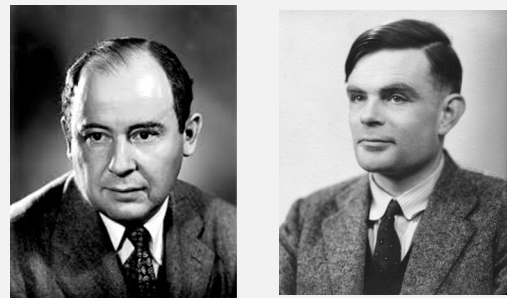


1. Découvrir l'informatique

Cédric Villani, médaille Fields¹ 2010 : « Tout le monde devrait apprendre à programmer pour sentir ce qu'est un programme ! »

1.1 Introduction

On peut dire sans grand risque de se tromper que nous sommes à l'aube de grands changements pour l'humanité : il y a vingt ans un micro-ordinateur milieu de gamme coûtait l'équivalent de trois mois de salaire moyen, actuellement c'est plutôt de l'ordre de dix jours de travail et les téléphones sont devenus des quasi-ordinateurs ; quand aux capacités des machines elles continuent imperturbablement à suivre la *loi de Moore* : le nombre de transistors des processeurs d'entrée de gamme double tous les deux ans... Les puissances de calcul sont démultipliées, les liaisons entre les machines ont créé une foultitude d'applications reliant les êtres humains, les futures applications de l'informatique sont dans les tuyaux de demain : quel monde nous préparons-nous ?



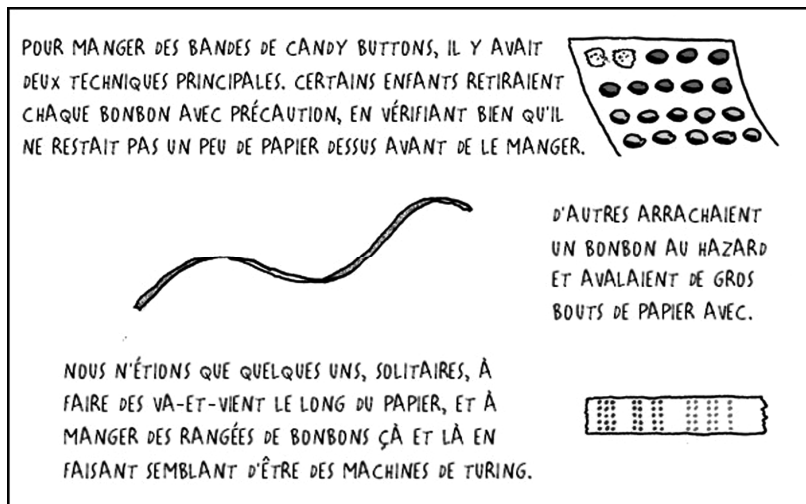
John Von Neumann et Alan Turing² peuvent être considérés comme les pères fondateurs de l'informatique. Ils ont défini ce que doit faire une machine et comment elle peut le faire. À l'heure actuelle 99,9 % des ordinateurs fonctionnent selon les principes qu'ils ont énoncés.

¹ Équivalent du prix Nobel en mathématiques. En informatique la plus haute récompense mondiale est le Prix Turing. Joseph Sifakis en 2007 est le premier Français à l'avoir obtenu depuis sa création, en 1966.

² Alan Turing fut un brillant mathématicien anglais, actif dans les années 1940-1950 ; il participa au décryptage de la machine Enigma pendant la guerre. Homosexuel, il fut poursuivi et « soigné » par les autorités anglaises, ce qui le poussa au suicide ; fan du film Blanche-Neige (Walt Disney), il se suicida en croquant dans une pomme imprégnée de cyanure : c'est devenu le logo de la firme Apple !

La maîtrise minimale des divers aspects de l'informatique est indispensable au citoyen et on ne peut que regretter qu'il ne s'agisse pas encore d'un enseignement obligatoire pour tous³ : même si certains concepts de l'informatique sont fortement liés aux mathématiques et à la physique et par là-même difficiles d'accès pour une frange non négligeable de la population, il n'empêche que l'essentiel de son objet en fait un sujet abordable pour la grande majorité des élèves moyennant un peu de logique, d'organisation et surtout de persévérance.

En général la création d'applications informatiques ne nécessite pas de connaissances très élaborées et, mis à part les chercheurs, les « petits génies de l'informatique », comme se plaisent à les appeler les journalistes, n'ont pas grand chose de génial au sens propre du terme, hormis souvent un désir redoutable d'atteindre les buts qu'ils se sont fixés.



xkcd 205

Voir aussi sur Youtube (How to eat Candy Buttons like a Recreational Mathemusician)

1.1.1 Des usages et de l'apprentissage de l'informatique

L'informatique est dorénavant omniprésente dans les entreprises et les administrations, la société en général et la vie de tous les jours ; elle est la forme contemporaine de l'industrialisation du 19^e siècle. Voici quelques exemples en vrac :

- **production de biens manufacturés ou agricoles** ; automatisation de plus en plus poussée des processus de production ; apparition des imprimantes 3D permettant de fabriquer n'importe quel objet ; utilisation massive de robots soulageant le travail des ouvriers mais faisant disparaître bon nombre de métiers ; prévisions météo et détection de l'apparition de maladies par analyse d'images satellites ; gestion des flux de production (stockage, prévisions à plus ou moins long terme) ;

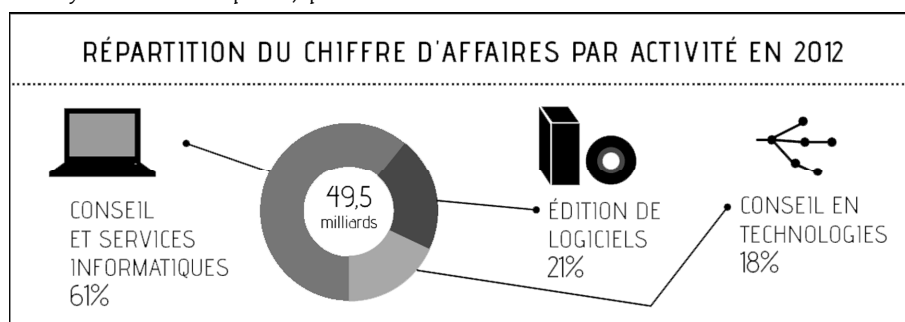
- **création de nouveaux produits ou amélioration de produits anciens** par l'introduction de puces et de logiciels dans la plupart des objets ou machines, afin d'assurer des fonctions de plus en plus nombreuses avec plus de précision et de fiabilité que ne pouvaient en donner les hommes ou les mécanismes traditionnels. Ceci est particulièrement visible dans les transports, mais tous les pans de l'activité sont désormais touchés ;

³ L'organisation d'ISN peut laisser cependant espérer de l'apparition d'un enseignement d'informatique généralisé au lycée, voire au collège et même au primaire d'ici quelques temps... Voir [AcadSciences2013] et [SIF2013] ainsi que <http://www.epi.asso.fr>.

- **gestion des entreprises et des administrations** : les programmes informatiques ont depuis longtemps remplacé les méthodes traditionnelles de comptabilité et de gestion des stocks ou des commandes. Ils font place désormais à des systèmes d'information qui gèrent tous les flux d'information nécessaires à chaque acteur, du directeur au plus modeste employé. En ce sens le système d'information devient le système nerveux de l'entreprise ; citons également l'apparition du trading haute fréquence (cotations très rapide permettant des micro-gains en grande quantité en bourse ou sur les marchés de dérivés) qui modifie profondément les règles de fonctionnement des marchés même si on n'est pas encore capables d'en mesurer tous les effets ;

- **communication entre les personnes** à l'aide de nouvelles formes d'échanges (téléphonie 4G, skype), la transmission des objets culturels, la recherche de tous types d'informations, avec une créativité qui ne fait que grandir.

Il est très compliqué de déterminer l'impact économique réel de l'informatique, aussi bien au niveau mondial que français du fait de l'imbrication croissante de l'informatique avec toutes les activités humaines. À titre d'exemple voici les chiffres que donne, pour la France, le Syntec (<http://www.syntec-numerique.fr>) pour 2012 :



89 % du chiffre d'affaires en 2010 a été réalisé avec des entreprises, dont plus de 23 % avec des entreprises du même groupe. La valeur ajoutée hors taxe en 2010 représente 31,9 milliards d'euros. La valeur ajoutée créée par salarié en ETP (équivalent temps plein) est de 92600 €.

Le secteur Logiciel et services informatiques représente 369 000 salariés dont 270 000 informaticiens.

Ces chiffres sont issus de la statistique publique. Ils permettent des comparaisons dans le temps, avec d'autres secteurs, et de connaître la structure de la population. Cependant, ils ne prennent pas en compte un certain nombre de grandes entreprises du secteur (Bull, Cisco, Google, Microsoft ...) référencées sous d'autres codes NAF (codes INSEE attribués aux entreprises).

Il y a 622 000 informaticiens répartis dans l'ensemble des secteurs économiques dont 27,4 % de femmes, 27,5 % de moins de 25 ans, 93,4 % en CDI, 67 % de cadres pour une rémunération annuelle brute moyenne de 46 500 €.

Au niveau de la population en général on constate malheureusement que la majorité des ingénieurs et chercheurs non informaticiens n'acquièrent pendant leur cursus universitaire qu'un bagage limité en informatique, même si les choses évoluent relativement vite sous la pression de la mondialisation. Or, la « réindustrialisation » de la France suppose une forte compétence globale en informatique ; par ailleurs un important déficit de culture numérique existe encore chez les différents acteurs institutionnels (politiques particulièrement) et on doit s'interroger sur les moyens nécessaires donnés à l'école pour qu'elle fournisse à tous cette culture générale de notre époque, de la maternelle au master.

On peut noter malheureusement la persistance d'un courant de pensée « citoyen » pour qui l'utilisation des TIC (Technologies de l'Information et de la Communication) est amplement suffisante⁴ : les tenants de cette idée ont fourni le référentiel informatique de l'Éducation Nationale ces dix dernières années, mais on trouve depuis bien plus longtemps un courant de pensée « scientifique » pour lequel l'utilisation d'un outil, matériel ou conceptuel, n'est pas plus suffisant pour le maîtriser que le permis de conduire n'est suffisant pour maîtriser la mécanique d'une voiture.

La voie scientifique est la seule acceptable en fait : imaginons que l'on décide d'enseigner les entiers relatifs à l'occasion de l'étude des périodes historiques avant/après J.-C. ou bien à propos de la température en Physique, ou encore parler des coordonnées lorsqu'on parlera de longitude et de latitude en Géographie ; ce serait vraisemblablement hors de propos et même probablement catastrophique : ce n'est pas à partir d'une situation didactique que l'on fait acquérir des concepts comme ceux qui sont nécessaires ici. C'est en fournissant divers exemples et en faisant par là-dessus l'effort d'abstraction nécessaire que l'on peut s'approprier les divers concepts indispensables à la maîtrise et à la compréhension des outils informatiques, même les plus simples. Le paragraphe suivant essaie d'analyser la situation actuelle.

1.1.2 L'informatique est une science bien trop sérieuse pour être laissée aux informaticiens

C'est le titre d'un article à propos de l'enseignement de l'informatique écrit par des informaticiens ! On remarquera les divers niveaux d'humour, peut-être involontaires, de ce titre.

Le Monde.fr, 22/06/2012, Gilles Dowek, Serge Abiteboul, Colin de la Higuera

[...] *Le Guardian et le New York Times ont publié des articles vantant les mérites de l'enseignement de l'informatique pour tous. Le premier mène au Royaume-Uni une campagne très active pour que les programmes scolaires permettent l'étude de l'informatique en tant que science et plus exclusivement en tant qu'outil. En France, Vincent Peillon (ministre de l'Éducation Nationale) déclarait que « ceux qui le souhaitent auront donc la possibilité d'accéder à une initiation aux langages informatiques et à la programmation, au sein des options « spécialité numérique » que nous étendrons à l'ensemble des séries des baccalauréats général et technologique ».*

* * * * *

Depuis le début des années 2000, les responsables de l'Éducation Nationale (EN) en France, ainsi que dans de nombreux pays, ont estimé que l'appropriation de l'informatique par une grande partie de la population passait par l'utilisation d'outils tels le traitement de texte, le tableur, la messagerie électronique, etc. et qu'une telle approche pouvait faire prendre conscience aux jeunes de l'importance de maîtriser ces outils mais également d'être davantage responsables face à l'intrusion du numérique dans notre univers. Cette optique a amené à la création du B2I (Brevet Informatique et Internet) en Collège et en Lycée ainsi qu'au C2I (C2I2E pour les enseignants) en Université, ces deux derniers niveaux n'ayant jamais été réellement opérationnels.

Fondamentalement, on ne peut pas dire que c'était une mauvaise idée, malheureusement il aurait fallu former davantage les maîtres, particulièrement les Professeurs des Écoles, ce qui n'a pas été fait, de plus c'était méconnaître une grande partie des processus de formation des compétences dans ce type de domaine : pour résumer, soit vous êtes intéressé et vous allez faire un gros effort

⁴ Le B2i (brevet informatique et Internet) a vu le jour en 2001 ; il correspond à l'approche par les seules utilisations, et s'est révélé être un échec global malgré l'insistance de l'institution.

personnel d'apprentissage et de réflexion, soit vous n'en avez pas grand chose à faire et tout essai de formation autoritaire est évidemment voué à l'échec.

* * * * *

[...] *L'idée dominante était naguère que l'informatique, à la différence des mathématiques, de la physique, de la chimie, de la biologie, etc., était une science réservée à un petit nombre de spécialistes qu'il convenait de former après le baccalauréat. [...] La première raison (de former les gens) est que l'industrie, pour rester compétitive, a besoin non seulement des ingénieurs informaticiens, mais aussi que tous ses ingénieurs, techniciens, commerciaux... soient formés à l'informatique. Ce qui semble évident, par exemple dans l'industrie des télécommunications, est également vrai dans l'industrie des transports, de l'agroalimentaire, de la culture... L'informatique s'est imposée comme incontournable dans tous les métiers tout autant pour les chauffeurs de taxi que pour les chirurgiens.*⁵

* * * * *

On touche ici évidemment au nœud du problème : malgré des pesanteurs et contradictions diverses, l'EN est bien obligée de fournir aux entreprises françaises les personnels dont elles ont besoin. On peut regretter qu'il ait fallu si longtemps pour en prendre réellement conscience et commencer à mettre les pieds dans le plat, mais c'est au moins un début et l'extension de cet enseignement à d'autres classes que celles actuellement concernées ne devrait pas poser d'autre problème que le recrutement des enseignants... ce qui risque malheureusement de devenir dans les années futures une difficulté majeure, au même titre que le recrutement actuel d'enseignants de mathématiques. On voit mal comment on pourra embaucher des jeunes niveau bac+5 en mathématiques ou en informatique à un salaire de 1800 € nets par mois avec des possibilités de promotion très limitées, alors qu'embauchés en entreprise ils atteindront probablement le salaire de fin de carrière d'un enseignant en moins de 5 ans... À moins d'une « révolution » dans la gestion des personnels de l'EN, on voit mal comment n'importe quel gouvernement pourra répondre à la dramatique pénurie qui s'annonce⁶.

* * * * *

[...] *Une autre raison est qu'il est indispensable de maîtriser un petit nombre de concepts comme les notions d'information, de langage, d'algorithme... car ces concepts constituent des clés essentielles pour comprendre le monde présent. Comment comprendre les débats sur le vote électronique ou la protection de la vie privée, si on ne comprend pas les notions de chiffrement, de clé publique et privée, ou simplement d'authentification ? Comment comprendre que la dématérialisation des œuvres de l'esprit transforme la place des artistes dans nos sociétés, si on ne comprend pas qu'une propriété essentielle de l'information est d'être duplicable à coût*

⁵ Tout le monde n'est pas entièrement d'accord avec ces affirmations, voici le commentaire de B. Devauchelle dans le Café Pédagogique du 16/05/2013 à propos du rapport [AcadSciences2013] : « *Les auteurs du rapport sont, pour la quasi totalité d'entre eux, des spécialistes de la discipline elle-même. Connus et reconnus pour leur maîtrise du domaine, il aurait été intéressant qu'une tentative d'articulation plus large soit proposée et pas uniquement avec les disciplines proches [...]. La problématique de l'introduction d'une nouvelle discipline n'est pas qu'une problématique de cette discipline c'est une problématique plus large qui engage le projet de la nation pour l'école. Certes cette dimension transparait, mais trop enfermée dans sa dimension économico-industrielle. Or le travail qui est effectué à l'école ne se réduit pas à cette dimension, c'est ce qui en fait toute sa complexité. La dimension humaine de toute éducation ne peut se satisfaire de réponses techniques à des questions techniques.* ».

⁶ Par exemple le resserrement des grilles salariales de Professeur des Écoles et d'Enseignant du Secondaire (en lycée particulièrement) risque fort d'inciter une partie des étudiants à ne pas trop se casser la tête à passer le CAPES ou l'Agrégation... Il suffit par exemple de voir le niveau demandé en mathématiques et sciences au CRPE pour se dire qu'il est plus rapide et certainement moins risqué de commencer à travailler via le primaire... Quitte à utiliser les possibilités de promotion interne ultérieurement.

nul. [...] Tout autant que les objets et les systèmes, ces formes de raisonnement modifient en profondeur nos modes de pensée et nos manières d'être. [...] L'informatique doit donc être enseignée non seulement aux élèves de Terminale S, mais aussi à chaque élève, si nous voulons construire une société meilleure, plus humaine, plus démocratique, plus sociale.

* * * * *

Comment faire ? Quelles peuvent bien être les pistes qui permettront de mettre en œuvre ce programme ? Comme nous venons de le dire le recrutement des formateurs va être très compliqué, d'autant plus que la France a un besoin urgent et massif d'ingénieurs, de techniciens qualifiés et de cadres bien formés. La qualité des écoles d'ingénieur françaises est reconnue mondialement et le travail ne manque pas pour ces personnes, mais précisément c'est le talon d'Achille du système : si on vous propose un travail bien payé dans une entreprise américaine, espagnole ou allemande, avec divers avantages, n'aurez-vous pas intérêt à émigrer ? La mondialisation n'est pas un vain mot ! Par exemple il y a au bas mot 70 000 Français émigrés dans la Silicon Valley, ce ne sont certainement pas des ouvriers agricoles ou des femmes de ménage... La Grande Bretagne a un besoin dramatique d'ingénieurs, son système scolaire ravagé par des années d'abandon n'en produisant pas suffisamment : les entreprises anglaises viennent recruter chez nous... Et on pourrait multiplier les exemples *ad nauseam*.

Alors, ce sont sûrement les enseignants de mathématiques ou même de sciences physiques qui devraient s'y atteler, mais autant ils peuvent assurer leur partie en algorithmique, suffisamment proche des mathématiques pour qu'ils puissent s'adapter facilement, autant sur la partie langages, gestion de l'information, traitement des données et questions de société la motivation, le temps et la formation risquent d'être très nettement insuffisants.⁷

Par ailleurs divers acteurs non institutionnels ont décidé devant l'impéritie des pouvoirs publics de former les informaticiens d'aujourd'hui et de demain : Xavier Niel, fondateur d'Iliad (Free), a ouvert, de manière très médiatique, l'école « 42 » (<http://www.42.fr/>) destinée à la formation de 1000 informaticiens par an (programmeurs essentiellement) ; cette école qui ouvrira en septembre 2013 sortira du cursus standard, étant ouverte à tous les publics et ne délivrant pas de diplôme d'État⁸. Mais de telles initiatives existent depuis déjà longtemps : le fabricant américain de matériel Cisco a ouvert sa Cisco Networking Academy (CNA) en 2001 en France, 4 ans après son lancement US : à l'époque on estimait à 700 000 le nombre de postes à prendre dans l'informatique européenne.... La CNA est gratuite, ne fait pas de pub pour Cisco et propose un enseignement différencié suivant le niveau de départ. Objectifs : concevoir, installer et maintenir des réseaux informatiques. Les programmes de formation en e-learning de



⁷ On pourra consulter les textes suivants : [AcadSciences2013] et [SocieteInformatiqueFrance2013].

⁸ X. Niel : « Aujourd'hui, le système français ne marche pas. Il est coincé entre d'une part l'université, qui propose une formation pas toujours adaptée aux besoins des entreprises mais qui est gratuite et accessible au plus grand nombre, et d'autre part les écoles privées, chères, dont la formation est assez qualitative mais laisse sur le côté de la route le plus grand nombre de talents, voire de génies, que nous pourrions trouver en France.

Cisco sont également diffusés par des acteurs institutionnels comme les IUT de Marseille et Nancy, la CCI du Havre, des centres de formation AFPA, des écoles d'ingénieur ; le premier niveau de qualification, atteint par 49 % des candidats, le Cisco Certified Network Associate, est reconnu par l'ensemble des employeurs du secteur. Cisco cible également des publics en réinsertion, des bac à bac+2 sans qualification, des salariés en reconversion, des prisonniers... il suffit qu'ils montrent de l'appétence pour les Technologies de l'Information (<http://www.cisco.com/web/FR/events/training/cna>).

* * * * *

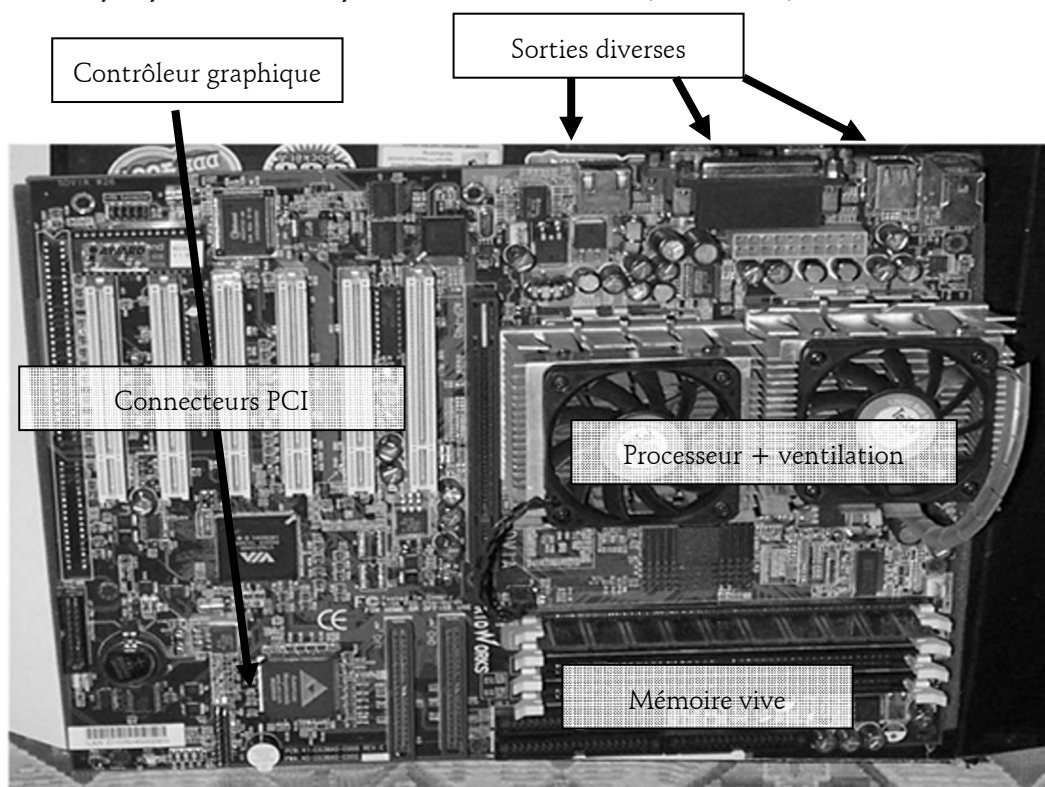
[...] Demain, chacun pourra être amené à devenir « créateur » d'objets informatiques. Depuis la conception d'une cuisine à celle d'un site Web, cette création est devenue la propriété de tous. Et on ne peut plus continuer à dire aux jeunes qui vivent cela, « passe ton bac d'abord, tu auras bien le temps plus tard de développer l'application dont tu rêves ! » Le but d'un enseignement de l'informatique doit donc être d'abord de garantir à tous des compétences fondamentales : on pourrait parler d'« alphabétisation » en informatique. L'enseignement de l'informatique pour tous nécessite, bien entendu, une réforme de longue haleine, en particulier parce qu'il faut former les maîtres. Il faut que l'informatique soit enseignée de façon approfondie aux futurs enseignants des écoles, des collèges et des lycées. Les enjeux sont trop importants pour attendre plus longtemps.

1.2 Comment ça marche ?

Un document assez complet à télécharger :

www.laurentbloch.org article *Système et réseau : histoire et technique*

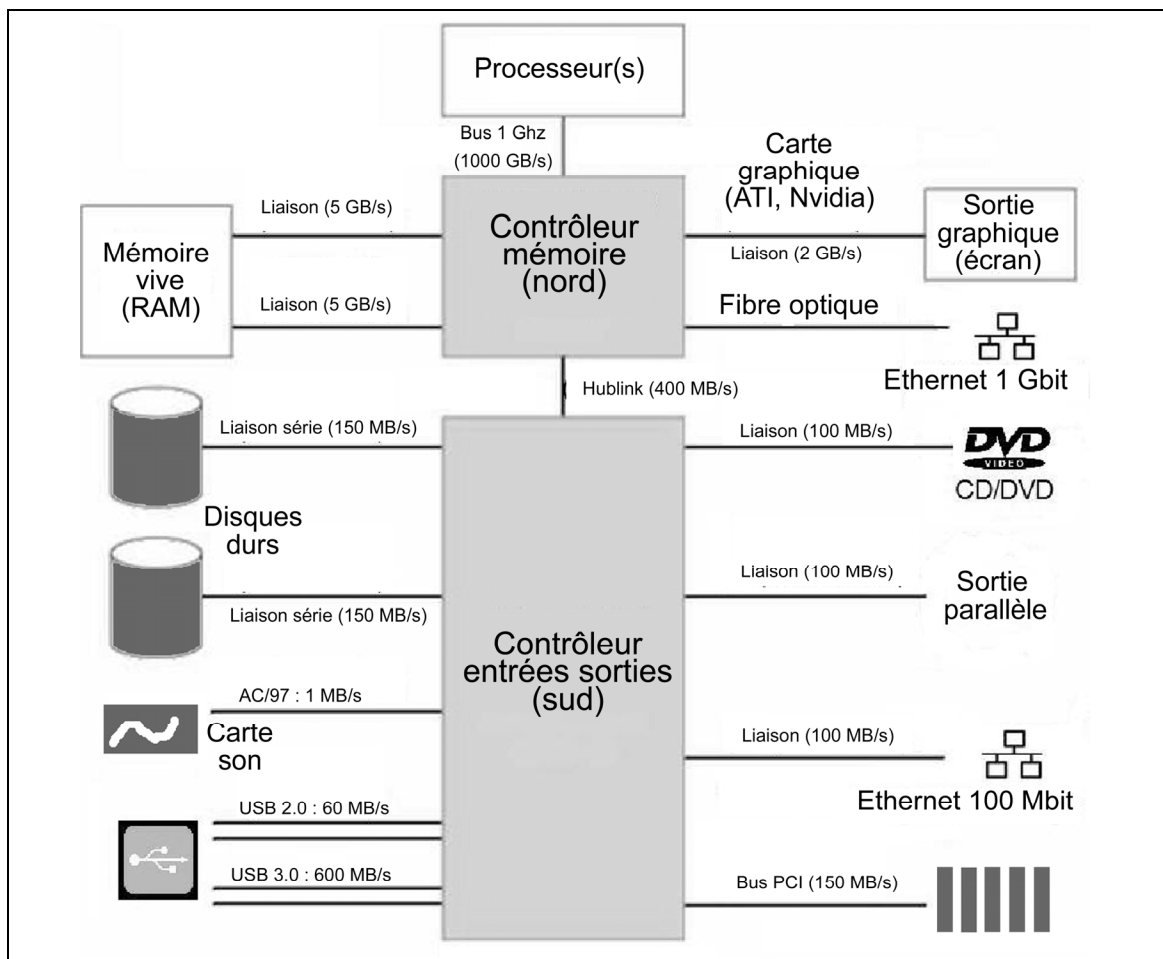
Ci-dessous quelques éléments importants d'une carte mère (format tour) datant de 2008.



S'appuyant sur des travaux d'Alan Turing (théorie de la calculabilité et *machine* de Turing, 1936) puis de Von Neumann (architecture, 1945), les premiers ordinateurs furent construits pendant la 2^e Guerre Mondiale puis améliorés juste après la Guerre. L'invention du transistor (1947) puis du circuit intégré (1958) et l'industrialisation qui s'en suivit dans les années 1970 a permis le développement massif de l'informatique moderne. Cette dernière a envahi tous les aspects de notre existence, facilitant grandement de larges pans de notre vie quotidienne... mais la Quête du Graal qui consiste pour les informaticiens en l'obtention d'une véritable intelligence artificielle semble encore hors de portée de nos possibilités même si diverses avancées se font jour actuellement grâce à l'augmentation de la puissance de calcul et surtout à une meilleure compréhension des mécanismes de notre raisonnement.

Il faut par ailleurs rappeler qu'un ordinateur n'est capable basiquement que de calculer sur des 0 et des 1, toutes les autres opérations s'appuyant intrinsèquement sur ces calculs... qui heureusement s'effectuent par milliards toutes les secondes...

1.2.1 Architecture matérielle



Un ordinateur est constitué de divers éléments électroniques permettant :

- de faire des calculs binaires en exécutant des programmes ou du code (processeurs, mémoires ROM) ;