

Histoire de l'informatique

Partie 1 Les origines, la science et la technique

Sacha Krakowiak

Université de Grenoble

C'est quoi, l'informatique ?

❖ Quatre facettes

Une science

Science de l'artificiel ...

... mais pas seulement

Une technique et une industrie

Matériel, logiciel, services

Des applications

Dont le champ est croissant

Un impact sociétal

❖ Quatre concepts

❖ Une méthode

La modélisation et l'abstraction

Un va-et-vient théorie-pratique

Des outils issus de l'informatique



Information

Un réducteur d'incertitude

Une représentation codée

La base de la communication

Algorithme

La notion clé !

d'Euclide à Turing

Machine

Réelle ou virtuelle

Langage

Exprime un algorithme
pour une machine

C'est quoi, l'information ?

- ❖ Un “réducteur d'incertitude”

- ❖ Je joue à pile ou face

avant de lancer : je ne sais rien

la pièce retombe : j'ai l'information

c'est l'information la plus élémentaire (2 possibilités)

ça s'appelle un *bit* (et plutôt que pile ou face, il est commode de dire 0 ou 1)

- ❖ Je lance la pièce deux fois ...

j'ai 4 résultats possibles : pile-pile, pile-face, face-pile, face-face

j'ai besoin de 2 bits : 00, 01, 10, 11

Mais en numération binaire (base 2), ça veut dire 0, 1, 2, 3

$0 \times 2 + 0 = 0$; $0 \times 2 + 1 = 1$; $1 \times 2 + 0 = 2$; $1 \times 2 + 1 = 3$

... et on continue : une photo, un DVD, un livre : des centaines de millions de bits !

C'est quoi, un algorithme ?

- ❖ Un procédé constructif ...

... qui réalise un objectif fixé, en un nombre fini d'étapes

... en combinant des opérations élémentaires connues

- ❖ Des exemples

les 4 opérations de l'arithmétique

la recherche d'un mot dans un texte

le calcul de la position par un navigateur GPS

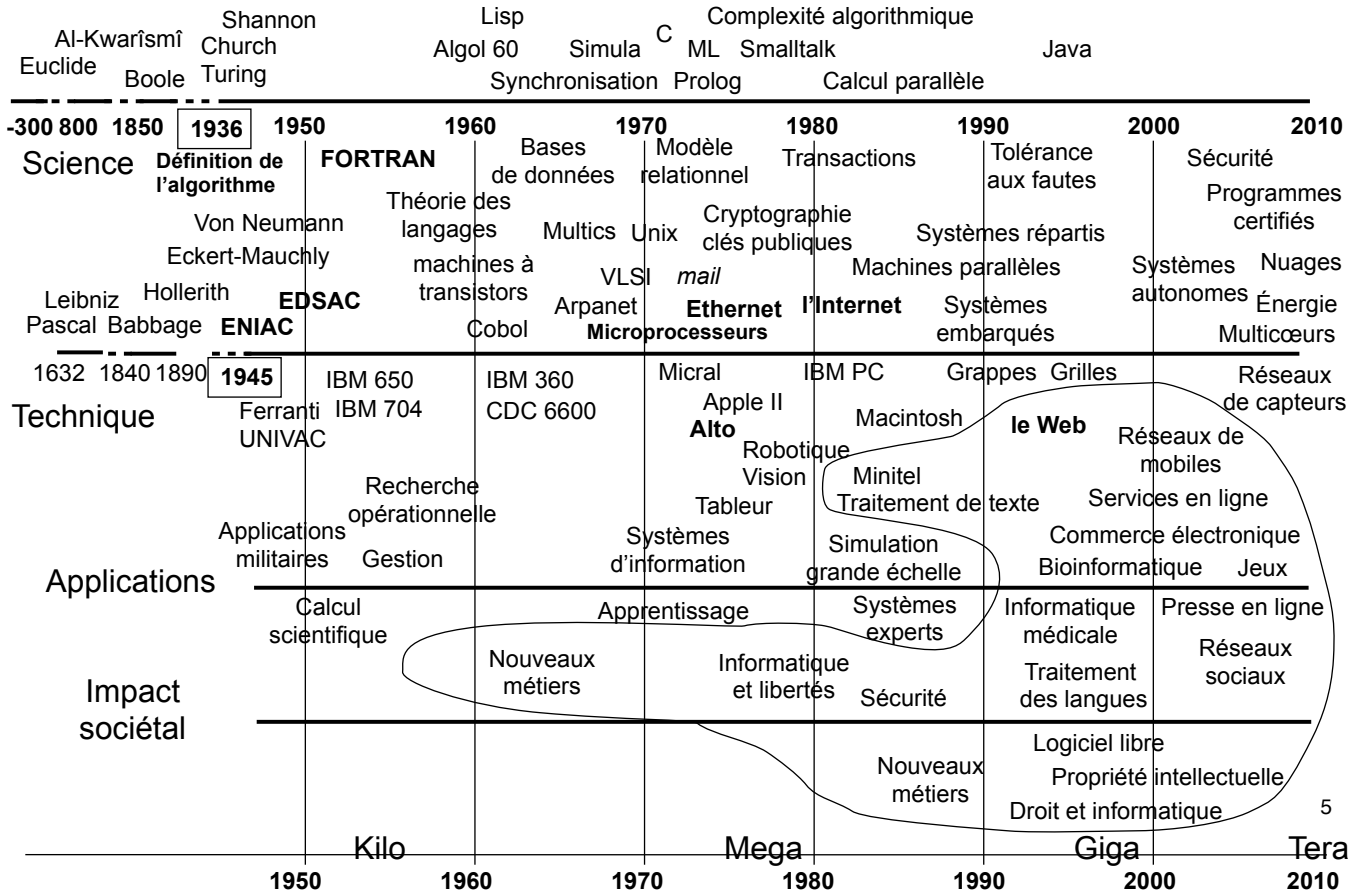
une recette de cuisine

- ❖ Une notion finalement assez simple ?

pas si simple que ça !

la définition précise de ce qu'est un algorithme marque le début de l'histoire de l'informatique

Une brève histoire de l'informatique



Quelques précurseurs

- ❖ **Euclide** (-300)
l'un des premiers algorithmes connus (-300)
- ❖ **Al Kwarîsmî**
traité des algorithmes (800)
- ❖ **Schickard, Pascal, Leibniz** (1620-1670)
les premiers calculateurs mécaniques (1620-1670)
- ❖ **Babbage**
la machine analytique, précurseur de l'ordinateur (1840)
- ❖ **Boole**
logique et algèbre booléennes (1850)
- ❖ **Hollerith**
la mécanographie (1890-1930)

Les débuts de l'informatique

- ❖ Le début du XX-ème siècle : une époque de remise en question dans les sciences

en physique : la relativité, les quanta, ...

en mathématiques : la «crise des fondements»

en logique : Gödel



Kurt Gödel
(1906-1977)

- ❖ Vers la fin des années 1930, deux courants qui s'ignorent mutuellement

la «calculabilité» et la formalisation des algorithmes (Church, Gödel, Kleene, Turing, ...)

les prototypes des «calculateurs électroniques» (Atanasoff, Zuse, Eckert & Mauchly, ...)

- ❖ Ces courants se rejoindront en 1945
von Neumann

Retour sur les algorithmes

- ❖ Que peut-on «effectivement» calculer ?

- ❖ De nombreuses propositions dans les années 1930

les fonctions récursives (Kleene)

le lambda-calcul (Church)

la machine de Turing

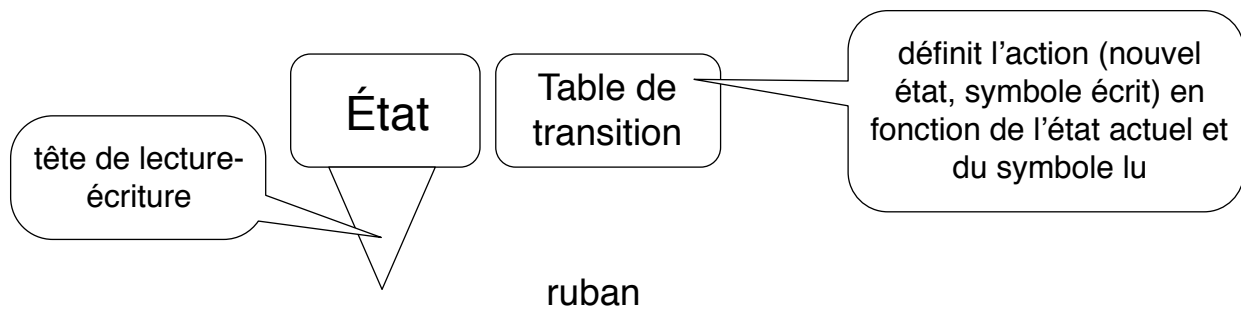
...

- ❖ Tous ces schémas, définis indépendamment, sont équivalents !

D'où la thèse de Church-Turing (indémontrable, mais jusqu'ici non contredite) :

Un algorithme, c'est ce qui est réalisable par une machine de Turing (ou tout schéma équivalent)

La machine de Turing (1936)



Alan Turing
(1912-1954)



National Portrait Gallery

C'est une machine *abstraite* (elle serait monstrueusement inefficace !)

Il existe une machine *universelle* (capable de simuler n'importe quelle machine)

Il n'y a pas d'algorithme général pour dire si une machine va s'arrêter ou tourner indéfiniment

Les premiers calculateurs

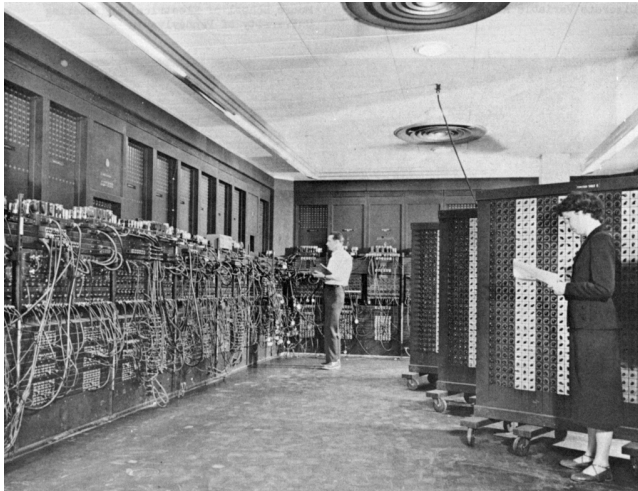
- ❖ **Atanasoff-Berry Computer (Iowa State Univ.), 1939**
Spécialisée (systèmes linéaires), non programmable
Machine à tubes, arithmétique binaire, non Turing-complète
- ❖ **Zuse Z3, 1941**
Électro-mécanique (relais), programme sur bande perforée
Arithmétique binaire, Turing-complète
- ❖ **Mark-1 (Harvard-IBM, Aiken), 1944**
Arithmétique décimale, programme sur cartes perforées. Électro-mécanique, non Turing-complète
- ❖ **Colossus (Bletchley Park, Flowers), 1943-44**
Électronique (tubes), binaire. Spécialisée dans le décryptage (cassage du code Enigma par Turing). Non Turing-complète

L'ENIAC

- ❖ Le premier ordinateur entièrement électronique, Univ. de Pennsylvanie (Eckert-Mauchly, 1946)

Arithmétique décimale, programmation par câblage

19 000 tubes, 30 tonnes, 150 kw. Turing-complète



J. Presper Eckert



John W. Mauchly

Le modèle «de von Neumann»

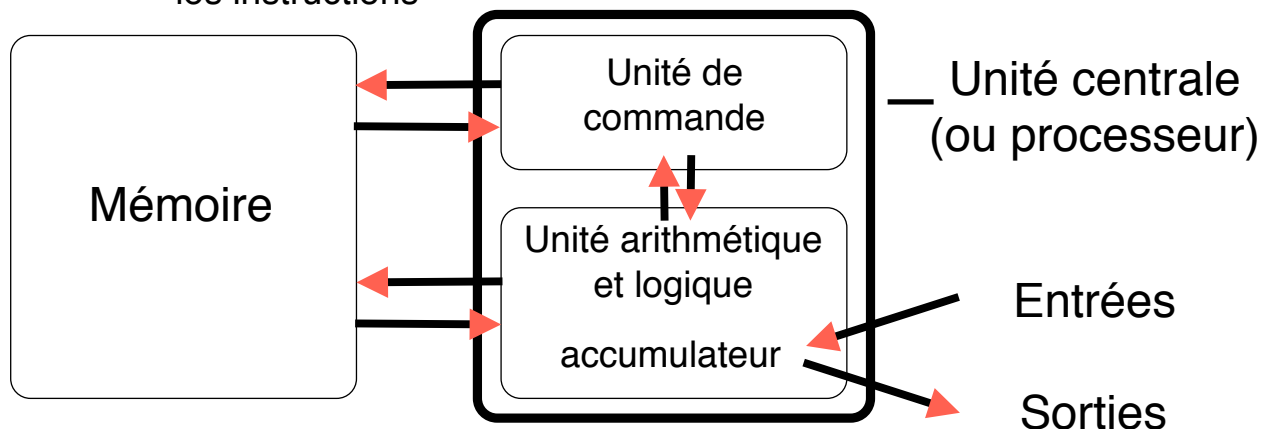
- ❖ von Neumann (avec Eckert et Mauchly, 1945)

- ❖ Traits essentiels

Séparation mémoire-unité centrale

Séparation calcul-séquencement

La mémoire contient les données et les instructions



Naissance des ordinateurs «von Neumann»

❖ Les efforts initiaux

Les «Moore School lectures» (1946), diffusion des idées

À la suite d'ENIAC : EDVAC (1949-1951)

La machine de Princeton IAS (von Neumann, Bigelow)

❖ Les premières réalisations

Mark-1, Université de Manchester (Williams, Kilburn, 1949)

EDSAC, Université de Cambridge (Wilkes, 1949)

❖ Les ordinateurs commerciaux

Ferranti Mark-1 (issu de Manchester Mark-1), février 1951

Remington-Rand UNIVAC (Eckert-Mauchly), mai 1951

La série IBM

IBM 701, 1952

IBM 650, 1953, mémoire à tambour magnétique

IBM 704, 1955, virgule flottante, première mémoire à tores de ferrite

En France 1952 : Bull Gamma 3 (tableau de connexion) 1954 : SEA CUBA ; 1955 : Bull Gamma ET
--

Où en est-on au début des années 50 ?

❖ Les avancées

Turing (et les autres) : définition et limites de l'algorithme, la machine universelle

von Neumann (et les autres): le modèle de base, toujours valable

les premiers ordinateurs commerciaux

❖ Les limites

une «technologie» déficiente, les tubes (peu fiables) ; les mémoires à lignes à retard (complexes, réglage délicat)

une programmation à très bas niveau, sans outils conceptuels, fastidieuse et sujette aux erreurs

un champ restreint d'applications

l'informatique est encore (pour longtemps) une affaire de professionnels

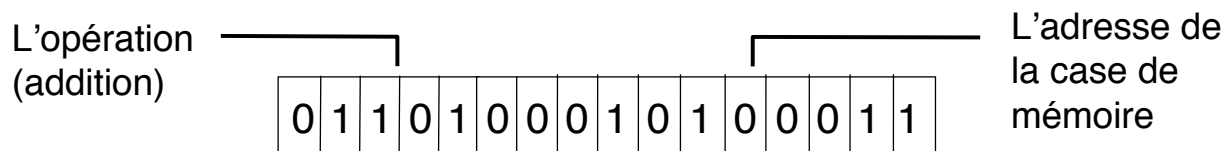
Du binaire à l'assembleur

❖ Qu'est-ce qu'une instruction pour un processeur ?

La description d'une action à exécuter

Représentée par une suite de bits dans la mémoire selon certaines conventions

Exemple de l'addition : ajouter le contenu d'une case de mémoire à celui de l'accumulateur



❖ Une notation plus commode ...

Donner des noms aux opérations et aux cases de mémoire

répertoire de la machine → **add toto** ← nom choisi par le programmeur

L'assembleur est le programme qui traduit cette notation en binaire

Qu'est ce qu'un langage de programmation ?

❖ Motivation

Un programme en assembleur décrit un algorithme en termes de *ce que sait faire la machine*

On souhaite une expression en termes de *ce que veut l'utilisateur*

❖ Qu'attend-on d'un langage de programmation ?

«Haut niveau» d'expression

proche du domaine d'application

indépendant de la machine d'exécution

Puissance d'expression

capable de décrire tous les traitements envisagés

Facilité d'apprentissage et commodité d'utilisation

Rigueur sémantique

Sûreté

réduit les risques d'erreur

si $Z > 0$
 $\{X[3] = N+2\}$

trier(Tableau)

Le premier langage de programmation

- ❖ **Fortran** (*Formula Translation*)

 - Développé chez IBM par l'équipe de John Backus (1954-57)

 - Langage orienté vers le calcul scientifique

 - Évaluation de formules

 - Définition de fonctions réutilisables

 - Toujours utilisé aujourd'hui (mais a beaucoup évolué)

- ❖ **Une révolution dans la pratique de la programmation**

 - Ouvre la programmation aux utilisateurs ...

 - ... sans sacrifier l'efficacité

- ❖ **Les limites du premier Fortran**

 - Manque de rigueur dans la définition

 - Manque de sûreté : mauvaise détection des erreurs

Les langages influents des années 60

- ❖ **Fortran** (1954) - John Backus

 - Le premier langage de haut niveau, toujours utilisé

- ❖ **Algol 60** (1958-61) - comité de scientifiques (Peter Naur, rapporteur)

 - Définition d'un langage sur une base rigoureuse

 - objectif atteint, malgré définition par un comité ...

 - Peu utilisé mais très forte influence
sur les langages futurs

- ❖ **Cobol** (1959) - comité d'industriels

 - Langage pour applications
de «gestion»

 - Toujours utilisé, malgré
son manque d'élégance

- ❖ **Lisp** (1958) - John Mc Carthy, MIT

 - Premier langage «fonctionnel»

 - Structure de base, pour
programmes et données : la *liste*

 - Le langage favori pour l'intelligence
artificielle

- ❖ **Basic** (1963) - John Kemeny

 - Langage simple (dérivé de
Fortran, interactif)

 - Adapté au temps partagé

Naissance des systèmes d'exploitation

❖ Le problème

- Gérer l'accès des utilisateurs à la machine
- Assurer la bonne exécution des programmes

❖ Les origines

- Utilisation individuelle sur réservation
- Usage de «sous-programmes» pour les entrées-sorties
- Traitement par lots
 - La file d'attente physique devient virtuelle
 - Le «moniteur» gère les ressources et les programmes
- Les premiers systèmes d'exploitation viennent des clients !

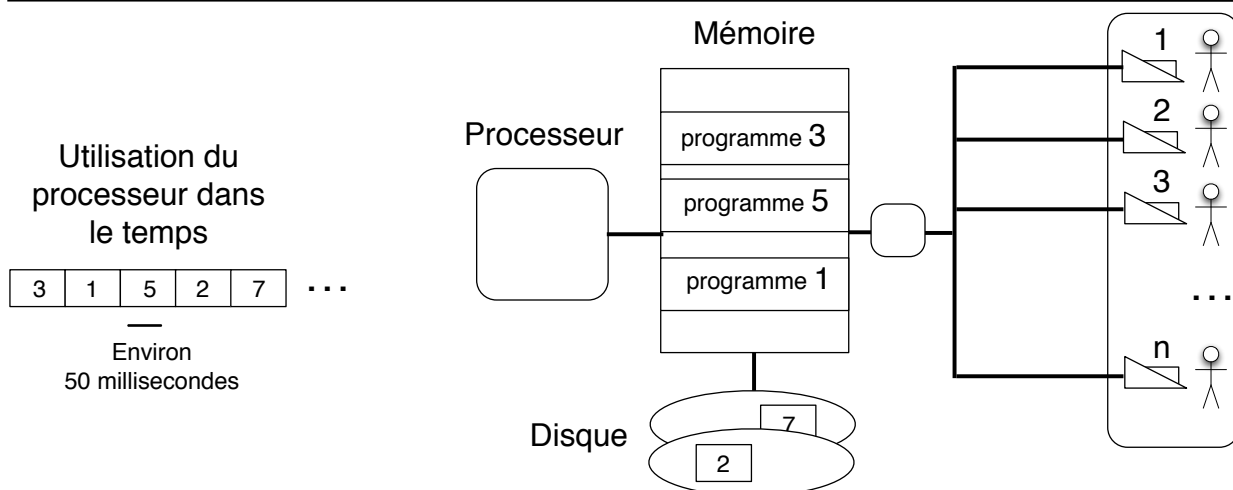
Deux exigences qui s'opposent ...

- l'utilisation optimale du matériel
- le confort (et l'efficacité) des utilisateurs

❖ De nouveaux métiers pour l'exploitation

- Opérateur, pupitreur, perfo-vérif.

Un système en temps partagé



Grâce au partage du processeur :

Chaque utilisateur a l'impression qu'il dispose seul de l'ordinateur

Grâce à l'utilisation du disque :

Chaque utilisateur a l'impression qu'il dispose d'une mémoire pratiquement illimitée (mémoire virtuelle)

Nouvelles générations d'ordinateurs (1)

❖ Des tubes aux transistors et aux circuits intégrés

Inventions : 1947, transistor ; fin années 50 : circuits intégrés

À partir de 1955

circuits : les transistors remplacent les tubes

mémoires : les tores de ferrite remplacent les tambours magnétiques

À partir des années 60 : introduction des circuits intégrés

Avantages

Fiabilité, vitesse, consommation d'énergie, encombrement

❖ La microprogrammation

Inventée par Wilkes en 1951, utilisée dans les années 60

Idée : étendre la notion de programme à la conception interne des processeurs

Chaque instruction est une séquence de micro-instructions

Avantages : facilité de conception, adaptabilité, réutilisation

Nouvelles générations d'ordinateurs (2)

❖ La première «famille» : la série IBM 360 (1964)

Une ligne d'ordinateurs compatibles

grâce à la microprogrammation

Des avancées techniques

Le cache (IBM 360/85, 1968)

Les machines virtuelles (IBM 360/67, 1966)

Un système d'exploitation gros et complexe (OS/360)

Traitement par lots, premier système utilisant les disques

Un succès commercial



IBM 360/40

Aconit

❖ Le premier «super-calculateur» : CDC 6600

Seymour Cray (1964)

Processeurs spécialisés, traitement parallèle



CDC 6600

❖ Le premier mini-ordinateur : DEC PDP-8 (1965)



DEC PDP 8

La crise du logiciel et les débuts du génie logiciel

❖ Une prise de conscience (fin des années 60)

Les grands projets informatiques

ne tiennent pas les délais

dépassent leur budget

répondent souvent mal aux attentes

Le constat obligé

écrire des programmes corrects est *difficile*

on en est encore à un stade artisanal

Les conclusions

il faut développer des méthodes et des outils

il faut mieux former les gens

il faut passer à un stade industriel

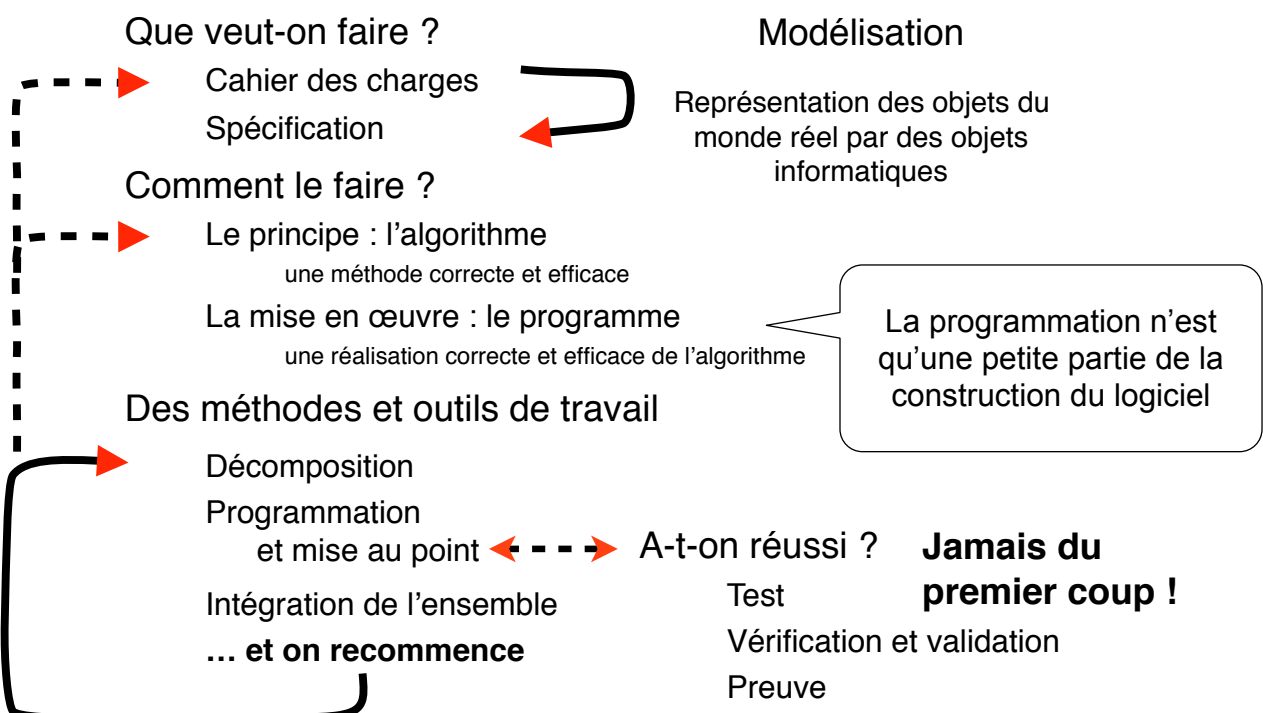
❖ La naissance du génie logiciel

Les deux conférences *Software Engineering*

(Garmisch, 1968 ; Rome, 1969)

Le logiciel : comment ça se fabrique ?

❖ Les étapes de la création



Les débuts du génie logiciel : mythes et déconvenues

❖ Le mythe de la solution «par les masses»

Si le projet est en retard, ajouter de la force de travail

Faux ! cela ne fait qu'aggraver le problème

Frederick Brooks, *The Mythical Man-Month* (1975)

❖ Le mythe de la solution «par les outils»

On résoudra les problèmes en créant des outils plus raffinés

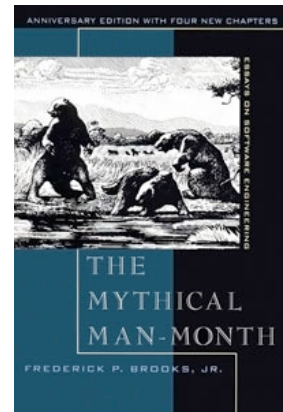
Très discutable ! la qualité des équipes est le facteur dominant

❖ Le mythe de la «programmation automatique»

Les programmes du futur seront créés automatiquement

Le métier de programmeur va disparaître

Faux ! Le métier va se transformer, mais dans le sens d'une plus grande qualification



Nouveaux langages des années 1970-80 (1)

❖ Dans la lignée d'Algol 60

Pascal (Niklaus Wirth, 1970), suivi de Modula-2 (1978)

Initialement destiné à l'enseignement ...

... mais aura une carrière plus large

Ada (Jean Ichbiah, 1979)

Une appel d'offres du ministère de la défense des USA

Une nouvelle tentative vers un langage universel

Utilisé dans les systèmes embarqués

Sûreté
d'abord

❖ Retour vers la machine

BCPL (Martin Richards, 1967-69)

Premier langage à utiliser une machine virtuelle ...

... mais très proche de la machine réelle

C (Dennis Ritchie, 1971)

Issu de BCPL

Efficace, mais peu sûr : mieux vaut être expert

Efficacité
d'abord

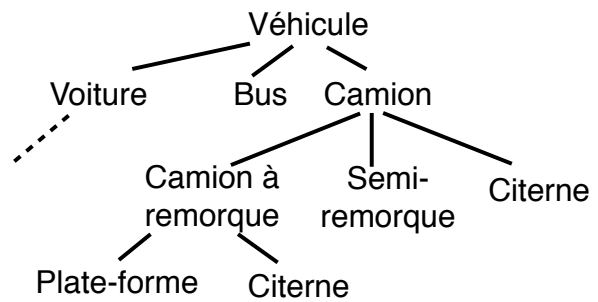
Nouveaux langages des années 1970-80 (2)

❖ Langages à objets

Modéliser le monde réel

Simula (Dahl-Nygaard, 1967)

Smalltalk (Alan Kay et al.,
Xerox PARC, 1978-80)



❖ Langages logiques

Modéliser le raisonnement

Prolog (Alain Colmerauer -
Robert Kowalski, 1972)

Pierre est fils de Paul
Julie est fille de Paul
Marie est fille de Pierre
Cécile est fille de Pierre
Émile est fils de Julie
A enfant de B = A fils de B **ou** A fille de B
A cousin germain de B = A enfant de X
et B enfant de Y **et** X enfant de Z
et Y enfant de Z **et** X différent de Y
Quels sont les cousins germains d'Émile ?
--> Marie, Cécile

Circuits intégrés et microprocesseurs

❖ Une révolution dans la fabrication des circuits

Des transistors (composants «discrets») ...

... aux circuits intégrés (dans le silicium)

SSI (1958), MSI (1968), LSI (1973), VLSI (1980)

Intel 4004 (1971)
Intel Museum

❖ Conception

Des outils puissants

❖ Fabrication

La micro-lithographie

Le test (et le tri)

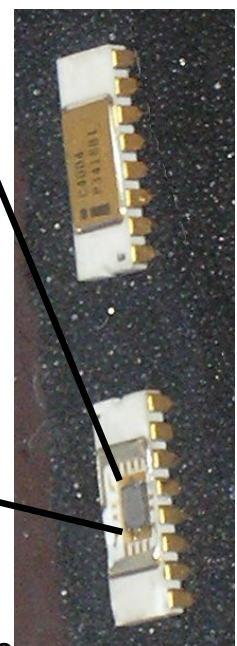
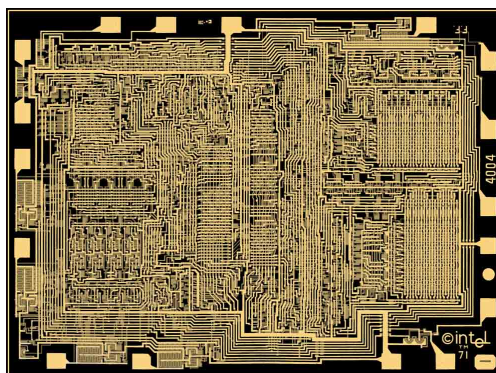
❖ Microprocesseurs

Utilisation des LSI puis VLSI

Intel 4004 : 2300 transistors. Aujourd'hui : des milliards ...

Premier micro-ordinateur (sur Intel 8008) : Micral-N, français

↑
≈ 3 mm
↓



L'Ethernet

- ❖ Un réseau local (Robert Metcalfe, David Boggs, 1973)

Communication rapide à faible distance (< 1 km)

- ❖ Un principe simple et efficace

Si deux stations émettent en même temps (brouillage),
chacune s'arrête et recommence un peu plus tard avec un
délai aléatoire (et croissant)

Inspiré d'un réseau radio (Aloha, 1970)

Utilise initialement un câble coaxial

© 2010 DigiBarn Museum

© 2007 David Monniaux



en 1973



aujourd'hui

- ❖ Avantages

Simplicité d'installation

Capacité de croissance

Performances : 3 Mbit/s en 1973, 10 à 100 Gbit/s aujourd'hui

L'Alto : premier ordinateur personnel moderne

- ❖ Objectif : le «bureau électronique»

Faciliter l'accès à l'information, la
communication et le partage

Fournir une interface simple et interactive

- ❖ Moyens

Serveurs spécialisés sur le réseau

Fichiers

Serveurs d'impression

Langages pour l'impression
(retombée : Adobe)

Écran à points, éditeurs WYSIWYG

«What You See is What You Get»

Principaux auteurs : Chuck Thacker, Butler Lampson,
avec forte influence de Douglas Engelbart et Alan Kay

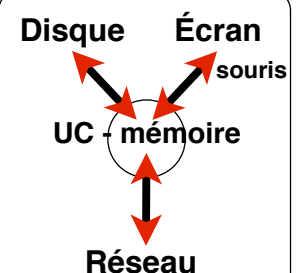
Caractéristiques

Mémoire : 125-512 Ko

Disque : 2,5 Mo
(amovible)

Écran : 606x808
(blanc et noir)

Ethernet : 3Mbit/s



Ordinateurs personnels

- ❖ Pendant ce temps, loin de Xerox PARC ...
- ❖ ... les premiers ordinateurs personnels «classiques»

1973 : Micral N (français !)

1974 : Altaïr

1976 : Apple I

1977 : Commodore PET, TRS 80

1977 : Apple II (très populaire, produit jusqu'en 1993)

graphique, son



Apple II © Rama

- ❖ Traits communs

La plupart (avant Apple II) vendus en «kit»
public plutôt «technique»

Langage : Basic

Logiciel : jeux, applications domestiques

Ordinateurs personnels : l'IBM PC

- ❖ Naissance du PC (1981)

Une stratégie nouvelle chez IBM

utiliser des composants standard (non fabriqués chez IBM)

rendre les spécifications publiques (d'où les «compatibles»)

créer une division légère autonome pour la conception du PC

Un succès commercial (mais surtout pour les clones ...)

Les «compatibles»

2 milliards de PC au total vendus jusqu'en 2008



IBM PC 5150

- ❖ Les systèmes d'exploitation

Le système usuel des ordinateurs personnels (avant le PC)
était CP/M (Gary Kildall, Digital Research)

IBM souhaite acheter à l'extérieur le système pour le PC

Bill Gates propose MS/DOS (issu de 86-DOS, inspiré de CP/M)

C'est le début de l'expansion de Microsoft

Ordinateurs personnels : les retombées de Xerox PARC

❖ Un transfert laborieux ...

En 1981 : Xerox Star

trop lent, trop cher, mal présenté ...

En 1983 : Apple Lisa

trop lent, trop cher, vite supplanté par le Mac ...

Xerox
Star



© Al Lemos

Apple
Lisa



© DigiBarn Museum

❖ La naissance du Macintosh (1984)

Un succès commercial ...

... malgré les limitations initiales

petite mémoire, pas de disque dur, peu de logiciel

Publication assistée par ordinateur



Wikimedia Commons

❖ Le modèle «stations de travail - serveurs»

Le nouvel outil des professionnels (sous Unix)

Apollo (1980), Silicon Graphics (1981), Sun (1982), ...

Graphique, conception assistée, développement de logiciel, ...

Les réseaux : naissance de l'Arpanet

❖ Les origines

Dans les années 60, réflexions sur un réseau global d'ordinateurs

Paul Baran, Robert Kahn, John Licklider, Lawrence Roberts

Principes de la «commutation par paquets» (voir plus loin)

Leonard Kleinrock

Lancement du projet par l'ARPA (agence militaire de financement de la recherche) en 1966-67

❖ Premiers échanges

Octobre 1969, 4 sites : UCLA, UCSB, SRI, Univ. Utah

❖ Développement

Transfert de fichiers (1971)

Courrier électronique (Ray Tomlinson, 1972)

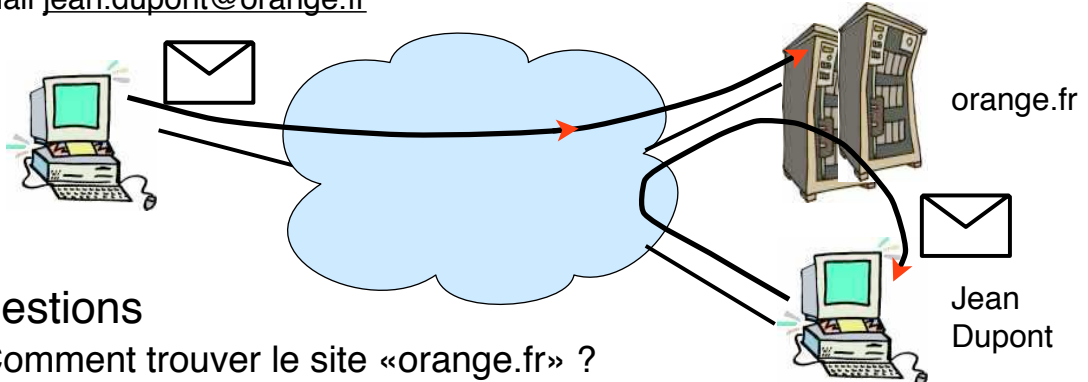
Protocoles TCP et IP (Vinton Cerf, Robert Kahn,
Jon Postel, 1973)

1969 : 4 sites
1972 : 23 sites
1979 : 111 sites
1983 : 562 sites
1989 : 200 000 sites

Comment fonctionne l'Internet ? (1)

❖ Exemple : envoyer un courrier électronique

mail jean.dupont@orange.fr



❖ Questions

Comment trouver le site «orange.fr» ?

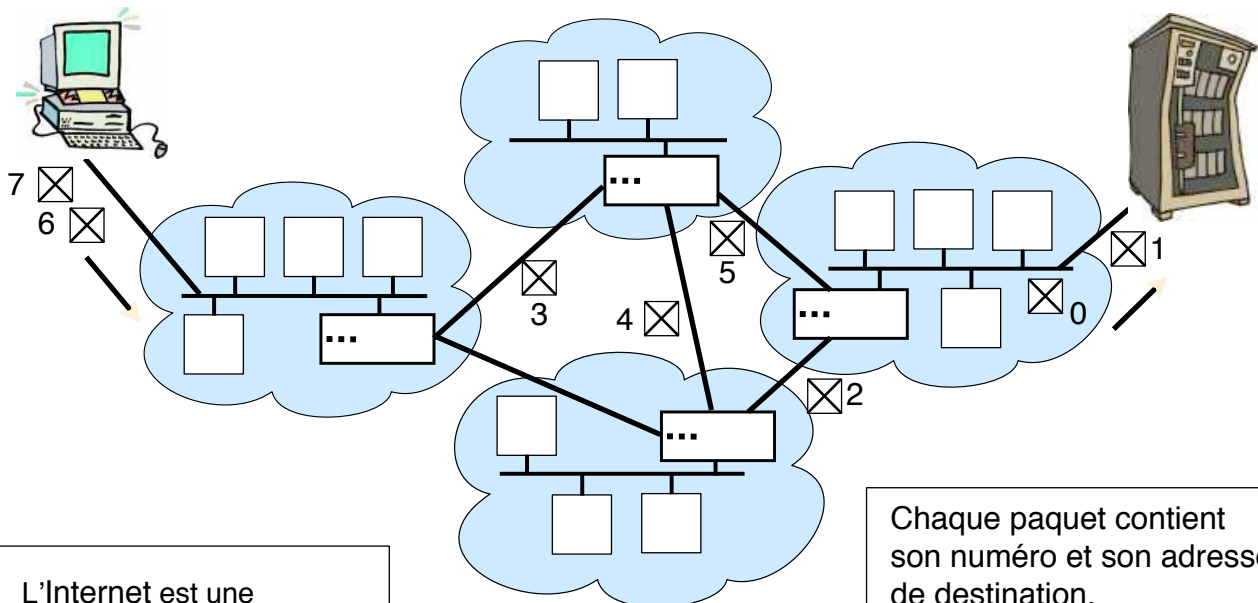
Comment acheminer le message vers ce site ?

❖ Trouver le site de destination

Chaque site connecté a une «adresse IP» qui indique où il se trouve
Il y a un annuaire qui associe les noms («orange.fr») aux adresses
(81.52.142.217)

Comment trouver l'annuaire ? Réponse : on connaît son adresse IP !

Comment fonctionne l'Internet (2) ?



L'Internet est une interconnexion de réseaux (*internetwork*), reliés entre eux par des routeurs

Chaque message est découpé en *paquets* de taille fixe

Chaque paquet contient son numéro et son adresse de destination.

Les routeurs contiennent les informations permettant d'acheminer le paquet vers son site destinataire.

Comment fonctionne l'Internet ? (3)

❖ Les protocoles

Un protocole est un ensemble de règles pour organiser la communication sur un réseau

Il y a de nombreux protocoles qui s'appuient les uns sur les autres (pile)

❖ Le protocole IP (*Internet Protocol*) : le centre de tout

Assure l'acheminement d'un paquet entre un site et un autre

Pas de garanties (le paquet peut arriver abîmé, être retardé, ou se perdre, ...), ce qui permet de garder un protocole simple

Les garanties sont assurées par les protocoles qui utilisent IP

❖ Le protocole TCP : la base des applications

Assure le transport d'un flot d'information entre sites, avec garanties

Beaucoup d'applications (ex. : le Web) fondent leurs protocoles sur TCP

De l'Arpanet à l'Internet

❖ Transition au début des années 1980 (environ 1 000 sites)

Une pile de protocoles, TCP/IP ; un annuaire, le DNS ; une organisation

❖ TCP-IP (1973-1983), une avancée décisive

❖ Le *Domain Name System*, l'annuaire de l'Internet (1983-84)

Vers 1982, un seul annuaire centralisé, goulot d'étranglement

Le DNS est un annuaire *réparti sur tout le réseau*

Il a prouvé son efficacité (nombre de sites multiplié par 1 million !)

❖ La gouvernance de l'Internet

Internet Society (ISOC) : orientations

Internet Architecture Board (IAB) : management

Internet Engineering Task Force (IETF) : choix techniques

Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN) : noms de domaines

Il n'y a pas de «roi de l'Internet» ...

Applications de l'Internet

❖ Les premiers usages professionnels

rlogin (1970) : accès à un ordinateur distant

ftp (1971) : transfert de fichiers

mail (1971) : courrier électronique

news (1979) : groupes thématiques, participation ouverte

premières applications réparties (années 1980)

❖ L'ouverture au grand public

Le Web (inventé en 1991, largement diffusé en 1995)

à voir plus loin

Les réseaux sociaux (existent depuis les *news*, mais explosion après 2005)

à voir plus loin

Nouveaux visages de l'informatique

❖ Les systèmes embarqués

❖ Le calcul parallèle

❖ L'informatique dans les nuages (*cloud computing*)

❖ Les futurs modes de calcul

❖ Les impacts sociétaux

À voir dans la seconde partie