	53	S	115	73	s
20	14	[DEVICE CONTROL 4]	52	34	4	84	54	T	116	74	t
21	15	[NEGATIVE ACKNOWLEDGE]	53	35	5	85	55	U	117	75	u
22	16	[SYNCHRONOUS IDLE]	54	36	6	86	56	V	118	76	v
23	17	[END OF TRANS. BLOCK]	55	37	7	87	57	W	119	77	w
24	18	[CANCEL]	56	38	8	88	58	X	120	78	x
25	19	[END OF MEDIUM]	57	39	9	89	59	Y	121	79	y
26	1A	[SUBSTITUTE]	58	3A	:	90	5A	Z	122	7A	z
27	1B	[ESCAPE]	59	3B	;	91	5B	[	123	7B	{
28	1C	[FILE SEPARATOR]	60	3C	<	92	5C	\	124	7C	|
29	1D	[GROUP SEPARATOR]	61	3D	=	93	5D	]	125	7D	}
30	1E	[RECORD SEPARATOR]	62	3E	>	94	5E	^	126	7E	~
31	1F	[UNIT SEPARATOR]	63	3F	?	95	5F	_	127	7F	[DEL]

Fig. 16. – Table ASCII, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ASCII-Table-wide.svg

EXERCICE 3.10 · DÉCODAGE D’UN MESSAGE BINAIRE EN ASCII

Décoder ce mystérieux message binaire, à l’aide de la table ASCII :

01000010 01110010 01100001 01110110 01101111 00100001

EXERCICE 3.11 · ENCODAGE D’UN MESSAGE EN ASCII

À l’aide de la table ASCII, encodez le message « Ok! » en binaire.

ANNEXE

Corrigés des exercices

Solutions de tous les exercices, classées par chapitre.

Chapitre 1 · Introduction à la téléinformatique

Exercice 1.1 · Chronologie de la téléinformatique

1. Télégraphe électrique (1837)
2. ARPANET (1969)
3. Adoption de TCP/IP (1983)
4. Le Web (1991)
5. iPhone (2007)

Exercice 1.2 · Nommer des périphériques

- Terminaux:
  - Ordinateur
  - Smartphone
  - Console de jeu
  - Smartwatch
  - Tablette
  - Caméra IP
  - Imprimante réseau
  - Capteur IoT
- Intermédiaires:
  - Routeur
  - Switch
  - Pare-feu (Firewall)
  - Point d'accès Wi-Fi
- Et bien d'autres !

Exercice 1.3 · Identifier les éléments d'un réseau

- Périphériques terminaux : la tablette d'Alice, le serveur de streaming
- Périphériques intermédiaires : le routeur de la maison (et tous les équipements de l'opérateur et d'Internet entre les deux)

- Médiums : les ondes radio (Wi-Fi) entre la tablette et le routeur, la fibre optique vers Internet
- Message : le flux vidéo

Exercice 1.4 · Fiabilité, débit et latence selon l'application

1. Pour un email, la **fiabilité** est primordiale : il est essentiel que le message arrive intact et complet.
2. Pour le streaming vidéo, le **débit** est crucial : une bande passante suffisante est nécessaire pour assurer une lecture fluide sans interruptions. La latence est également importante, mais moins critique que le débit pour ce type d'application, sauf si l'on parle de streaming en direct, où la latence peut affecter l'expérience utilisateur.
3. Pour les jeux en ligne, la **latence** est l'aspect le plus important : une faible latence (communément appelée « ping » dans le jargon des joueurs) est essentielle pour une expérience de jeu réactive et compétitive. Un débit suffisant est également nécessaire, mais la latence est souvent le facteur déterminant pour la jouabilité.

Chapitre 2 · Signaux, topologies et classifications des réseaux

Exercice 2.1 · Identifier les éléments d'une chaîne de transmission

- Émetteur : Alice
- Canal : Le facteur et le transport de la lettre
- Récepteur : Bob
- Sources potentielles de bruit : Conditions météorologiques défavorables (pluie, vent), mauvaise écriture d'Alice, etc.

Exercice 2.2 · Analogique ou numérique ?

- A. Analogique, la voix humaine est un signal continu qui peut prendre une infinité de valeurs.
- B. Numérique, un fichier MP3 est un signal discret qui ne peut prendre qu'un nombre limité de valeurs. Dès le moment où il tient sur un ordinateur, il est numérique.
- C. Analogique, un disque vinyle est un support analogique qui reproduit un signal continu.
- D. Numérique, un SMS est un signal discret qui ne peut prendre qu'un nombre limité de valeurs.

- E. Analogique, la température affichée par un thermomètre à mercure est un signal continu qui peut prendre une infinité de valeurs.

Exercice 2.3 · Identifier le mode de transmission

- A. Unicast
- B. Multicast (seuls les abonnés qui regardent le flux reçoivent le signal)
- C. Broadcast
- D. Unicast

Exercice 2.4 · Nombre de liens d'un maillage complet

A. Chaque périphérique est relié aux 5 autres :

$$\frac{6 \times 5}{2} = 15 \text{ liens}$$

(on divise par 2 car chaque lien relie deux périphériques).

B.

$$\frac{n(n-1)}{2}$$

C. Le coût : le nombre de liens croît quadratiquement avec le nombre de périphériques, ce qui rend le maillage complet très coûteux à grande échelle. Par exemple, pour 100 périphériques, il faudrait déjà $\frac{100 \times 99}{2} = 4950$ liens.

Exercice 2.5 · Identifier la classe de réseau

A. LAN (Local Area Network) - Réseau domestique

B. MAN (Metropolitan Area Network) - Réseau d'entreprise dans une ville

C. PAN (Personal Area Network) - Connexion Bluetooth entre la manette et la console

D. GAN (Global Area Network) - Les satellites Galileo permettent la communication à l'échelle mondiale

Chapitre 3 · Binaire, hexadécimal et opérations logiques

Exercice 3.1 · Conversions

A. Comme 1 « B » = 8 « b » :

$$10 \text{ MB} = 10 \times 8 \text{ Mb} = 80 \text{ Mb}$$

B. Comme 1000 « kB » = 1 « MB » et 1000 « MB » = 1 « GB » :

$$1000 \text{ kB} = 1 \text{ MB} = \frac{1}{1000} \text{ GB} = 0.001 \text{ GB}$$

C. Comme 1 « o » = 8 « b » :

$$250 \text{ o} = 250 \times 8 \text{ b} = 2000 \text{ b}$$

D. Comme 1 « Gb » = 1/8 « GB » :

$$1 \text{ Gb} = \frac{1}{8} \text{ GB} = 0.125 \text{ GB}$$

E. Ici on passe d'une unité en base 10 (ko) à une unité en base 2 (KiB). Comme 1 « ko » = 1000 « o » et 1 « KiB » = 1024 « o » :

$$500 \text{ ko} = 500 \times 1000 \text{ o} = 500000 \text{ o}$$

$$500000 \text{ o} = \frac{500000}{1024} \text{ KiB} \approx 488.28 \text{ KiB}$$

Exercice 3.2 · Calcul du temps de téléchargement: modem 56k

Tout d'abord, convertissons 5 Mo en bits. Comme 1 Mo = 8 Mb (mégaoctets en mégabits) :

$$5 \text{ Mo} = 5 \times 8 \text{ Mb} = 40 \text{ Mb}$$

Ensuite, convertissons les mégabits en kilobits :

$$40 \text{ Mb} = 40 \times 1000 \text{ kb} = 40000 \text{ kb}$$

Maintenant, avec un débit de 56 kbps, le temps nécessaire pour télécharger le fichier est :

$$t = \frac{40000 \text{ kb}}{56 \text{ kb/s}} \approx 714.29 \text{ s}$$

Convertissons les secondes en minutes :

$$t \approx \frac{714.29}{60} \approx 11.9 \text{ minutes}$$

Donc, il faudrait environ 12 minutes pour télécharger un PDF de 5 Mo à un débit de 56 kbps ! Rien que ça.

Exercice 3.3 · Calcul du temps de téléchargement: fibre optique

Tout d'abord, convertissons 5 Mo en bits. Comme 1 Mo = 8 Mb (mégaoctets en mégabits) :

$$5 \text{ Mo} = 5 \times 8 \text{ Mb} = 40 \text{ Mb}$$

Ensuite, convertissons les mégabits en gigabits :

$$40\ \text{Mb} = \frac{40}{1000}\ \text{Gb} = 0.04\ \text{Gb}$$

Maintenant, avec un débit de 1 Gbps, le temps nécessaire pour télécharger le fichier est :

$$t = \frac{0.04\ \text{Gb}}{1\ \text{Gb/s}} = 0.04\ \text{s}$$

Donc, il faudrait environ 0.04 secondes pour télécharger un PDF de 5 Mo à un débit de 1 Gbps ! C'est légèrement plus rapide que le modem 56k, n'est-ce pas ?

Exercice 3.4 · Conversion de la base 2 à la base 10

A. $1011_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 8 + 0 + 2 + 1 = 11_{10}$

B. $1101_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 8 + 4 + 0 + 1 = 13_{10}$

C. $10010_2 = 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 16 + 0 + 0 + 2 + 0 = 18_{10}$

D. $111111_2 = 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 32 + 16 + 8 + 4 + 2 + 1 = 63_{10}$

Exercice 3.5 · Valeurs maximales sur n bits

A. Sur n bits, la plus grande valeur représentable est $2^n - 1$: soit $2^8 - 1 = 255$ sur 8 bits et $2^{16} - 1 = 65535$ sur 16 bits.

B. Avec 9 bits, on peut représenter au maximum $2^9 - 1 = 511 < 1000$. Avec 10 bits, on monte à $2^{10} - 1 = 1023 \geq 1000$. Il faut donc 10 bits.

Exercice 3.6 · Conversion de la base 16 aux bases 10 et 2

A. $1\text{A}_{16} = 1 \times 16^1 + A \times 16^0 = 1 \times 16 + 10 \times 1 = 16 + 10 = 26_{10}$ En binaire : $1\text{A}_{16} = 00011010_2$

B. $\text{FF}_{16} = F \times 16^1 + F \times 16^0 = 15 \times 16 + 15 \times 1 = 240 + 15 = 255_{10}$ En binaire : $\text{FF}_{16} = 11111111_2$

C. $2\text{B}_{16} = 2 \times 16^1 + B \times 16^0 = 2 \times 16 + 11 \times 1 = 32 + 11 = 43_{10}$ En binaire : $2\text{B}_{16} = 00101011_2$

D. $\text{C3}_{16} = C \times 16^1 + 3 \times 16^0 = 12 \times 16 + 3 \times 1 = 192 + 3 = 195_{10}$ En binaire : $\text{C3}_{16} = 11000011_2$

Exercice 3.7 · Conversion de la base 10 aux bases 2 et 16

A. $100 = 64 + 32 + 4$, donc $100_{10} = 1100100_2$

B. $173 = 128 + 32 + 8 + 4 + 1$, donc $173_{10} = 10101101_2$

C. $255 = 128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 4 + 2 + 1$, donc $255_{10} = 11111111_2$ (la valeur maximale sur 8 bits !)

D. $300 = 1 \times 256 + 2 \times 16 + 12$, donc $300_{10} = 12\text{C}_{16}$

E. $4096 = 16^3$, donc $4096_{10} = 1000_{16}$

Exercice 3.8 · Opérateurs logiques fondamentaux

A. $0 \text{ AND } 1 = 0$

B. $1 \text{ XOR } 0 = 1$

C. D'abord, calculons les deux parties de l'expression :

- $0 \text{ AND } 1 = 0$
- $1 \text{ XOR } 0 = 1$

Ensuite, nous combinons les résultats avec l'opérateur OR :

- $0 \text{ OR } 1 = 1$

Le résultat final est donc 1.

D. D'abord, calculons la partie entre parenthèses :

- $0 \text{ OR } 1 = 1$

Ensuite, nous combinons le résultat avec l'opérateur AND :

- $1 \text{ AND } 1 = 1$

Le résultat final est donc 1.

E. D'abord, calculons les deux parties de l'expression :

- $1 \text{ XOR } 1 = 0$
- $0 \text{ AND } 1 = 0$

Ensuite, nous combinons les résultats avec l'opérateur OR :

- $0 \text{ OR } 0 = 0$

Le résultat final est donc 0.

Exercice 3.9 · Opérateurs logiques sur des mots binaires

A.

```
  1 0 1 0
AND 1 1 0 0
  ---------
  1 0 0 0
```

B.

```
   1 0 1 0
XOR 0 1 1 0
  ---------
   1 1 0 0
```

C. D'abord, calculons la partie entre parenthèses :

- A OR $B = 1110$

```
   1 0 1 0
OR 1 1 0 0
  ---------
   1 1 1 0
```

Ensuite, nous combinons le résultat avec l'opérateur AND :

- 1110 AND $C = 0110$

```
   1 1 1 0
AND 0 1 1 0
  ---------
   0 1 1 0
```

Le résultat final est donc 0110_2.

D. D'abord, calculons les deux parties de l'expression :

- A XOR $B = 0110$

```
   1 0 1 0
XOR 1 1 0 0
  ---------
   0 1 1 0
```

- B AND $C = 0100$

```
   1 1 0 0
AND 0 1 1 0
  ---------
   0 1 0 0
```

Ensuite, nous combinons les résultats avec l'opérateur OR :

- 0110 OR $0100 = 0110$

```
   0 1 1 0
OR 0 1 0 0
  ---------
   0 1 1 0
```

Le résultat final est donc 0110_2.

E. D'abord, calculons les deux parties de l'expression :

- $A \text{ AND } C = 0010$

```
  1 0 1 0
AND 0 1 1 0
  ---------
  0 0 1 0
```

- $B \text{ OR } C = 1110$

```
  1 1 0 0
OR 0 1 1 0
  ---------
  1 1 1 0
```

Ensuite, nous combinons les résultats avec l'opérateur XOR :

- $0010 \text{ XOR } 1110 = 1100$

```
   0 0 1 0
XOR 1 1 1 0
   ---------
   1 1 0 0
```

Le résultat final est donc 1100_2.

Exercice 3.10 · Décodage d'un message binaire en ASCII

B (0x42), r (0x72), a (0x61), v (0x76), o (0x6F), ! (0x21)

Bravo!

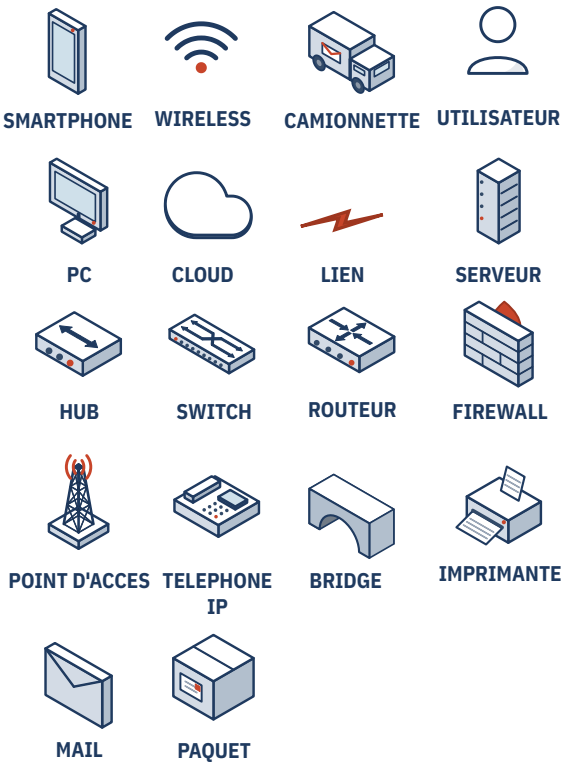
Exercice 3.11 · Encodage d'un message en ASCII

- O (79, 0x4F) : 01001111
- k (107, 0x6B) : 01101011
- ! (33, 0x21) : 00100001

Soit : 01001111 01101011 00100001

ANNEXE

Symboles réseau



ANNEXE

Glossaire

Termes et acronymes employés dans l'ouvrage, classés par ordre alphabétique.

A

ARP Address Resolution Protocol : protocole utilisé pour résoudre les adresses IP en adresses MAC sur un réseau local.

ASCII American Standard Code for Information Interchange : encodage de caractères sur 7 bits, permettant 128 caractères.

B

Bash Un shell populaire pour les systèmes Linux, qui offre des fonctionnalités avancées pour l'interprétation des commandes et la programmation de scripts.

Binaire Système de numération en base 2, utilisant les symboles 0 et 1.

Bit Binary digit : unité fondamentale de l'information, valant 0 ou 1.

Bitwise Se dit d'une opération logique appliquée bit par bit sur des mots binaires.

Bridge Pont : commutateur à deux ports reliant deux segments de réseau.

Broadcast Mode de transmission d'un émetteur vers tous les hôtes du domaine de diffusion.

Bruit Perturbation qui altère le signal pendant sa transmission et peut provoquer des erreurs de communication.

C

Canal Support par lequel le signal transite entre l'émetteur et le récepteur.

CRC Cyclic Redundancy Check : un algorithme utilisé pour détecter les erreurs de transmission dans une trame Ethernet.

CSMA/CA Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance : protocole d'accès au média utilisé dans les réseaux sans fil pour gérer l'accès au support physique partagé et éviter les collisions de données.

CSMA/CD Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection : protocole d'accès au média utilisé dans les réseaux Ethernet pour gérer l'accès au support physique partagé et détecter les collisions de données.

Câble coaxial Câble à conducteur central en cuivre entouré d'une tresse métallique, utilisé historiquement (10BASE2, 10BASE5, télévision par câble).

D

Débit Quantité d'information transmise par unité de temps, exprimée en bits par seconde.

Décapsulation Retrait, par chaque couche, de l'en-tête correspondant lors de la remontée du modèle en couches.

E

EMI ElectroMagnetic Interference : interférences électromagnétiques, auxquelles le cuivre est sensible, contrairement à la fibre optique.

En-tête (header) Informations de contrôle ajoutées par une couche devant les données ; la couche liaison de données ajoute aussi une queue (trailer).

Encapsulation Ajout, par chaque couche, d'un en-tête aux données reçues de la couche supérieure lors de la descente du modèle en couches.

EtherType Un champ de 2 octets dans l'en-tête d'une trame Ethernet de type II qui indique le protocole de la couche supérieure (L3, réseau) utilisé pour traiter les données contenues dans la trame.

F

FCS Frame Check Sequence : un champ de 4 octets dans une trame Ethernet utilisé pour détecter les erreurs de transmission.

Fibre monomode Fibre optique à un seul mode de propagation de la lumière, utilisée pour les longues distances.

Fibre multimode Fibre optique à plusieurs modes de propagation, utilisée pour les courtes distances (réseaux locaux, centres de données).

Fibre optique Médium transmettant les données par la lumière, offrant de très hauts débits et une très faible atténuation.

G

GAN Global Area Network : réseau à l'échelle mondiale, p. ex. réseaux satellitaires.

GNU Un projet de logiciels libres qui fournit de nombreux outils et utilitaires pour les systèmes d'exploitation de type Unix, souvent utilisés avec le noyau Linux.

H

Hexadécimal Système de numération en base 16, utilisant les symboles 0 à 9 et A à F.

Hub Concentrateur : équipement de couche 1 qui retransmet chaque signal reçu à tous les autres ports.

Hôte (host) Noeud d'un réseau, qu'il soit terminal (ordinateur, smartphone) ou intermédiaire (routeur, switch).

I

ICMP Internet Control Message Protocol : protocole de la couche réseau utilisé pour envoyer des messages de contrôle et de diagnostic, comme les messages d'erreur et les requêtes de ping.

ICMPv6 Internet Control Message Protocol version 6 : version d'ICMP utilisée dans les réseaux IPv6 pour envoyer des messages de contrôle et de diagnostic.

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers : organisme de normalisation, notamment des réseaux locaux (famille 802.x).

IETF Internet Engineering Task Force : organisme qui normalise les protocoles d'Internet à travers les RFC.

IoT Internet of Things : Internet des objets, désigne l'ensemble des objets connectés à Internet et capables de communiquer entre eux ou avec des serveurs.

IP Internet Protocol : protocole de la couche réseau responsable de l'adressage logique et du routage des paquets de données sur Internet.

IPv4 Internet Protocol version 4 : version du protocole IP utilisant des adresses sur 32 bits, permettant d'adresser environ 4,3 milliards d'hôtes.

IPv6 Internet Protocol version 6 : version du protocole IP utilisant des adresses sur 128 bits, permettant d'adresser un nombre quasi infini d'hôtes et de résoudre le problème de pénurie d'adresses IPv4.

ISO International Organization for Standardization : organisme international de normalisation, à l'origine du modèle OSI.

L

LAN Local Area Network : réseau local à l'échelle d'un bâtiment ou d'un site.

Latence Temps nécessaire à un signal pour parcourir le canal de l'émetteur au récepteur, généralement exprimé en millisecondes.

Linux Un système d'exploitation de type Unix, open-source et basé sur le noyau Linux. Il est utilisé sur une variété de dispositifs, allant des serveurs aux ordinateurs personnels et aux appareils embarqués.

M

MAC Media Access Control : sous-couche de la couche liaison de données responsable de la gestion des adresses physiques et de l'accès au support physique partagé.

MAN Metropolitan Area Network : réseau métropolitain à l'échelle d'une ville ou d'un campus.

MDI Medium Dependent Interface : câblage d'interface Ethernet des équipements terminaux et des routeurs.

MDIX MDI crossover : câblage d'interface inversé, utilisé par les switches et les hubs ; l'auto-MDI/MDIX rend le choix du câble droit ou croisé transparent.

MTU Maximum Transmission Unit : la taille maximale d'un paquet qui peut être transmis sur un réseau. Pour Ethernet, la MTU est généralement de 1500 octets, ce qui correspond à la taille maximale d'un payload de trame Ethernet II.

Multicast Mode de transmission d'un émetteur vers un groupe de récepteurs.

Médium Support de transmission (câble, fibre optique, ondes radio) permettant la circulation des données entre les périphériques.

N

NDP Neighbor Discovery Protocol : protocole utilisé dans les réseaux IPv6 pour la découverte des voisins et la résolution d'adresses, remplaçant ARP.

Nibble Groupe de 4 bits, correspondant à un chiffre hexadécimal.

O

Octet Groupe de 8 bits, unité usuelle de quantification des données (byte en anglais).

OSI Open Systems Interconnection : modèle de référence en sept couches pour la communication entre systèmes informatiques.

OSPF Open Shortest Path First : protocole de routage de la couche réseau utilisé pour échanger des informations de routage entre les périphériques d'un réseau, basé sur l'algorithme du plus court chemin.

OUI Organizationally Unique Identifier : les trois premiers octets d'une adresse MAC, identifiant le fabricant.

P

PAN Personal Area Network : réseau personnel de très courte portée (quelques mètres), p. ex. Bluetooth.

Pare-feu Firewall : équipement de sécurité filtrant le trafic réseau selon des règles prédéfinies (adresses IP, ports, voire contenu applicatif).

Passerelle (gateway) Équipement d'interconnexion entre réseaux ; désigne couramment le routeur de sortie d'un réseau local.

PDU Protocol Data Unit : unité de données utilisée par une couche du modèle OSI pour communiquer avec les autres couches.

Port Identifiant de la couche transport permettant de distinguer les applications s'exécutant sur un même hôte.

Protocole Ensemble de règles et de conventions régissant la communication entre les périphériques d'un réseau.

R

RFC Request for Comments : document publié par l'IETF définissant les protocoles et normes d'Internet.

RIP Routing Information Protocol : protocole de routage de la couche réseau utilisé pour échanger des informations de routage entre les périphériques d'un réseau.

RJ45 Connecteur standard des câbles à paires torsadées (nom technique : 8P8C).

Routeur Équipement de couches 1 à 3 qui achemine les paquets entre réseaux à l'aide d'une table de routage.

Réseau informatique Mise en relation d'au moins deux systèmes informatiques au moyen d'un médium de communication.

S

Shell Un programme qui interprète les commandes de l'utilisateur et les exécute. Il fournit une interface en ligne de commande pour interagir avec le système d'exploitation.

Signal Grandeur physique porteuse d'information, transmise d'un émetteur à un récepteur à travers un canal.

Signal analogique Signal continu pouvant prendre une infinité de valeurs.

Signal numérique Signal discret ne pouvant prendre qu'un nombre fini de valeurs.

SPOF Single Point of Failure : élément dont la panne entraîne l'arrêt de l'ensemble du système.

STP Shielded Twisted Pair : câble à paires torsadées blindées, plus résistant aux interférences.

Switch Commutateur : équipement de couches 1 et 2 qui commute les trames vers le port du destinataire grâce à sa table d'adresses MAC.

T

Table de routage Table utilisée par un routeur pour déterminer le chemin des paquets vers leur réseau de destination.

Table de vérité Tableau énumérant les sorties d'un opérateur logique pour toutes les combinaisons d'entrées possibles.

TCP Transmission Control Protocol : protocole de la couche transport assurant une communication fiable, orientée connexion, avec contrôle de flux et retransmission des segments perdus.

TCP/IP Transmission Control Protocol/Internet Protocol : ensemble de protocoles utilisés pour la communication sur Internet.

Topologie Forme d'organisation des liens d'un réseau : bus, anneau, étoile, maillée ou arbre.

Téléinformatique Association des techniques des télécommunications et de l'informatique pour réaliser l'échange de données à distance.

U

UDP User Datagram Protocol : protocole de la couche transport assurant une communication non fiable, sans connexion, avec un faible overhead et une faible latence.

Unicast Mode de transmission d'un émetteur vers un récepteur unique (point à point).

UTF-8 Encodage de caractères à longueur variable, compatible ASCII, couvrant l'ensemble des langues.

UTP Unshielded Twisted Pair : câble à paires torsadées non blindées.

W

WAN Wide Area Network : réseau étendu couvrant de grandes zones géographiques et interconnectant plusieurs LAN.

WLAN Wireless Local Area Network : réseau local utilisant des technologies sans fil.

ANNEXE

Bibliographie

[1] International Telecommunication Union, « Measuring Digital Development: Facts and Figures 2025 », technical report, 2025. Consulté le: 10 juillet 2026. [En ligne]. Disponible sur: https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/facts-figures-2025/

[2] C. Külling, G. Waller, L. Suter, I. Willemse, J. Bernath, et D. Süss, « JAMES — Jeunes, activités, médias : enquête Suisse 2024 », technical report, 2024. Consulté le: 10 juillet 2026. [En ligne]. Disponible sur: https://www.zhaw.ch/storage/psychologie/upload/forschung/medienpsychologie/james/2018/JAMES_2024_FR.pdf

[3] UNESCO, « Global Education Monitoring Report 2023. Technology in education: A tool on whose terms? », technical report, 2023. Consulté le: 10 juillet 2026. [En ligne]. Disponible sur: https://www.unesco.org/gem-report/en/technology

[4] G. Flodgren, A. Rachas, A. J. Farmer, M. Inzitari, et S. Shepperd, « Interactive telemedicine: effects on professional practice and health care outcomes », *Cochrane Database of Systematic Reviews*, nº 9, p. CD002098, 2015, doi: 10.1002/14651858.CD002098.pub2.

[5] Office fédéral de la statistique, « Enquête sur l'utilisation d'internet 2025 », technical report, 2025. Consulté le: 10 juillet 2026. [En ligne]. Disponible sur: https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/culture-medias-societe-information-sport/societe-information/indicateurs-generaux/menages-population/utilisation-internet.html

[6] International Energy Agency, « Energy and AI », technical report, 2025. Consulté le: 10 juillet 2026. [En ligne]. Disponible sur: https://www.iea.org/reports/energy-and-ai

[7] C. Freitag, M. Berners-Lee, K. Widdicks, B. Knowles, G. S. Blair, et A. Friday, « The real climate and transformative impact of ICT: A critique

of estimates, trends, and regulations », *Patterns*, vol. 2, nº 9, p. 100340, 2021, doi: 10.1016/j.patter.2021.100340.

[8] Cambridge Centre for Alternative Finance, « Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI) ». Consulté le: 10 juillet 2026. [En ligne]. Disponible sur: https://ccaf.io/cbnsi/cbeci

ANNEXE

Index

A
ARP —
ASCII 24

B
Bash —
Binaire 23
Bit 23
Bitwise 35
Bridge —
Broadcast 11
Bruit 11

C
Canal 11, 26
CRC —
CSMA/CA —
CSMA/CD —
Câble coaxial —

D
Débit 9, 21, 25
Décapsulation —

E
EMI —
En-tête (header) 20, 25
Encapsulation —
EtherType —

F
FCS —
Fibre monomode —
Fibre multimode —
Fibre optique 6, 26

G
GAN 20
GNU —

H
Hexadécimal 23
Hub —
Hôte (host) —

I
ICMP —
ICMPv6 —
IEEE —
IETF —
IoT 8
IP 4
IPv4 —
IPv6 —
ISO —

L
LAN 20
Latence 4, 26
Linux 30

M
MAC —
MAN 20
MDI —
MDIX —
MTU —
Multicast 11
Médium 6

N
NDP —
Nibble 28

O
Octet 23
OSI —
OSPF —
OUI —

P
PAN 20
Pare-feu 8
Passerelle (gateway) —
PDU —
Port —
Protocole 4, 17

R

RFC —
RIP —
RJ45 —
Routeur 7
Réseau informatique 6

S

Shell —
Signal 4, 11, 26
Signal analogique 11
Signal numérique 11
SPOF 18
STP —
Switch 7

T

Table de routage —
Table de vérité 32
TCP 4
TCP/IP 4
Topologie 16
Téléinformatique 1, 11, 23

U

UDP —
Unicast 11
UTF-8 37
UTP —

W

WAN 20
WLAN 21