

Introduction à l'informatique

pour les mathématiques, la physique et les sciences
computationnelles

Yann Thorimbert



**UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**

CENTRE UNIVERSITAIRE
D'INFORMATIQUE

Chapitre 1 - Origines des ordinateurs

Yann Thorimbert



**UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**

CENTRE UNIVERSITAIRE
D'INFORMATIQUE

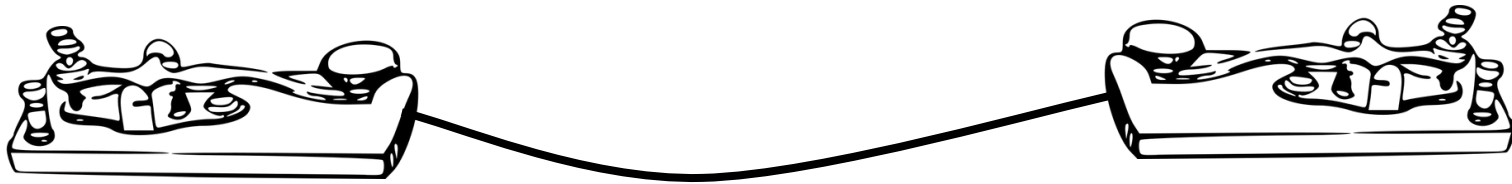
Un point de départ technologique pour les ordinateurs

- Le télégraphe électrique est le moyen de télécommunication le plus répandu jusqu'à la popularisation du téléphone.
- Exemple : code Morse.
(19^{ème} et 20^{ème} siècles)



Communications télégraphiques au dix-neuvième siècle

- Problème : affaiblissement du signal électrique.



- Solution ?

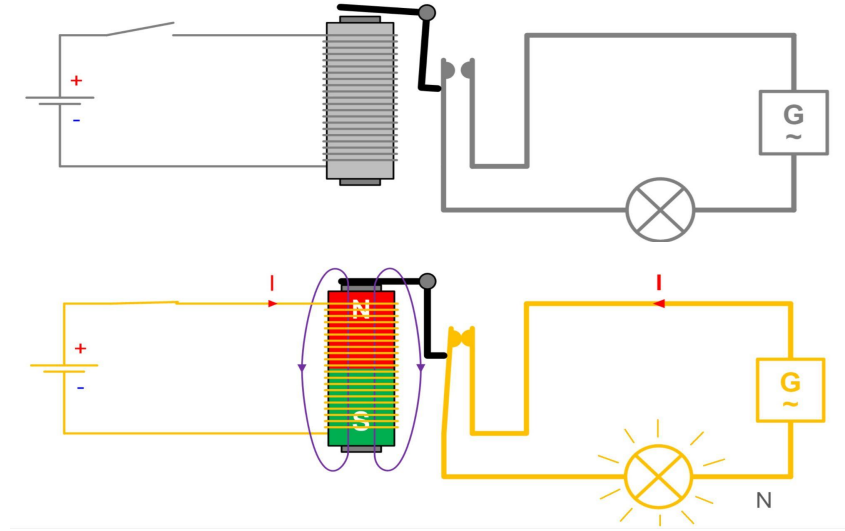
Communications télégraphiques au dix-neuvième siècle

- Problème : affaiblissement du signal électrique.
- Solution : établir des relais automatiques du signal, qui lui redonnent l'énergie nécessaire pour parvenir au prochain relais.



Relais électromécanique

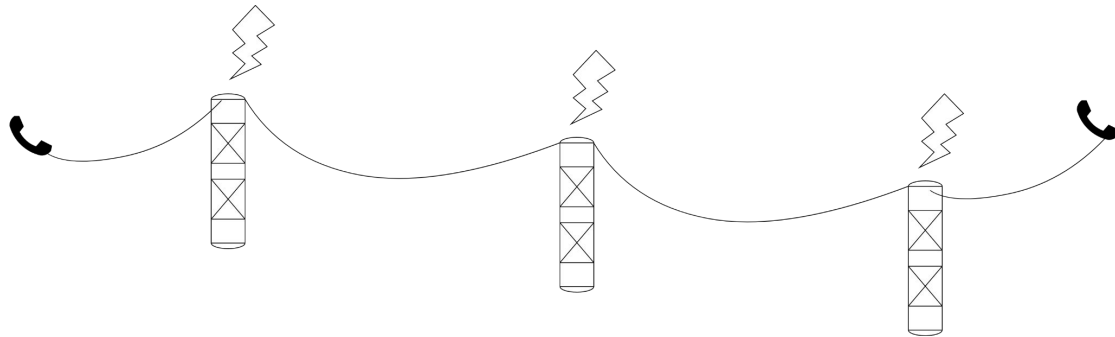
- Exploite le phénomène d'induction électromagnétique.
- Sorte d'**interrupteur automatique**.



Crédit : Cloullin

Relais électromécanique

- Satisfaisant pour la nature binaire du morse.
- Efficacité laissant à désirer lorsque appliqué au téléphone.



- Un nouveau type de relais sans pièce mouvante va faire son apparition...

Une observation anodine à propos des ampoules

- Principe : le filament chauffe tant qu'il en devient luminescent (effet Joule).
- Pour éviter la combustion de l'oxygène présent dans l'air, on fait le vide dans l'ampoule.
- Effet observé : le verre se décolore.

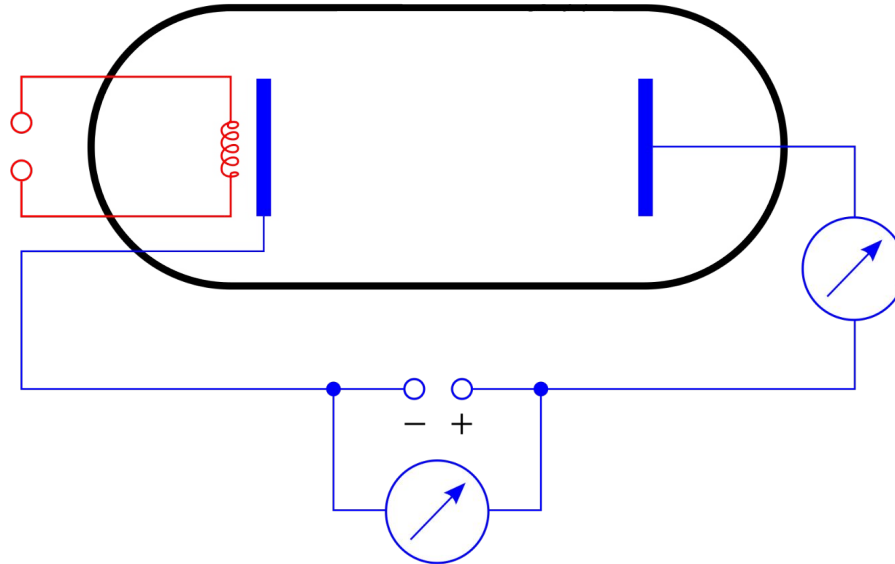


Tube à vide

- Pas de pièce mouvante.
- Exploite le mouvement des électrons.

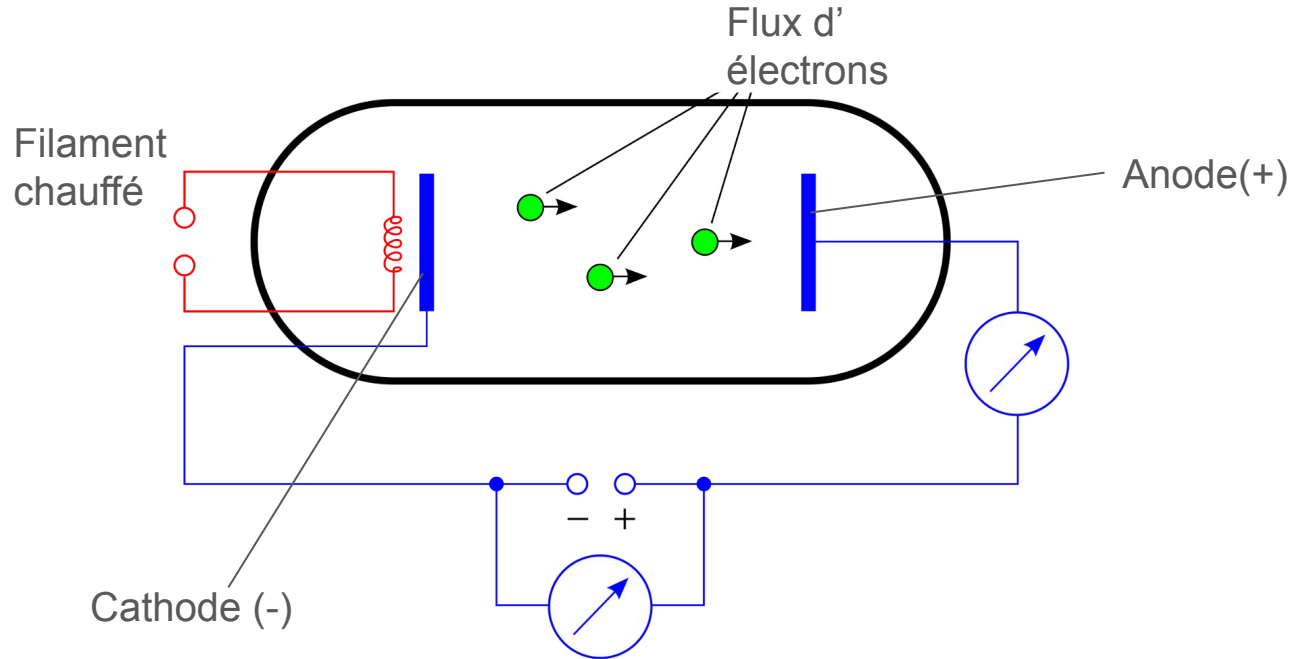


Tube à vide (tube électronique)



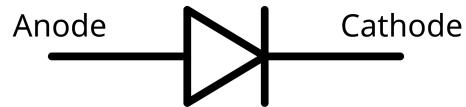
Tube à vide (tube électronique)

- Garantit un sens unique au courant : **diode**.



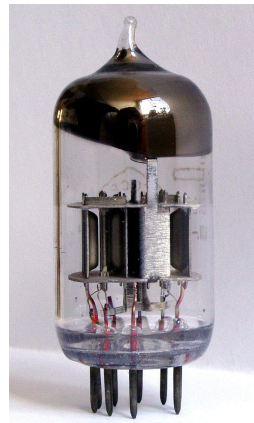
Diodes

- “Routes à sens unique pour électrons” (John Fleming, contributeur à l’invention).
- Très utilisées en électronique.



Triodes

- Ajout d'une **grille** entre l'anode et la cathode.
- On peut **contrôler** la charge de la grille et donc le flux d'électrons passant au travers.
- $\Rightarrow$ On peut **décider** si le relais laisse passer le courant ou non !



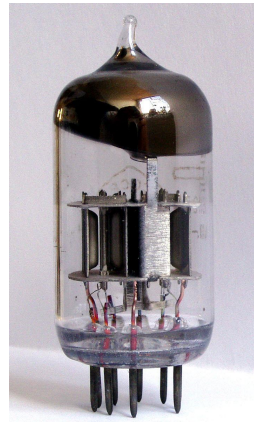
Triodes : première implication importante

- Utilisable comme interrupteur automatique comme les relais électromécaniques.
- Plus grande fréquence et plus robustes (car pas de pièce mobile).
- Permet un réseau téléphonique de grande envergure.



Triodes : seconde implication importante

- Permet de réaliser des **tables de vérité**.
- Table de vérité : résumant un raisonnement **logique**.
- Algèbre de Boole : Approche **algébrique** des propositions **logiques**.
(cf. chapitre sur les circuits logiques)



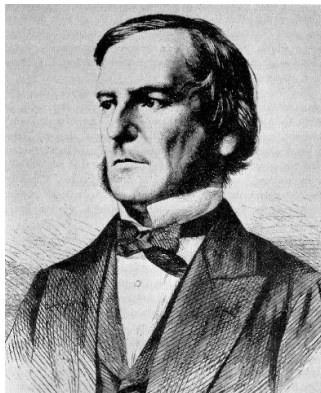
Triodes : l'implication qui nous intéresse

- Exemple de table de vérité pour la limitation de vitesse dans les localités en Suisse (où 1 = “oui”, 0 = “non”).

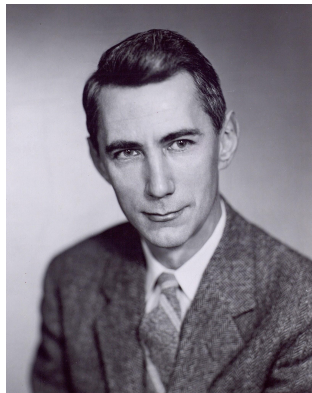
Roule à plus de 50 km/h	Est hors localité	Est en infraction
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	0

Triodes : l'implication qui nous intéresse

- Shannon : idée de circuits à relais électroniques qui “simulent” l’algèbre de Boole.
- Équivalence entre circuits à relais et tables de vérités (Shannon).
⇒ pont entre le “monde abstrait” des mathématiques et le “monde réel”.



George Boole



Claude Shannon

Triodes : l'implication qui nous intéresse

- Circuits logiques électroniques décrits par l'algèbre de Boole.
- On peut **déléguer à des machines des raisonnements logiques**, et non plus juste arithmétiques !
- À combiner grâce à des « recettes » nommées **algorithmes**.
- Un calculateur arithmétique ne peut être programmé pour implémenter un algorithme.

Les calculateurs arithmétiques anciens

- L'automatisation des calculs purement arithmétiques est ancienne.
- Premier calculateur mécanique : la Pascaline (1642).



Les calculateurs arithmétiques anciens

“Il est indigne des gens excellents de perdre des heures, comme des esclaves, dans le labeur de calculs qui pourraient être confiés à n’importe qui si des machines étaient utilisées.”
(traduction libre)

Leibniz, "Machina Arithmetica in qua non Aditio tantum Subtractio." Traduit par Mark Kormes, *A Source Book in Mathematics*, édité par David Eugene Smith, 1929, p. 181.

LEIBNIZ

181

Furthermore, although optical demonstration or astronomical observation or the composition of motions will bring us new figures, it will be easy for anyone to construct tables for himself so that he may conduct his investigations with little toil and with great accuracy; for it is known from the failures [of those] who attempted the quadrature of the circle that arithmetic is the surest custodian of geometrical exactness. Hence it will pay to undertake the work of extending as far as possible the major Pythagorean tables; the table of squares, cubes, and other powers; and the tables of combinations, variations, and progressions of all kinds, so as to facilitate the labor.

Also the astronomers surely will not have to continue to exercise the patience which is required for computation. It is this that deters them from computing or correcting tables, from the construction of Ephemerides, from working on hypotheses, and from discussions of observations with each other. For it is unworthy of excellent men to lose hours like slaves in the labor of calculation, which could be safely relegated to anyone else if the machine were used.

What I have said about the construction and future use [of the machine], should be sufficient, and I believe will become absolutely clear to the observers [when completed].

Comment appeler ces machines à raisonner ?

- Ces nouvelles machines sont **différentes des calculateurs**.
- Nous dirons d'une machine que c'est un **ordinateur à usage général** si elle peut être programmée pour réaliser tout algorithme, à supposer qu'elle ait assez de temps et de mémoire pour traiter les données sur lesquelles est appliqué l'algorithme.
- Ordinateur : néologisme français (1955) pour distinguer calculateur et machine à raisonnements logiques.
- **Informatique** : néologisme (fin années 1950) pour abréger « traitement automatique de l'information ».

Alan Turing

- Mathématicien ayant contribué à la formalisation des notions de calculabilité et de décidabilité, ainsi que d'algorithme et de programme.
- Propose une expérience de pensée aujourd'hui nommée *machine de Turing*.
- Travaux théoriques en cryptanalyse ayant contribué à certains succès dans le décodage des communications ennemies durant la seconde guerre mondiale.

Ordinateurs électroniques

- Une fusée à eau est-elle une fusée ? Réponse : oui, mais à eau.



- Un ordinateur électronique est un ordinateur qui utilise des composants électroniques.

Ordinateurs électroniques, quelques critères

Essentiel :

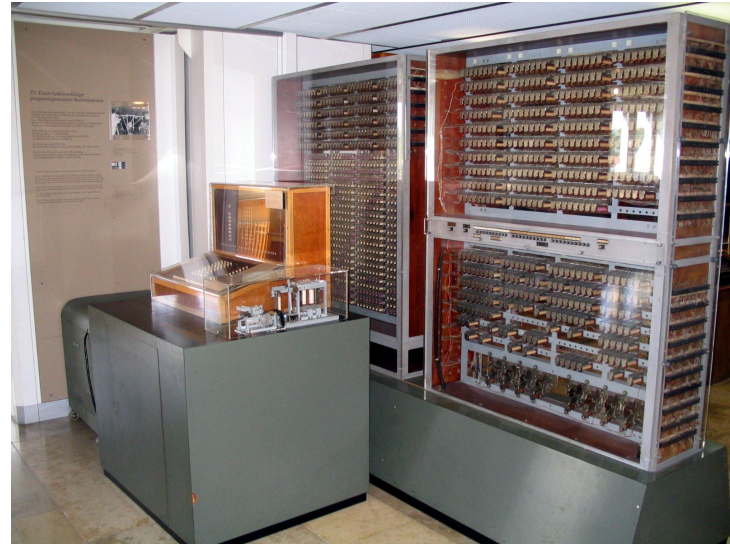
- La machine est-elle **programmable**, peut-on y implémenter tout algorithme ?
- La machine utilise-t-elle des **relais électroniques** ?

Accessoire :

- La machine travaille-t-elle en binaire ou dans une autre base ?

Premiers ordinateurs | Z3

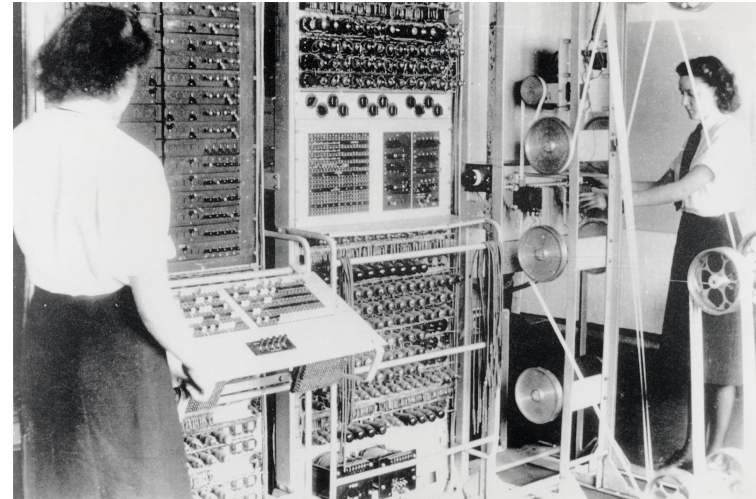
- Konrad Zuse (1941).
- Binaire.
- Environ 2000 relais **électromécaniques.** **X**
- Programmation par rubans perforés.
- Pas de conditions de branchement.
(if / else)



CC BY-SA 3.0 - Venusianer

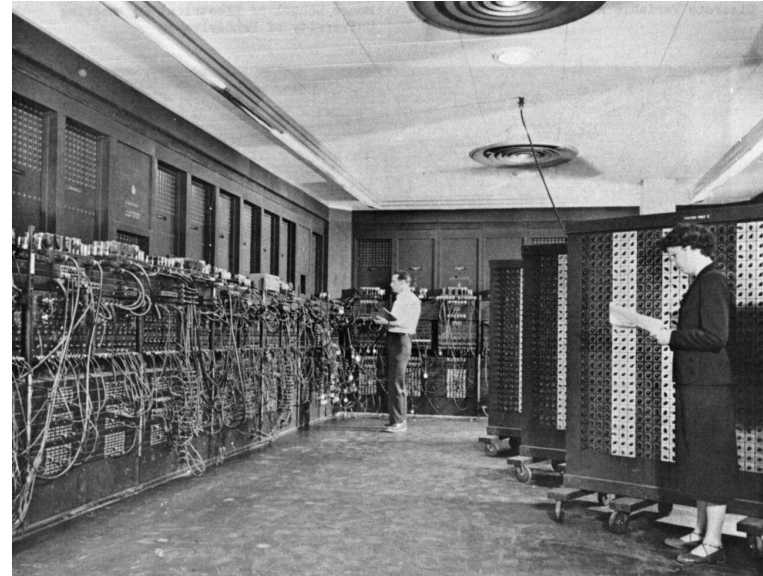
Premiers ordinateurs | Colossus Mk1

- Gouvernement britannique (1943).
- Binaire.
- Environ 2000 tubes à vide.
- Quelques milliers d'opérations binaires par seconde.
- Projet secret pour casser les codes Allemands durant la guerre.
- Programmation par recâblage.
- **Ne peut pas implémenter tout algorithme.**



Premiers ordinateurs | **ENIAC**

- Gouvernement des USA (1945).
- Décimal.
- Approx. 10'000 tubes à vide.
- Quelques milliers d'opérations décimales par seconde.
- Programmation par recâblage.
- Peut implémenter tout algorithme.



Et avant ça ? | **Métier Jacquard**

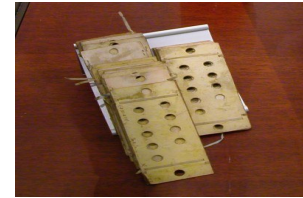
- Métier à tisser de 1801.
- Programmable par rubans perforés guidant les aiguilles aux bons endroits.
- Importance industrielle.
- Ne permet pas d'implémenter un raisonnement logique.



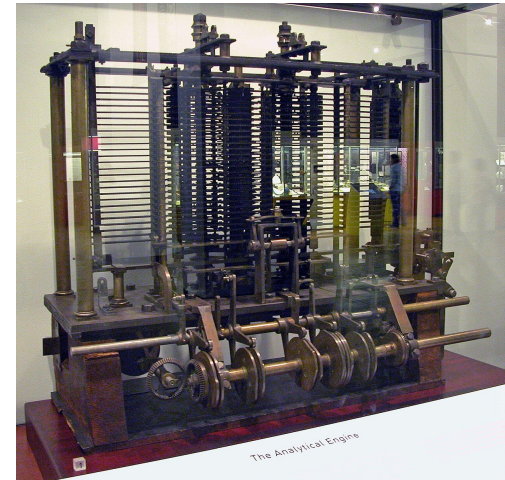
CC BY-SA 3.0 - David Monniaux

Et avant ça ? | **Analytical Engine**

- Imaginé par Charles Babbage (approx. 1820-1840).
- Idée : **combiner** les cartes perforées (programmation) avec un calculateur dans le but de **générer** des **tables de calcul**.
- À usage général.
- Nombres décimaux.
- Machine à vapeur.
- Jamais achevé.
- Ada Lovelace, première « programmeuse ».



CC BY-SA 2.0 - Karoly Lorentey



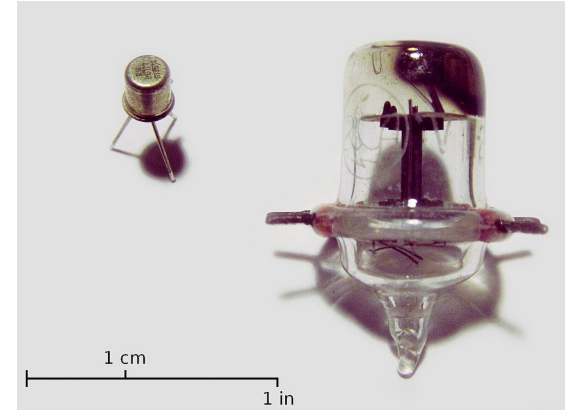
CC BY-SA 2.5 - Bruno Barral



Et après les ordinateurs à tubes à vide ?

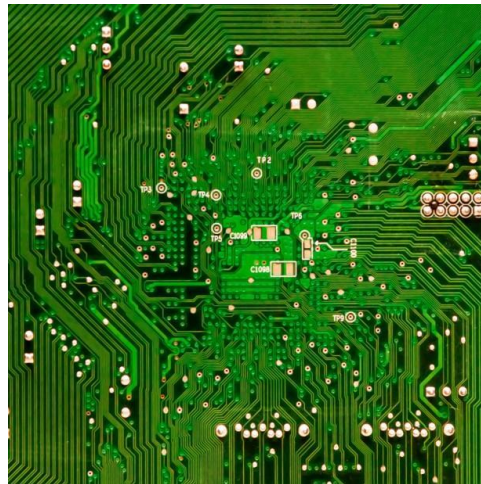
Et après les ordinateurs à tubes ? | Les transistors

- Remplacent petit à petit les tubes à vide à partir des années 50.
- Plus **petits**, plus **fiables**, plus **économiques**.
- « Robinets à électrons » au même titre que les triodes.
- Principe physique sous-jacent implique des matériaux **semiconducteurs**.
- Premier ordinateur entièrement à base de transistors en 1955 pour l'US Air Force.



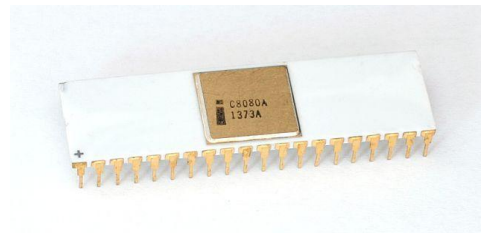
Et après ça ? | Transistors et circuits intégrés

- Transistors si miniaturisable que les câbles deviennent des **pistes** gravées sur une plaque isolante : c'est le **circuit intégré** (approx. 1960).
- Synonyme de **puce** électronique et de **chipset**.



Et après le circuit intégré ? | Microprocesseurs

- Jusque dans les années 1970, circuits intégrés sont à usage spécifique.
- Idée du microprocesseur : outil à **usage général**.
- Donne lieu aux **micro-ordinateurs**, à usage personnel.
L'ordinateur devient « courant » chez les particuliers.
- Les développements ultérieurs concernent essentiellement :
 - Les périphériques (technologies des écrans, des réseaux, des mémoires persistantes, ...)
 - Les technologies liées (batteries pour ordinateurs portables, ...)
 - La performance des ordinateurs et des mémoires.



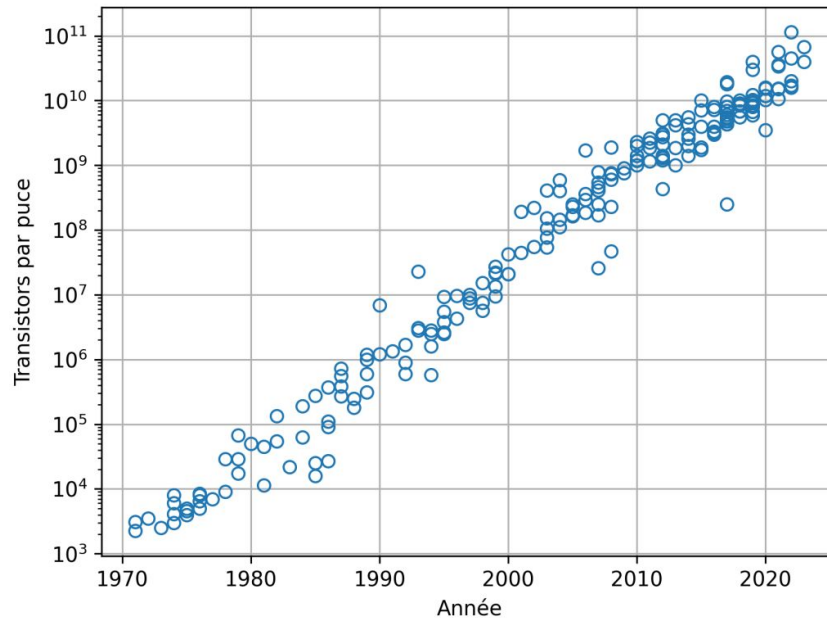
Intel 8080 (1974)

Pourquoi les transistors sont-ils si célèbres ?

- Performances et miniaturisation ont permis les ordinateurs tels que nous les connaissons :
 - Taille de l'ordre de la dizaine de nanomètres.
 - Des dizaines de milliards par microprocesseur (centaines de milliards si l'on inclut les éléments de mémoire)
- Ont autorisés d'autres applications, la plus célèbre étant des radios de bien meilleure facture.



Densité de transistors au sein des processeurs



Sondage | Combien d'ordinateurs possédez-vous ?

votamatic.unige.ch : PSFX

Rappel :

- Laptops
- Smartphones
- Ordinateurs de bureau
- Smartwatches
- TV boxes
- Calculatrice programmable
- Console de jeux
- ...



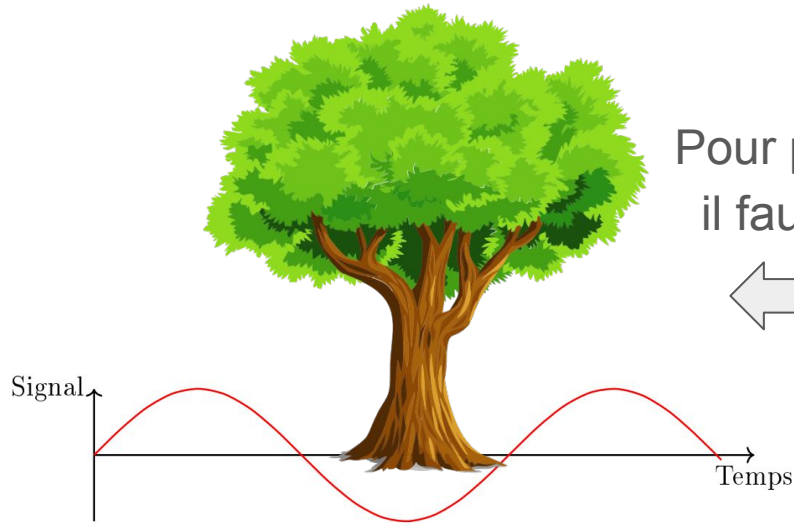
Aparté | Le cas du calcul analogique



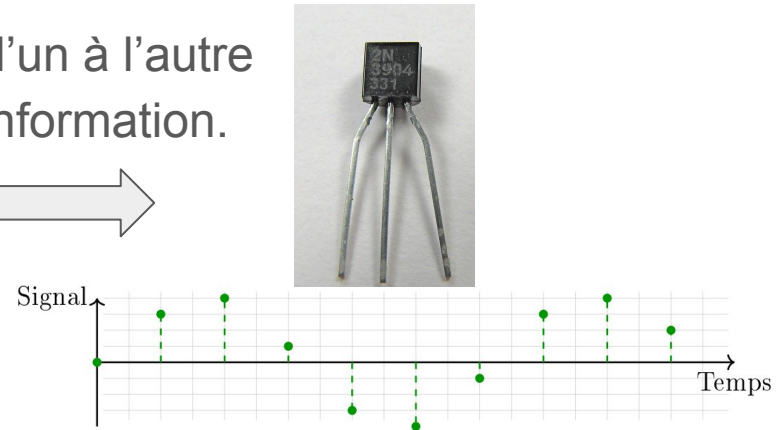
Aparté | Analogique et digital

Monde « réel » et « continu »,
Infinité de variations possibles.

Monde « digital » et « discret »,
Variations par paliers.



Pour passer de l'un à l'autre
il faut **coder** l'information.



Aparté | Le cas du calcul analogique

- Calculs délégués à un système physique continu.
- Certains problèmes se prêtent bien à une simulation directement au sein du monde réel, sans codage digital du signal, comme:
 - Utilisation du compas pour résoudre un problème de géométrie.
 - Machine d'Anticythère pour anticiper le mouvement d'astres.
 - Résolution d'équations différentielles émulées par un système électrique non digital.

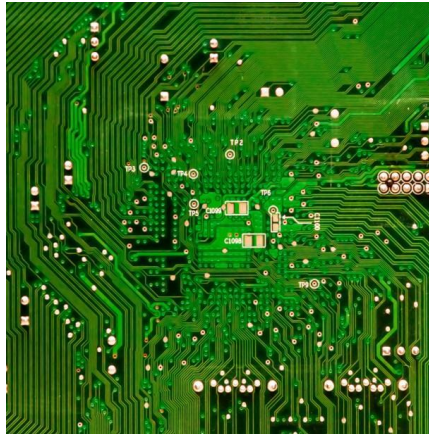
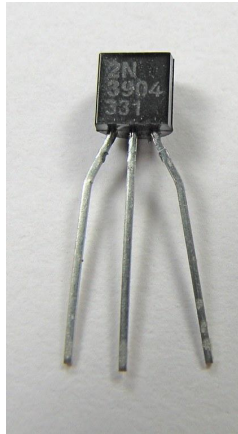
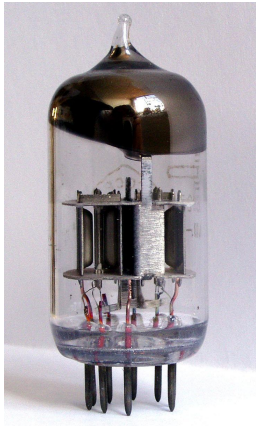


Aparté | Les avantages du calcul digital

- Toute quantité analogique est approximée, tandis qu'une quantité digitale est **exacte**. Conséquence : les calculs digitaux sont **reproductibles**.
- Signaux digitaux plus **robustes** vis-à-vis des interférences externes.
En particulier signaux **binares** !

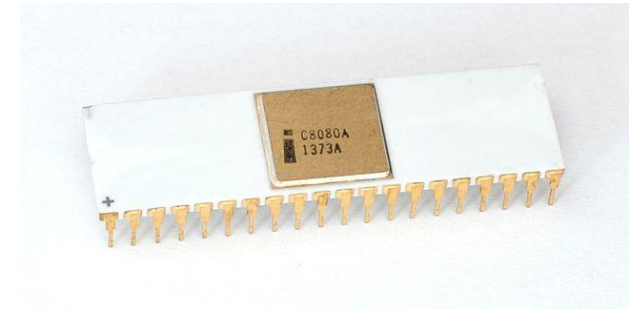
Rappel : quatres générations arbitraires

1. Tubes à vide
2. Transistors
3. Circuits intégrés
4. Microprocesseurs



Ordinateurs personnels | Exemple de l'Altair 8800 (1975)

- Vendu en kit - premier ordinateur personnel à “succès commercial”.
- Environ 2000 \$ d'aujourd'hui.
- Doit être programmé (possiblement sans écran, et en langage machine).



Intel 8080 (1974)

Quatrième génération : début des ordinateurs personnels



1977 - Apple II



1981 - IBM **P**ersonal **C**omputer



1982 - Commodore 64



1982 - Compaq Portable



1984 - Macintosh 128K



1998 - iMac G3

À propos de l'Apple][

- Conçu par Steve Wozniak seul.
- Premier ordinateur personnel vendu en masse, entre 5000 CHF et 10'000 CHF d'aujourd'hui.
- Succès lié au premier tableur pour micro-ordinateurs : VisiCalc.
- Succès soudain de Apple (revenu d'environ 100 M\$ en 1980).
- Vendu jusqu'en 1993.



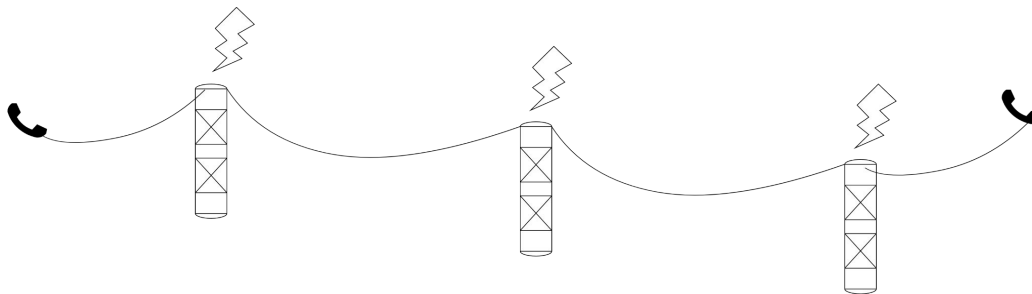


Une cinquième génération ?

- Technologie à venir ?
- Le cas des réseaux informatiques ?

Les réseaux informatiques

- Informatique engendrée par la résolution de problèmes de télécommunications (entre autres).
- “Juste retour des choses” : l’internet a été permis par l’informatique.

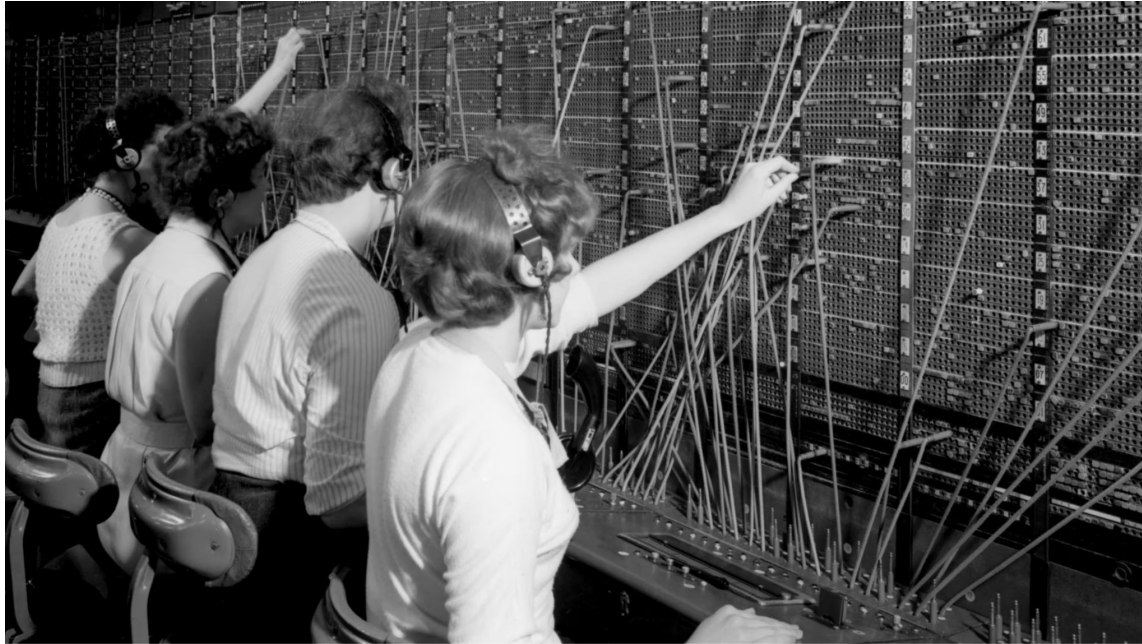


Les réseaux informatiques | **Les réseaux locaux**

- Utilisés pour connecter des machines proches physiquement dès les années 1950-1960
- Exemple : éviter d'avoir à amener physiquement des cartes perforées d'un endroit à l'autre du bâtiment pour transfert de données.
- Local Area Network (**LAN**).
- Technologie et règles **Ethernet** (1973) communément utilisées aujourd'hui.
- Adresses **MAC** (Media Access Control) pour identifier les machines.
- Quid de la communication **entre réseaux** : Wide Area Network (**WAN**) ?

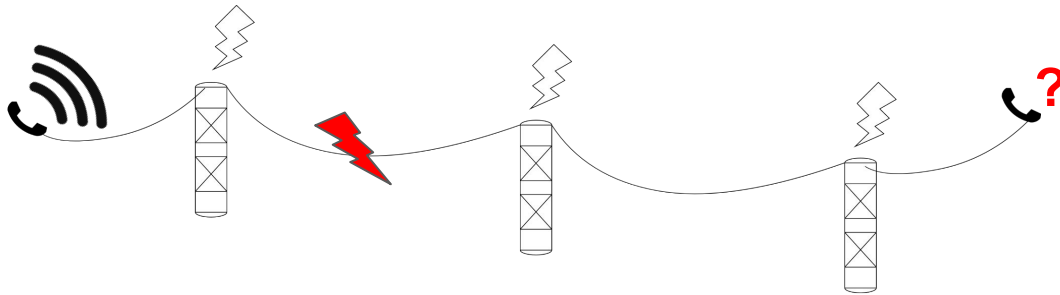
Réseaux informatiques | **Commutation de circuits**

WAN : utilisation des réseaux téléphoniques existants ?



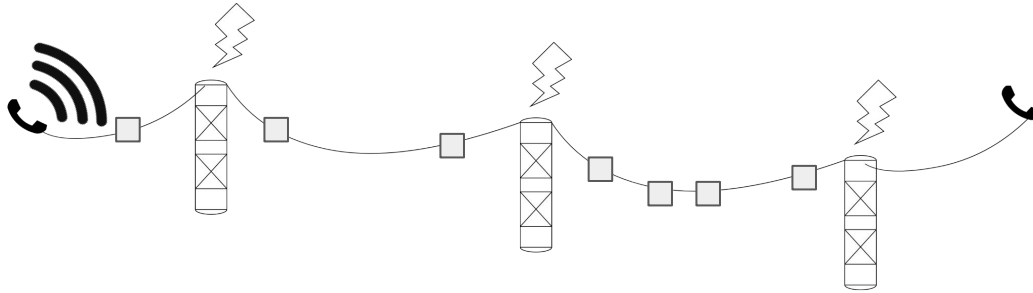
Réseaux informatiques | Problème de commutation

- Commutation de circuits : flux **continu**, chemin **fixe**.
- Problème facile pour les humains, difficile pour les machines : **corruption** des données lors de la télécommunication.



- Solution ?

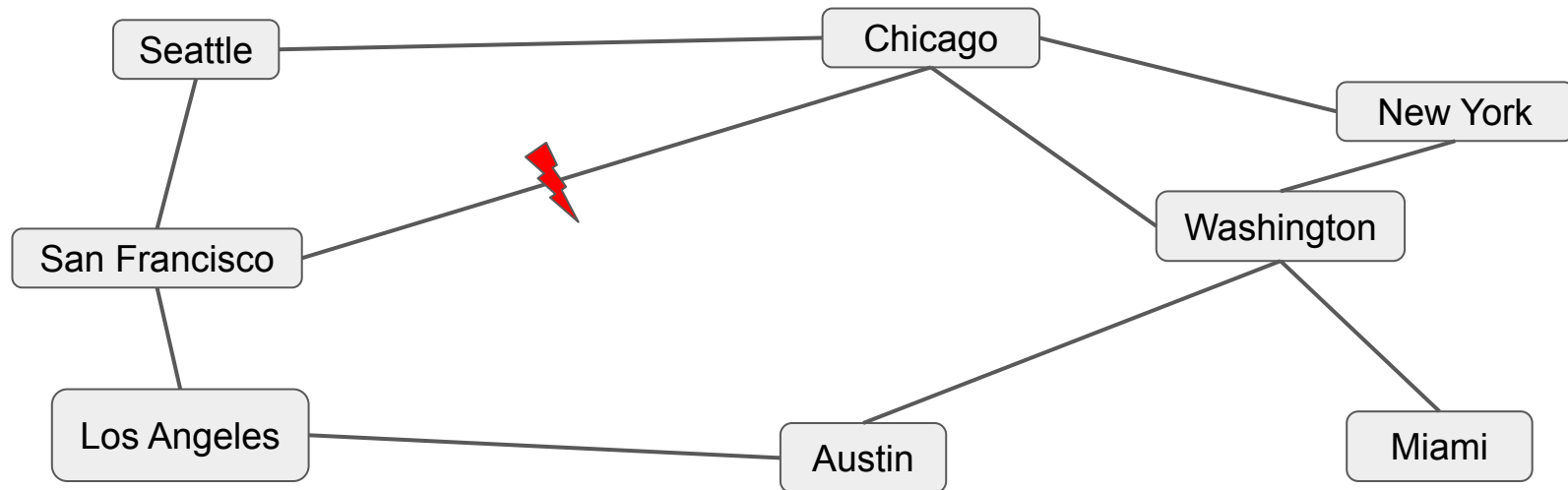
Réseaux informatiques | Commutation de paquets



- Solution : diviser les messages en petits « **paquets** » rigoureusement délimités et facilement ré-expédiables.
- Paquets peuvent passer par n'importe quel chemin et être reçus dans n'importe quel ordre.
- Réseaux de **commutation de paquets** (approx. 1970, ARPANET, armée US).

Réseaux informatiques | Commutation de paquets

Les paquets peuvent passer par n'importe quel chemin et être reçus dans n'importe quel ordre : le réseau est **robuste** si chaque noeud possède quelques liens avec les autres (réseau maillé).



Réseaux informatiques | **Paquets**

- Chaque paquet est composé d'un en-tête ainsi que d'une « charge utile ».

<i>En-tête</i> Destinataire, infos de contrôle	<i>Charge utile</i> Contenu du message à faire passer
---	--

- Pour que deux machines communiquent, il faut se conformer à un ensemble de **règles** qui portent sur :
 - Les paquets eux-mêmes (interprétation de l'en-tête et des données).
 - La façon de demander ou d'envoyer les paquets manquants ou corrompus.
 - La façon d'initier ou de cesser une communication impliquant un ensemble de paquets.



Réseaux informatiques | **Protocoles pour les paquets**

- Les règles qui régissent la transmission des paquets forment un **protocole**.
- **Les routeurs** sont responsables du chemin suivi par les paquets.
- Chaque machine doit posséder une **adresse** au sein du réseau.



Réseaux informatiques | **Protocoles pour les paquets**

- Protocole **IP** (Internet Protocol) : concerne l'acheminement en fonction de l'adresse IP.
- Protocole **TCP** (utilise l'IP) : définit une façon de mettre les interlocuteurs "d'accord", de numérotter les paquets, d'envoyer des accusés de réception, renvoyer les paquets perdus, etc.
- Protocole **UDP** (utilise l'IP) : version "light" sans gestion des paquets perdus, utilisée lorsque c'est la vitesse de communication qui prime sur le reste.

Réseaux informatiques | **Protocoles**

- Protocole TCP/IP (1973, popularisé dans les années 1980)
Transmission Control Protocol / Internet Protocol ⇒ **Inter-réseaux.**
- Naissance de l'**internet** « **primitif** », auquel les experts peuvent se greffer sans se soucier de la technologie de l'infrastructure du réseau lui-même.
- Usage typique : communication de données entre scientifiques.
- Protocole SMTP (**e-mails**) : années 1980.

Réseaux informatiques | **Internet moderne et Web**

- Jusqu'en 1990, l'internet n'est en pratique accessible qu'aux experts.
- Protocole **HTTP** mis au point vers 1990 pour servir au World Wide Web.
⇒ Internet devient **accessible en pratique** aux non experts.
- Hypertext Transfer Protocol : permet le transfert de documents hypertextes, qui contiennent des **hyperliens**.
 - Ces liens utilisent une notation standard nommée URL.
 - Les documents hypertextes sont écrits grâce au langage de balisage HTML.

Réseaux informatiques | **World Wide Web**

- Protocole **HTTP** mis au point vers 1990 pour servir au World Wide Web.
- **URL** (Uniform Resource Locator) : permet de désigner des **ressources** et le protocole pour les consulter.
- **HTML** (HyperText Markup Language) : permet d'**enrichir un texte** avec des balises.
- HTTP, URL et HTML inventés par Berners-Lee et Cailliau à Genève.

Réseaux informatiques | Internet moderne et Web

- On peut regrouper un ensemble de données HTML transmissible via HTTP sous la forme d'un **site web**.
- **Navigateur web**, logiciel qui gère pour l'utilisateur :
 - Les requêtes relatives au protocole HTTP.
 - L'affichage des données de document HTML.
 - La réception des inputs de l'utilisateur.
- Ajout progressif de capacités aux navigateurs, comme l'exécution de code JavaScript et CSS pour enrichir l'expérience de l'utilisateur.
- **Web ≠ internet** : tous les protocoles de l'internet ne concernent pas le web. Internet est l'infrastructure commune à toutes.

Extrait illustrant l'évolution des normes

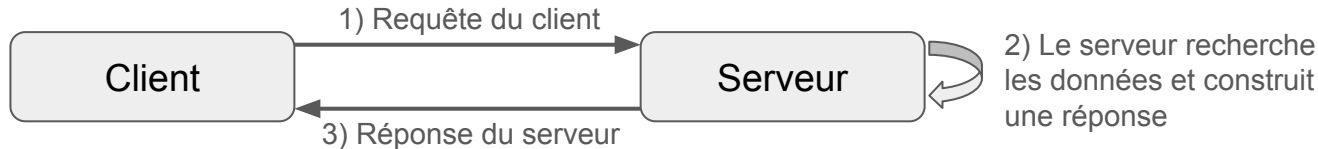
Parenthèse culturelle :

comment les concepts de moteur de recherche et de lien hypertexte sont vulgarisés aux alentours de l'an 2000 au sein de l'émission *C'est pas sorcier* :

https://youtu.be/Hq1fGXpl2_I?t=967

Réseaux informatiques | **Modèle client-serveur**

- Serveur : répond à des requêtes.
- Client : envoie des requêtes respectant un protocole donné.



- Le plus souvent asynchrone pour le web (requêtes non rythmées, client non bloqué).
- L'exemple des serveurs DNS : traduction d'adresses textuelles issues d'URL en adresses IP.

Réseaux informatiques | **Trajet des données**

- Comment faire parvenir des données de la Suisse à l'Australie ?



Sondage | **Trajet typique des données**

votamatic.unige.ch : ZJQL

Quel est le moyen de transport
majoritaire des données qui
parviennent en ce moment à votre
téléphone ?

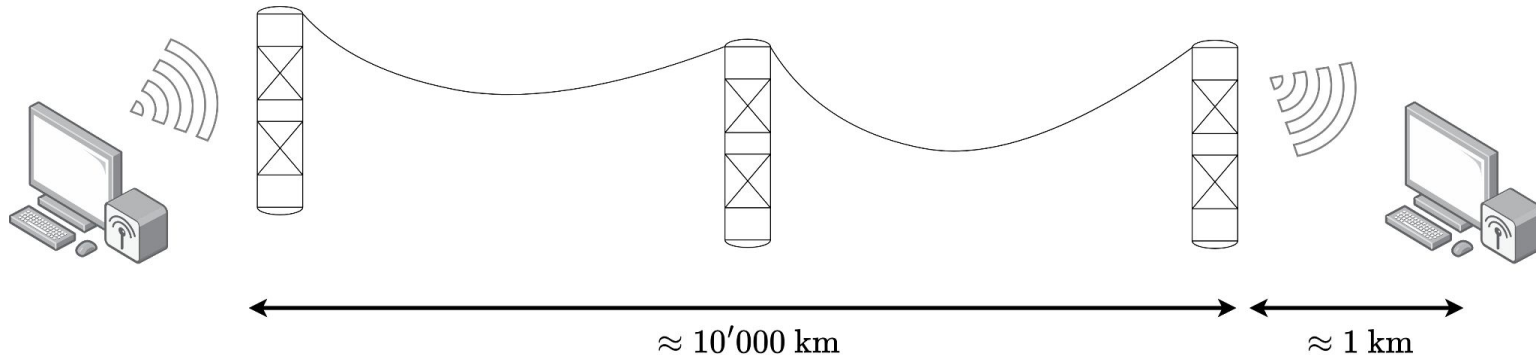


Réseaux informatiques | **Trajet typique des données**

- Câbles téléphoniques (en cours d'abandon)
 - Débit moindre, atténuation et interférences.
- Fibre optique (solution populaire en 2024)
 - Données transmises sous forme de lumière.
 - Haut débit.
 - Câbles sous-marin et terrestres entre les continents.
- Satellite en orbite Terrestre
 - Haute latence (*ping*) comparé à la fibre si le satellite est géostationnaire (susceptible de changer dans un futur proche).
 - Utile dans certains cas (bateaux, avions, zones reculées).
 - Rarement utilisé.

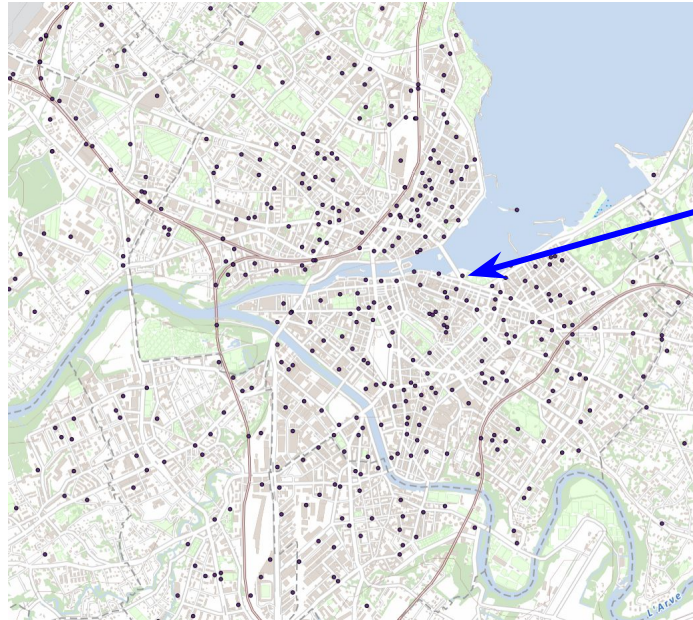
Réseaux informatiques | **Trajet typique des données**

- En général, seuls les derniers hectomètres parcourus par les données le sont éventuellement “dans les airs” sous forme d’onde électromagnétique, par exemple :
 - Téléphone portable via une antenne 4G à proximité (réseau mobile).
 - Ordinateur connecté au WiFi au sein d’un réseau local.

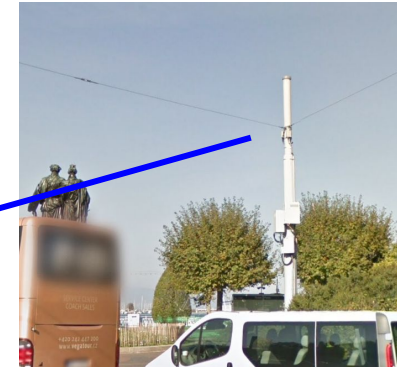


Réseaux informatiques | **Antennes-relais cellulaires**

- Pour Genève, données publiques (SITG)
<https://map.sitg.ge.ch/app/>
- Un point peut correspondre à plusieurs antennes.
Par exemple :
6 sur Sciences II.

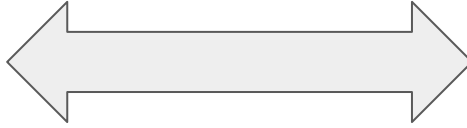


SITG



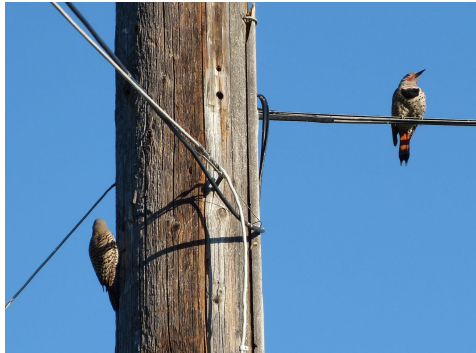
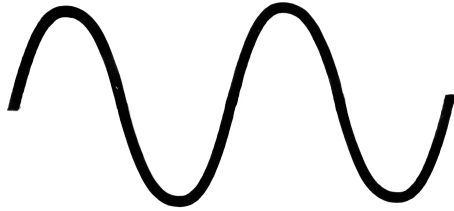
Google Maps

Réseaux informatiques | **Modulateur/démodulateur**



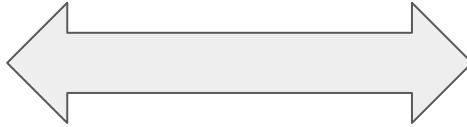
Réseaux informatiques | **Modulateur/démodulateur**

Signal analogique



Signal digital

1100101

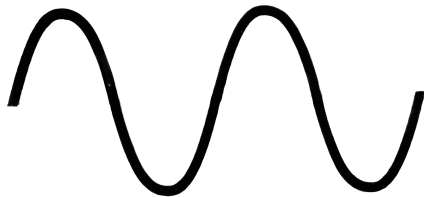


Réseaux informatiques | **Modulateur/démodulateur**

- De nos jours, “Internet Box” combinant routeur, modem (et en général borne WiFi).



Signal analogique



Signal digital

1100101

