

PROGRAMME IN INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

INSTITUT POLYTECHNIQUE DE PARIS
INGÉNIEURS INTERNATIONAL ADMISSION PROGRAMME

I. RADIO

I.1. Antenna principles.

- Radiating electric and magnetic fields (Maxwell equations).
- Characteristic parameters: gain, efficiency, radiating pattern, capture area, beamwidth.
- Free-space propagation path loss.
- Array antennas
- Link budget

I.2. Radiofrequency waveguide/Transmission line.

- Passive circuit
- Telegraphers equations
- Impedance of transmission line/Smith chart
- Waveguide propagation modes
- Bandwidth

I.3. Passive circuits.

- S parameters.
- 2 and 3 port junctions (filters, attenuators, etc.)
- 4 port junction (directional couplers)

I.4. Noise.

- Noise factor and temperature of noise
- Friis formula

I.5. Non linearity.

- 1dB compression point.
- 3rd order intercept point

II. OPTICS

II.1. Electromagnetic Optics.

- Electromagnetic theory of light
- Dielectric Media - Monochromatic electromagnetic waves
- Elementary electromagnetic waves
- Absorption and dispersion, the resonant medium
- Pulse propagation in dispersive media

II.2. Guided-wave optics.

- Planar dielectric waveguide
- Modal and waveguide dispersion in the planar waveguide

II.3. Optical fibers.

- Introduction: geometrical-optics description
- Wave propagation
- Dispersion and pulse propagation in single mode fibers
- Light absorption, scattering and attenuation in optical fiber
- Link budget optical power
- Bit-rate, dispersion, electrical and optical bandwidth
- Non-linear phenomena during propagation

II.4. Opto-electronic devices (Basics).

- Laser diodes and photo-diodes

II.5. Quantum Mechanics & Semiconductors.

- Schrödinger Equation, Stationary states
- Hilbert Space, Eigenvalues, & Operators
- Particle in a box, photon polarization
- Fermi-Dirac, Boltzmann distributions
- Band structures in semiconductors

III. ELECTRONICS**III.1. Digital electronics.**

- Representation of numbers: base conversions, arithmetic operations
- Combinatorial logic: elementary functions, truth tables, Karnaugh tables, circuits based on logic gates, CMOS logic gate schemes
- Propagation time in digital circuits
- Synchronous sequential logic
- State machines
- Programmable logic circuits: operating principle, general structure
- HDL languages: basics

III.2. Microcontrollers.

- Microcontroller and microprocessor: Basic features and components (processor, memory, input/output ports, digital-to-analog and analog-to-digital converters)

III.3. Analog and mixed-signal electronics.

- Basic components (resistor, capacitor, inductor, diode, switching transistor), instrumentation (power supply, functions generator, multimeter, oscilloscope)
- Laplace and Z-Transforms
- Discrete-time signal processing and switched capacitor circuits
- Elementary linear integrated circuits (amplifier, summing, integrator, comparators, astables, monostables, etc.).
- Filtering: elementary schemes

- Oscillation: linear integrated circuits based schemes
- Analog-to-digital converter and digital-to-analog conversion: principle and elementary schemes

IV. SIGNAL PROCESSING

IV.1. Continuous-Time Signals.

- Summable signals $L^1(\mathbb{R})$, square summable signals $L^2(\mathbb{R})$, energy
- Fourier transform $X(f) = \int_{\mathbb{R}} x(t)e^{-2i\pi ft} dt$ and properties
- Parseval-Plancherel formulas
- Convolution of functions $x \star y(t) = \int_{\mathbb{R}} x(u) y(t-u) du$ and properties

IV.2. Discrete-Time Signals.

- Summable sequences $\ell^1(\mathbb{Z})$, square summable sequences $\ell^2(\mathbb{Z})$, energy
- Discrete-time Fourier transform $X(f) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} x_n e^{-2i\pi fn}$ and properties
- z -transform $X(z) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} x_n z^{-n}$ and properties
- Discrete convolution $(x \star y)_n = \sum_{k \in \mathbb{Z}} x_k y_{n-k}$ and properties
- Periodic sequences and circular convolution
- Discrete Fourier transform $X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-2i\pi nk/N}$ and properties
- Parseval-Plancherel formulas

IV.3. Discrete-Time Random Signals.

- Strict and wide-sense stationary processes
- Mean, covariance, autocorrelation $\mathbb{E}[x_n x_{n-k}^*]$
- Power spectral density, white noise
- Filtering of wide-sense stationary signals

IV.4. Filters.

- Invariant linear systems (linear filtering), discrete and continuous
- Impulse response, frequency response
- Causality, stability. Low-pass, band-pass and high-pass filters
- Finite or infinite impulse response filters, recursive filters
- Input-output relation: Convolution and difference equations

IV.5. Sampling.

- Sampling period T and frequency $1/T$
- Rectangular function, cardinal sine function $\text{sinc}(x) = \frac{\sin \pi x}{\pi x}$
- Poisson formula $\sum_{k \in \mathbb{Z}} X(f - \frac{k}{T}) = T \sum_{k \in \mathbb{Z}} x(kT) e^{-2i\pi kfT}$, spectral aliasing
- Sampling theorem, Nyquist frequency
- Interpolation formula $x(t) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} x(kT) \text{sinc}(\frac{t-kT}{T})$

V. DIGITAL MODULATIONS

V.1. Linear Modulation.

- Additive white Gaussian noise (AWGN) channel
- Baseband linear modulation, transmitter and receiver
- Pulse-amplitude modulation (PAM) with $M = 2^m$ states (symbols)
- Bit rate D_b , symbol period (duration) T_s , bit period T_b
- Bennett's formula (modulated signal's power spectrum)
- Bandwidth B , spectral efficiency D_b/B , noise power N_0 in Watts/Hz.
- Transmitted and received average power, signal-to-noise ratio E_b/N_0

V.2. Demodulation and Performances.

- Intersymbol interference. Matched filter
- Nyquist filter, Nyquist criterion, square-root Nyquist filter
- Raised-cosine filter, root-raised-cosine filter, roll-off factor
- Maximum likelihood detection, threshold detection
- Q-function $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{+\infty} e^{-t^2/2} dt$
- Bit error rate, bit error probability P_{eb} , symbol error probability P_{es}
- Performance of binary modulation (2-PAM) $P_{eb} = Q(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}})$, of PAM
- Gain or loss in decibels, use with an error-correcting code (§ VII.2)

VI. INFORMATION THEORY

VI.1. Entropy and Information.

- (Discrete) entropy $H(X)$ expressed in bits
- Inequality $H(X) \leq \log_2 M$ for a M -ary variable, maximum entropy
- Binary entropy function $H_2(p) = p \log_2 \frac{1}{p} + (1-p) \log_2 \frac{1}{1-p}$
- Joint entropy $H(X, Y)$, conditional entropy $H(X|Y)$
- Mutual information $I(X; Y)$, independence characterization
- Fano inequality $H(X|Y) \leq H_2(P_e) + P_e \log_2(M-1)$ where $P_e = \mathbb{P}(X \neq Y)$
- Entropy of a discrete memoryless source

VI.2. Channel Capacity.

- Discrete memoryless channel, transition probabilities
- Binary symmetric channel BSC(p), binary erasure channel BEC(p)
- Capacity of a discrete memoryless channel, $C = \sup_{p_X} I(X; Y)$.
- Capacity of the BSC(p): $C = 1 - H_2(p)$, of the BEC(p): $C = 1 - p$
- Capacity of the AWGN channel $C = \frac{1}{2} \log_2(1 + \frac{P}{N})$

VII. SOURCE AND CHANNEL CODING

VII.1. Variable-Length Codes.

- Binary codes of variable lengths ℓ_1, \dots, ℓ_n , prefix condition
- Kraft-McMillan inequality $\sum_{i=1}^n 2^{-\ell_i} \leq 1$
- Huffman algorithm (binary case)
- Shannon's first theorem for lossless source coding

VII.2. Error-Correcting Codes.

- Communication chain: transmitter, channel, receiver
- Hamming distance $d_H(x, y)$, Hamming weight $w_H(x)$
- Block code $[n, k, d_{\min}]$: length n , dimension k , minimum distance d_{\min}
- Coding rate $R = k/n$
- Error correction and detection, correction and detection capabilities of a code
- Linear code over a finite field, dual code
- Parity-check code, repetition code, Hamming code
- Generator matrix \mathbf{G} , parity-check matrix \mathbf{H} , systematic forms
- Singleton bound $d_{\min} \leq n - k + 1$
- Decoding, decision regions, maximum likelihood, syndrome decoding
- Symbol and word error probabilities

VIII. COMPUTER SCIENCE

VIII.1. Programming languages.

- (+) Programming in C. Base types (`char`, `short`, `int`, `long`, `float`, `double`), number and data representations in memory (unsigned and two's-complement, characters using ASCII). Data structures (`struct` and `enum` keywords). Pointers (pointer manipulation, arrays, null-terminated strings). Functions in C (signature, return type). Basic constructs such as `if(cond) {} else {}`, `for(;;_)` {}, `while(cond) {}`. Library functions (`malloc`, `fopen`, `printf`, `fprintf` ...).
- 1.2 (++) Programming in Java (and object-oriented programming principles). Classes, methods, fields in the Java language, with public /private scope. Constructors (implicit and explicit) and object instantiation (`new` keyword). Principles of subtyping (`extends` keyword) and its impact on object instantiation, as well as field and method scopes. Exception mechanism (definition and usage - `throws`, `try` and `catch` keywords). Library functions (`System.out.println` ...).

VIII.2. General and Graph Algorithms.

- (+) Data structures (stack, queues, linked list). Operations on data structures (element insertion, membership test, element retrieval ...).
- (++) Recursive algorithms, and divide and conquer strategy to problem solving. Sorting algorithms (quick sort, fusion sort, heap sort, bubble sort, insertion sort). Sorting algorithm complexity (worst and average case). Data structures to store elements with ordering properties on insertion and retrieval (heap, balanced search trees, sorted queue), temporal complexity of insertion and retrieval operations.
- (+) Graph algorithms (undirected or directed). Graph, graph topology (degree, connectivity, paths). Shortest path algorithm.
- (+++) Spanning tree, minimal spanning tree, flow analyses in graphs.

VIII.3. Logics and Language Theory.

- (+) Propositional logic, satisfiability, and rewriting rules (negation/distribution over "or" and "and" operators, contraposition).
- (++) Predicate and first order logic. Quantifiers ("exists" \exists , and "forall" \forall), and rewriting rules for first order logic.

- (++) Language theory (regular languages). Regular expressions (language and syntax), finite state and alphabet automata.

VIII.4. Computing Platforms.

- (+) Operating systems (OS). Processes (and threads), basics of task scheduling, virtual memory and paging, basic file system concepts (directories, files, links, logical tree organization), protection (file permissions, user programs vs. OS kernel, system calls).
- (+) Computer hardware. Computer structure (CPU, bus, memory, registers, peripherals ...), instructions set architecture (ISA, fetch-execute-next cycle), source code vs. binary code (basic notions).
- (++) System programming. Process handling (`fork`, `exec`, `wait` system calls), critical sections and semaphores (initialization, P and V operations aka. `sem_init`, `sem_wait`, `sem_post`), pipes and redirection (Unix command line `|`, `<`, and `>`), file manipulation (`open`, `close`, `read`, `write` system calls).

IX. NETWORKS

IX.1. General basics.

- Actors, regulations, sources of standardization
- General knowledge of fixed, mobile and wireless networks: the different technologies, uses and limitations
- modulation, coding
- Transmission media and their properties: wired, wireless and topologies
- Bandwidth Sharing
- Transmission modes: packet/circuit, connected/without connection
- Notion of signalling
- OSI model
- Security: fundamental properties (confidentiality, integrity and availability), vocabulary (risk, threat, hazard, attack, intrusion, vulnerabilities...), cryptography (keys, algorithms). Concepts of virtual private networks, TLS, IPsec. Filtering

IX.2. Data networks.

- Local area networks: MAC layer, Ethernet, CSMA-CD, switched Ethernet, hubs, switches, spanning tree, VLANs
- Data link protocol and different ARQ strategies (Stop and Wait, Go back-N, selective repeat). Notion of anticipation window
- ALOHA/slotted ALOHA, CSMA-1 persistent, CSMA-p persistent ...
- WIFI and CSMA/CA
- Internet architecture, AS
- IPv4 and IPv6, IP addressing, concept of networks, ARP, DHCP, NDP, fragmentation, ICMP, DNS.
- Routing, static, dynamic, RIP, OSPF, introduction to BGP
- TCP, UDP

IX.3. Network Performance.

- Performance criteria
- Little's law, Chang-Lavenberg's relation, Pollaczek-Khinchine's formula
- Kendall's notation, queues M/M/1, M/M/1/N and PASTA property, M/M/C/C, M/G/I.
- Open and closed queueing networks

PROGRAMME EN TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DES COMMUNICATIONS

INSTITUT POLYTECHNIQUE DE PARIS
PROGRAMME INTERNATIONAL D'ADMISSION CYCLES INGÉNIEUR

I. RADIO

I.1. Principes des antennes.

- Champs rayonnants électriques et magnétiques (équations de Maxwell)
- Paramètres caractéristiques : gain, efficacité, diagramme de rayonnement, zone de capture, largeur de faisceau
- Perte de propagation sur trajet en espace libre
- Réseau d'antennes
- Budget de liaison

I.2. Guide d'onde radiofréquence/ligne de transmission.

- Circuit passif
- Équations des télégraphistes
- Impédance d'une ligne de transmission/abaque de Smith
- Modes de propagation des guides d'ondes
- Bande passante

I.3. Circuits passifs.

- Paramètres S
- Jonctions à 2 et 3 ports (filtres, atténuateurs, etc.)
- Jonction à 4 ports (coupleurs directionnels)

I.4. Bruit.

- Facteur de bruit et température de bruit
- Formule de Friis

I.5. Non linéarité.

- Point de compression à 1dB
- Point d'interception du 3ème ordre

II. OPTIQUE

II.1. Optique électromagnétique.

- Théorie électromagnétique de la lumière
- Diélectriques - Ondes électromagnétiques monochromatiques
- Les ondes électromagnétiques élémentaires
- Absorption et dispersion, le milieu de résonance
- Propagation des impulsions dans les milieux dispersifs

II.2. Guide d'onde optique.

- Guide d'onde diélectrique planaire
- Dispersion modale et de guide d'onde dans le guide d'onde planaire

II.3. Fibres optiques.

- Introduction : description de l'optique géométrique
- Propagation des ondes
- Dispersion et propagation d'impulsions dans les fibres monomodes
- Absorption, diffusion et atténuation de la lumière dans les fibres optiques
- Puissance optique du budget de liaison
- Débit binaire, dispersion, largeur de bande électrique et optique
- Phénomènes non linéaires lors de la propagation

II.4. Dispositifs optoélectroniques (Notions de base).

- diodes laser et photodiodes

II.5. Mécanique quantique et semiconducteurs.

- Équation de Schrödinger, États stationnaires
- Espace de Hilbert, valeurs propres, opérateurs
- Particule dans une boîte, polarisation des photons
- Distributions de Fermi-Dirac, Boltzmann
- Structures de bande dans les semi-conducteurs

III. ÉLECTRONIQUE

III.1. Électronique numérique.

- Représentation des nombres : conversion entre bases, opérations arithmétiques
- Logique combinatoire : fonctions élémentaires, tables de vérité, tableaux de Karnaugh, circuits à base de portes logiques, schémas de portes logiques en CMOS
- Temps de propagation dans les circuits numériques
- Logique séquentielle synchrone
- Machines à états
- Circuits logiques programmables : principe de fonctionnement, structure générale
- Langages HDL : notions de base

III.2. Microcontrôleurs.

- Micro-contrôleur et microprocesseur : Fonctionnalités et composants de base (processeur, mémoire, ports d'entrée-sortie, convertisseurs analogique-numérique et numérique-analogique)

III.3. Électronique analogique et mixte.

- Composants de base (résistance, capacité, inductance, diode, transistor en commutation), mise en œuvre de l'instrumentation de base (alimentation, générateur de fonctions, multimètre, oscilloscope)
- Transformée de Laplace et Transformée en Z
- Traitement temps discret et capacités commutées
- Montages élémentaires à base de circuits intégrés linéaires (amplificateur, sommateur, intégrateur, comparateurs, astables, monostables, etc.)
- Filtrage : circuits de base
- Oscillation : principe de fonctionnement et structures basées sur les circuits linéaires intégrés
- Conversions analogique-numérique et numérique-analogique : principe et montages élémentaires

IV. TRAITEMENT DU SIGNAL**IV.1. Signaux à temps continu.**

- Signaux sommables $L^1(\mathbb{R})$, de carré sommable $L^2(\mathbb{R})$, énergie
- Transformée de Fourier $X(f) = \int_{\mathbb{R}} x(t)e^{-2i\pi ft} dt$ et propriétés
- Formules de Parseval-Plancherel
- Convolution de fonctions $x \star y(t) = \int_{\mathbb{R}} x(u)y(t-u) du$ et propriétés

IV.2. Signaux à temps discret.

- Signaux sommables $\ell^1(\mathbb{Z})$, de carré sommable $\ell^2(\mathbb{Z})$, énergie
- Transformée de Fourier à temps discret $X(f) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} x_n e^{-2i\pi fn}$ et propriétés
- Transformée en z : $X(z) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} x_n z^{-n}$ et propriétés
- Convolution discrète $(x \star y)_n = \sum_{k \in \mathbb{Z}} x_k y_{n-k}$ et propriétés
- Signaux périodiques à temps discret et convolution circulaire (cyclique)
- Transformée de Fourier discrète $X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-2i\pi nk/N}$ et propriétés
- Formules de Parseval-Plancherel

IV.3. Signaux aléatoires temps discret.

- Processus stationnaires au sens large et au sens strict
- Moyenne, covariance, corrélation $\mathbb{E}[x_n x_{n-k}^*]$
- Densité spectrale de puissance, bruit blanc
- Filtrage de signaux stationnaires au sens large

IV.4. Filtres.

- Systèmes linéaires invariants (filtrage linéaire), cas discret et continu
- Réponse impulsionnelle, réponse fréquentielle (gain fréquentiel)
- Causalité, stabilité. Filtres passe-bas, passe-bande, passe-haut
- Filtres à réponse impulsionnelle finie ou infinie, filtres récursifs
- Relation entrée-sortie : convolution et équations de récurrence

IV.5. Échantillonnage.

- Période T et fréquence $1/T$ d'échantillonnage
- Fonction porte, sinus cardinal $\text{sinc}(x) = \frac{\sin \pi x}{\pi x}$
- Formule de Poisson $\sum_{k \in \mathbb{Z}} X(f - \frac{k}{T}) = T \sum_{k \in \mathbb{Z}} x(kT) e^{-2i\pi k f T}$, repliement spectral
- Théorème d'échantillonnage, fréquence de Nyquist
- Formule d'interpolation $x(t) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} x(kT) \text{sinc}(\frac{t-kT}{T})$

V. MODULATIONS NUMÉRIQUES**V.1. Modulation linéaire.**

- Bruit gaussien, canal gaussien (AWGN)
- Modulation linéaire en bande de base, émission et réception
- Modulation d'amplitude PAM à $M = 2^m$ états (symboles)
- Débit binaire D_b , temps symbole T_s , temps bit T_b
- Formule de Bennett (spectre du signal modulé)
- Largeur de bande B , efficacité spectrale D_b/B , puissance de bruit N_0 en Watts/Hz.
- Puissance moyenne émise et reçue, rapport signal à bruit E_b/N_0

V.2. Démodulation et performances.

- Interférence entre symboles. Filtre adapté
- Filtre de Nyquist, critère de Nyquist, filtre en racine de Nyquist
- Filtre en cosinus surélevé, en racine de cosinus surélevé, facteur de débordement
- Détecteur à maximum de vraisemblance, détecteur à seuil
- Fonction $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{+\infty} e^{-t^2/2} dt$
- Taux d'erreur binaire, probabilité d'erreur par bit P_{eb} , par symbole P_{es}
- Performance de la modulation binaire (2-PAM) $P_{eb} = Q(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}})$, de la PAM
- Gain ou perte en décibels, utilisation avec un code correcteur d'erreurs (§ VII.2)

VI. THÉORIE DE L'INFORMATION

VI.1. Entropie et information.

- Entropie (discrète) $H(X)$ exprimée en bits
- Inégalité $H(X) \leq \log_2 M$ pour une variable M -aire, maximum d'entropie
- Fonction d'entropie binaire $H_2(p) = p \log_2 \frac{1}{p} + (1-p) \log_2 \frac{1}{1-p}$
- Entropie conjointe $H(X, Y)$, entropie conditionnelle $H(X|Y)$
- Information mutuelle $I(X; Y)$, caractérisation de l'indépendance
- Inégalité de Fano $H(X|Y) \leq H_2(P_e) + P_e \log_2(M-1)$ où $P_e = \mathbb{P}(X \neq Y)$
- Entropie d'une source discrète sans mémoire

VI.2. Capacité de canaux.

- Canal discret sans mémoire, probabilités de transition
- Canal binaire symétrique BSC(p), canal binaire à effacement BEC(p)
- Capacité d'un canal discret sans mémoire, $C = \sup_{p_X} I(X; Y)$.
- Capacité du BSC(p) : $C = 1 - H_2(p)$, du BEC(p) : $C = 1 - p$
- Capacité du canal gaussien (AWGN) $C = \frac{1}{2} \log_2(1 + \frac{P}{N})$

VII. CODAGE DE SOURCE ET DE CANAL

VII.1. Codes à longueur variable.

- Codes binaires à longueur variable ℓ_1, \dots, ℓ_n , condition du préfixe
- Inégalité de Kraft-McMillan $\sum_{i=1}^n 2^{-\ell_i} \leq 1$
- Algorithme de Huffman (cas binaire)
- Premier théorème de Shannon pour le codage de source sans pertes

VII.2. Codes correcteurs d'erreurs.

- Chaîne de communication : émetteur, canal, récepteur
- Distance de Hamming $d_H(x, y)$, poids de Hamming $w_H(x)$
- Code en blocs $[n, k, d_{\min}]$: longueur n , dimension k , distance minimale d_{\min}
- Rendement $R = k/n$
- Correction et détection d'erreurs, capacité de correction et de détection d'un code
- Code linéaire sur un corps fini, code dual
- Code à parité, code à répétition, code de Hamming
- Matrice génératrice \mathbf{G} , matrice de contrôle de parité \mathbf{H} , formes systématiques
- Borne de Singleton $d_{\min} \leq n - k + 1$
- Décodage, régions de décision, maximum de vraisemblance, décodage par syndrome
- Probabilités d'erreur par symbole et par mot

VIII. INFORMATIQUE

VIII.1. Langages de programmation.

- (+) Programmation en C. Types de base (`char`, `short`, `int`, `long`, `float`, `double`), nombre et représentation des données en mémoire (nombres non-signés et complément à deux, encodage ASCII). Structure de données (mots clés `struct` et `enum`). Pointeurs (manipulation de pointeurs, tableaux, chaîne de caractères terminée par un 0). Fonctions en C (signature, type de retour). Construction de base comme `if(cond) {} else {}`, `for(;;_)` {}, `while(cond) {}`. Fonctions de librairie (`malloc`, `fopen`, `printf`, `fprintf` ...).
- (++) Programmation en Java (et principes de la programmation orientée objet). Classes, méthodes, champs dans le langage Java, avec les portées publics/privées. Constructeurs (implicite et explicite) et instantiation d'objets (mot clé `new`). Principe du sous-typage (mot clé `extends`) et son impact sur l'instanciation d'objets ainsi que sur la portée des méthodes et des champs. Mécanisme d'exception (définition et utilisation - mots clés `throws`, `try` et `catch`). Fonctions de librairie (`System.out.println`...).

VIII.2. Algorithmes généraux et de graphes.

- (+) Structures de données de base (piles, queues, listes chaînées). Opération sur ces structures de données (insertion, test de présence, recherche...).
- (++) Algorithmes récursifs et résolution de problèmes à l'aide de la stratégie diviser pour régner. Algorithmes de tri (tri rapide, tri fusion, tri par tas, tri à bulle, tri insertion). Complexité des algorithmes de tri (case moyen et pire cas). Structures de données pour stocker des éléments triés avec des propriétés d'ordres sur l'insertion et la recherche (tas, arbre binaire équilibré, queue triée), complexité des opérations d'insertion et de recherche.
- (+) Algorithmes de graphes (non dirigés ou dirigés). Topologie des graphes (degré, connectivité, chemin). Algorithme du plus court chemin.
- (+++) Arbre couvrant, arbre couvrant minimal, analyse de flots dans les graphes.

VIII.3. Logique et théorie des langages.

- (+) Logique propositionnelle, satisfaisabilité, et règles de réécritures (négation/distribution de l'opérateur "ou" sur l'opérateur "et", contraposition).
- (++) Prédicats et logique du premier ordre. Quantificateurs ("existe" \exists , et "pour tous" \forall), règles de réécritures pour la logique du premier ordre.
- (++) Théorie des langages (langages réguliers). Expressions régulières (langage et syntaxe), automate fini et alphabet.

VIII.4. Plate-forme de calcul.

- (+) Système d'exploitation. Processus (et threads), bases de l'ordonnancement de tâches, de la mémoire virtuelle et de la pagination, concepts de base des systèmes des fichiers (répertoires, fichiers, liens, organisation logique en arbre), protection (permission des fichiers, exécution en mode utilisateur versus noyau, appels système).

- (+) Architecture des ordinateurs. Structure d'un ordinateur (CPU, bus, mémoire, registres, périphériques...), jeu d'instructions (ISA, cycle d'exécution charge/exécute/suivant), code source vs code binaires (notions de base).
- (++) Programmation système. Gestion des processus (appels systèmes `fork`, `exec`, `wait`), sections critiques et sémaphores (initialisation, P et V, aka `sem_init`, `sem_wait`, `sem_post`), tubes et redirection (opérateurs `|`, `<`, et `>` en ligne de commande UNIX), manipulation de fichiers (appels systèmes `open`, `close`, `read`, `write`).

IX. RÉSEAUX

IX.1. Notions générales de base.

- Acteurs, réglementation, sources de normalisation
- Connaissance générale des réseaux fixes, mobiles et sans-fil : les différentes technologies, usages et limitations
- modulation, codage
- Supports de transmission et leurs propriétés : filaire, sans fil, topologies
- Partage de la bande
- Modes de transmission : paquet/circuit, connecté/sans connexion
- Notion de signalisation
- Modèle OSI
- Sécurité : propriétés fondamentales (confidentialité, intégrité et disponibilité), vocabulaire (risque, menace, aléa, attaque, intrusion, failles...), cryptographie (clefs, algorithmes). Notions de réseaux privés virtuels, TLS, IPSec. Filtrage

IX.2. Réseaux de données.

- Réseaux locaux : couche MAC, Ethernet, CSMA-CD, Ethernet commuté, hubs, commutateurs, spanning tree, VLANs
- Protocole de liaisons de données et différentes stratégies d'ARQ (Stop and Wait, Go back-N, selective repeat). Notion de fenêtre d'anticipation
- ALOHA/ALOHA slotté, CSMA-1 persistent, CSMA-p persistent...
- WIFI et CSMA/CA
- Architecture de l'Internet, AS
- IPv4 et IPv6, Adressage IP, notion de réseaux, ARP, DHCP, NDP, fragmentation, ICMP, DNS
- Routage, statique, dynamique, RIP, OSPF, introduction à BGP
- TCP, UDP

IX.3. Performances de réseaux.

- Critères de performances
- Loi de Little, Relation de Chang-Lavenberg, Formule de Pollaczek-Khinchine
- Notation de Kendall, files M/M/1, M/M/1/N et propriété PASTA, M/M/C/C, M/G/I
- Réseaux de files d'attente ouverts et fermés