

HISTOIRE DE L'INFORMATIQUE

Du calcul mécanique à l'intelligence artificielle

Sébastien Inion

ellipses

HISTOIRE DE L'INFORMATIQUE

Du calcul mécanique à l'intelligence artificielle

Sébastien Inion
Enseignant en informatique
en lycée et à l'IUT de Carcassonne

ellipses

Conception graphique couverture : Nathalie FOULLOY

ISBN 9782340-108448

Dépôt légal : octobre 2025

©Ellipses Édition Marketing S.A.
8/10 rue la Quintinie 75015 Paris

Le Code de la propriété intellectuelle et artistique n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1er de l'article L. 122-4).
Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

www.editions-ellipses.fr

AVANT-PROPOS

Écrire une histoire de l'informatique est une entreprise à la fois passionnante et redoutable tant le sujet est vaste et parfois insaisissable. Ce que l'on pourrait croire figée, évolue encore à la lumière de nouvelles découvertes d'archives ou d'interprétations renouvelées.

Ce livre ne prétend donc pas à l'exhaustivité. Il reflète une vision personnelle, façonnée par mes lectures, mes enseignements, mes rencontres et ma curiosité.

J'ai fait le choix de ne pas suivre une progression strictement chronologique. Au lieu d'un récit linéaire, j'ai préféré une approche thématique, où les grands domaines de l'informatique — machines, langages, usages, réseaux, etc. — sont explorés selon leurs dynamiques propres. Il en résulte parfois des recoupements, voire des répétitions : qu'on veuille bien les lire comme des échos ou des ponts entre les champs abordés.

Les controverses comme celle du « premier ordinateur » ou du « premier micro-ordinateur » sont souvent traversées de passions, de récits concurrents, de mémoires sélectives. L'histoire de l'informatique ne suit pas toujours un fil bien ordonné : elle est faite de tâtonnements, d'idées dans l'air, d'avancées simultanées. Plutôt que de chercher à tout classer ou figer, j'ai tenté de restituer cette complexité sans la simplifier à outrance.

Je tiens à remercier ici mes proches et mes amis pour leur patience, leur bienveillance et leurs encouragements. Ce livre m'a demandé du temps, de l'énergie, parfois même un peu de solitude, de silence et de pensée. J'espère qu'il saura transmettre quelques clés, éveiller la curiosité, offrir du plaisir de lecture, et peut-être même, chez certains, un brin de nostalgie.

Carcassonne, avril 2025

TABLE DES MATIÈRES

1 Introduction générale à l'informatique **1**
1.1 Définition de l'informatique et son importance 2
1.2 L'informatique comme science et technologie 3
1.3 Importance de l'informatique 4
1.4 Présentation des thèmes abordés 5

2 La préhistoire de l'informatique **7**
2.1 La représentation de l'information 8
2.2 L'histoire du calcul 13
2.3 Découvertes clés à l'origine de l'informatique 19
2.4 Des premières « machines » à l'ordinateur 22

3 Quelques pionners **33**
3.1 Charles Babbage : une machine analytique 34
3.2 Ada Lovelace, première programmeuse 36
3.3 Alan Turing et la théorie de la calculabilité 37
3.4 John von Neumann : l'architecte de l'ordinateur moderne . 40
3.5 Claude Shannon et la théorie de l'information 43

4 Les Inventions Fondatrices de l'Informatique **47**
4.1 Lampe à vide 48
4.2 Le transistor 49
4.3 Le circuit imprimé 52
4.4 Le circuit intégré 53
4.5 Les transistors CMOS 54
4.6 Le microprocesseur 56

4.7 Le laser 60
4.8 La carte à puce 61

5 L'évolution du matériel informatique 65
5.1 Des calculateurs aux ordinateurs modernes 66
5.2 Les ordinateurs européens des années 1950 101
5.3 La première génération : les Tubes à vide 102
5.4 La deuxième génération : les transistors 105
5.5 La troisième génération : les circuits intégrés 107
5.6 La quatrième génération : le microprocesseur 110
5.7 La cinquième génération : IA et architecture parallèle . . . 116
5.8 La sixième génération : multi-cœurs et cloud computing . . 119
5.9 L'Apple II prêt à l'usage 121
5.10 La micro-informatique 123
5.11 Les compatibles PC 136
5.12 Les smartphones 137
5.13 Le cloud computing 137

6 L'évolution de l'interface Homme-Machine 139
6.1 Interface Homme-Machine 140
6.2 Le crayon optique 140
6.3 La souris 141
6.4 L'interface graphique 141
6.5 La reconnaissance de l'écriture humaine 142
6.6 L'écran tactile 144
6.7 Reconnaissance et synthèse de la parole 145
6.8 Le casque de réalité virtuelle 146
6.9 Langages de programmation 147
6.10 Introduction aux mémoires informatiques 150
6.11 Les premiers systèmes de stockage 150
6.12 Les supports magnétiques 153
6.13 Les mémoires internes des ordinateurs 156
6.14 Les supports optiques 158
6.15 Les mémoires flash et modernes 159
6.16 IBM et les SGBD 161

7 Les langages de programmation 163
7.1 Les premiers langages : Assembleur, Fortran 164
7.2 La recherche d'une standardisation : Cobol 167
7.3 Le BASIC et la programmation accessible 169
7.4 La programmation structurée : Pascal, C 171

7.5 Vers une nouvelle Approche : La POO 174
7.6 Premiers langages pour l'IA 180
7.7 Les langages modernes et la programmation d'aujourd'hui . 182

8 Les systèmes d'exploitation 187
8.1 Qu'est-ce qu'un système d'exploitation ? 188
8.2 Les premiers systèmes d'exploitation 189
8.3 L'avènement des OS 190
8.4 Les système graphiques (1990-2000) 193
8.5 La diversité des OS 196

9 Les premiers logiciels professionnels 201
9.1 dBase et la gestion des bases de données 202
9.2 WordStar 202
9.3 VisiCalc le premier tableur ! 202
9.4 WordPerfect 202
9.5 dBase II 203
9.6 Multiplan 203
9.7 AutoCAD 203
9.8 Lotus 1-2-3 204
9.9 Microsoft Excel 204
9.10 Microsoft Word 204

10 Les géants de l'informatique 205
10.1 IBM 206
10.2 Hewlett-Packard 209
10.3 L'histoire de la Silicon Valley 210
10.4 Xerox et le rendez vous manqué ! 212
10.5 Intel 214
10.6 Microsoft 215
10.7 Apple 218
10.8 Bull, Google, Facebook 221

11 L'informatique et la société 223
11.1 les enjeux militaires 224
11.2 L'informatique dans la société civile 227
11.3 La révolution d'Internet et l'économie numérique (1980-2000) 236
11.4 Internet au 21e siècle 238

12 L'évolution de la communication **241**
12.1 L'imprimerie 242
12.2 Le télégraphe 243
12.3 Le téléphone 244
12.4 La télévision 245
12.5 L'imprimante 247
12.6 Le réseau SAGE 249
12.7 ARPANET 250
12.8 Internet 251
12.9 1971 : le courrier électronique 251
12.10La reconnaissance vocale 252
12.11Explosion du Web, services en ligne et réseaux sociaux. . . 253

13 Conclusion et perspectives futures **255**
13.1 L'I.A. 256
13.2 Ordinateurs quantiques et biologiques. 259
13.3 Défis éthiques et environnementaux. 260
13.4 Informatique et éducation. 262

14 Chronologie des événements clés **267**

15 Biographies des figures majeures **275**

Bibliographie **285**

Index **287**

CHAPITRE 1

INTRODUCTION GÉNÉRALE À L'INFORMATIQUE

L'informatique est bien plus qu'une simple discipline technique : elle est au cœur de nombreuses innovations et de notre quotidien. Ce chapitre propose d'explorer cette science en commençant par définir précisément ce qu'est l'informatique et en soulignant son importance croissante. Cette introduction nous permettra d'examiner comment l'informatique se positionne à la fois comme une science théorique et une technologie appliquée. L'impact de l'informatique dans la société moderne sera également mis en lumière, avant de terminer par une présentation des principaux thèmes qui seront développés dans cet ouvrage.

1.1 Définition de l'informatique et son importance

L'informatique peut être appréhendée de diverses manières, en fonction du contexte dans lequel elle est utilisée ou de l'approche que l'on adopte pour la définir. Pour en cerner les contours, il est essentiel de remonter à l'origine même du terme *informatique* afin de mieux en comprendre les fondements.

Ce mot a été créé dans les années 1960 par l'ingénieur français *Philippe Dreyfus* pour désigner le traitement *automatique* de l'*information* par des machines. [1]

Le désir d'automatisation des tâches remonte toutefois à bien plus loin : dès l'Antiquité, des dispositifs comme les *clepsydres* (horloges à eau) ont été inventés pour mesurer le temps de manière autonome. Au fil des siècles, l'homme n'a cessé de concevoir des machines de plus en plus sophistiquées pour accomplir des tâches répétitives ou complexes, qu'il préfère déléguer.

L'information, pilier central de l'informatique, se distingue par son double aspect : le sens et la forme. Elle permet, par exemple, de traduire un phénomène naturel, comme la température d'une pièce, en une donnée exploitable. Le sens correspond à l'interprétation de cette donnée, permettant de déterminer si la pièce est trop chaude, trop froide ou confortable. La forme désigne sa représentation : elle peut être numérique (comme 23, avec une unité telle que Celsius) ou symbolique (un indicateur de couleur, par exemple : bleu pour le froid, rouge pour la chaleur).

Un élément encodé sous forme de symboles peut être traité indépendamment de son sens, ce qui le rend exploitable par des systèmes automatiques s'appuyant sur des concepts formels issus des mathématiques, comme l'algèbre de Boole et la logique propositionnelle.

Pour mesurer la température, un outil est nécessaire, tel qu'un thermomètre. Pour suivre l'évolution de cette température, il est également indispensable de mémoriser les valeurs successives dans le temps.

Ainsi, l'informatique peut être définie comme la science du traitement automatique de l'information par des machines. Elle regroupe l'ensemble des techniques, des concepts et des outils permettant de stocker, traiter, transmettre et représenter les données de manière automatisée, via des systèmes numériques comme les ordinateurs, les réseaux ou les dispositifs intelligents.

Aujourd'hui, l'informatique est omniprésente dans tous les secteurs d'activité, qu'il s'agisse de la santé, de l'éducation, de l'industrie, de la recherche scientifique ou encore des médias. Elle facilite la résolution de problèmes

1. Philippe Dreyfus est considéré comme l'un des pionniers de l'informatique en France.

complexes, l'automatisation des tâches répétitives et favorise la communication et l'échange d'informations à l'échelle mondiale.

L'essor de l'intelligence artificielle et de l'Internet des objets [2] montre que l'informatique dépasse aujourd'hui les ordinateurs traditionnels pour s'intégrer dans les objets du quotidien et les grandes infrastructures.

Ainsi, l'informatique ne cesse de repousser les frontières de l'innovation, en s'inscrivant toujours plus profondément dans le tissu de nos sociétés modernes.

1.2 L'informatique comme science et technologie

À travers l'exemple précédent de la mesure de la chaleur, nous avons vu qu'il nous fallait un outil : le thermomètre. Mais pour que cet outil voit le jour il a fallu des découvertes fondamentales en sciences. L'informatique est ainsi à la confluence de la **science** et de la **technologie**. Nous allons expliquer brièvement ces termes souvent employés mais mal compris.

Qu'est-ce qu'une science ?

La **science** est l'ensemble des connaissances acquises par l'étude, l'observation, et l'expérimentation, visant à comprendre le fonctionnement de la nature. Elle repose sur des méthodes rigoureuses pour découvrir des lois, des théories et des principes expliquant les mécanismes du monde.

En tant que science, l'informatique se concentre sur l'étude des modèles de calcul, des algorithmes et des structures de données. Elle explore des questions théoriques comme : quelles sont les limites du calcul ? Quels problèmes peuvent être résolus par des machines, et dans quelles conditions ? Ces questions sont abordées à travers des domaines comme la *complexité algorithmique*, la *logique mathématique*, la *théorie des automates*, et la *calculabilité*.

Qu'est-ce qu'une technologie ?

La **technologie** est l'application pratique des connaissances scientifiques pour créer des outils, des machines, et des techniques permettant de résoudre des problèmes concrets et d'améliorer la vie quotidienne. Elle transforme les découvertes scientifiques en innovations utiles et fonctionnelles.

2. L'Internet des Objets (IoT – Internet of Things) désigne l'ensemble des objets connectés capables de collecter, échanger et traiter des données de manière autonome.

En tant que technologie, l'informatique regroupe des matériels (hardware) et des logiciels (software) pour traiter les données et résoudre des problèmes de façon automatisée. Les ordinateurs, les réseaux, les systèmes embarqués, et les smartphones sont des exemples de technologies informatiques qui exécutent des algorithmes pour répondre à des besoins variés dans des domaines comme la santé, l'industrie, et les transports.

Les avancées technologiques récentes, telles que l'intelligence artificielle, les réseaux neuronaux et l'informatique quantique, montrent comment les découvertes scientifiques se traduisent en innovations concrètes. Ces technologies permettent de résoudre des problèmes complexes, de manipuler de grandes quantités de données et de fournir des solutions adaptées à des besoins spécifiques.

La convergence entre science et technologie

L'informatique est un exemple frappant de la manière dont la science et la technologie convergent. D'une part, les avancées théoriques en calculabilité et en algorithmique permettent de créer des technologies toujours plus performantes. D'autre part, les nouvelles technologies, comme les ordinateurs quantiques ou les réseaux neuronaux, ouvrent la voie à de nouveaux champs d'exploration scientifique, permettant de résoudre des problèmes jugés jusqu'ici inaccessibles.

1.3 Importance de l'informatique

L'informatique a permis d'automatiser de nombreuses tâches, augmentant la productivité dans divers secteurs tels que l'industrie, la gestion des données et les services. Cette automatisation permet d'effectuer des actions complexes avec rapidité et précision, tout en réduisant les erreurs humaines.

La révolution des communications est également l'une des contributions majeures de l'informatique. En effet la communication à distance est finalement apparue tard dans l'histoire de l'humanité. Grâce à *Internet* et aux réseaux, les échanges d'informations sont instantanés, connectant des milliards de personnes à travers le monde. Les réseaux sociaux, le télétravail et les services de communication numérique ont profondément transformé la manière dont nous interagissons, travaillons et consommons des informations.

Dans le domaine de la santé, l'informatique a permis des avancées cruciales, notamment grâce aux systèmes de gestion de dossiers médicaux, à la télémédecine et à l'intelligence artificielle, qui améliore le diagnostic médical. L'accès à l'éducation a également été révolutionné grâce aux pla-

teformes d'apprentissage en ligne, rendant les connaissances accessibles à un public plus large.

L'informatique est devenue un acteur majeur de l'innovation et de la croissance économique, favorisant le développement de nouvelles technologies comme l'intelligence artificielle, l'Internet des objets, et les villes intelligentes. Elle est désormais incontournable dans presque tous les secteurs, façonnant l'avenir de la société moderne de manière profonde et continue.

1.4 Présentation des thèmes abordés

Pour mieux appréhender l'importance de l'informatique, nous explorerons dans cet ouvrage ses origines, son évolution et son impact sur la société contemporaine. Ce livre propose un voyage passionnant à travers l'histoire de l'informatique, en explorant ses origines, ses évolutions, et ses répercussions sur la société moderne. Nous commencerons par les premières tentatives de formalisation du calcul avec des figures emblématiques comme *Charles Babbage* et *Ada Lovelace*, qui ont posé les bases des machines à calculer. Ensuite, nous examinerons l'avènement des premiers ordinateurs au milieu du XX^{e} siècle, comme le *Colossus* et l'*ENIAC*, ainsi que les contributions d'*Alan Turing* à la théorie de l'informatique.

L'évolution du matériel sera un fil conducteur, depuis les premiers ordinateurs encombrants jusqu'aux micro-ordinateurs, en passant par les transformations majeures qu'ont apportées les transistors et les circuits intégrés. Nous explorerons aussi le développement des *langages de programmation*, du *FORTRAN* à *Python*, en montrant comment ils ont permis aux développeurs de mieux exprimer leurs idées et d'automatiser des tâches toujours plus complexes.

Les grands acteurs de l'informatique ne seront pas oubliés, des premiers pionniers jusqu'aux géants actuels comme *Apple*, *Microsoft*, et *Google*, avec un regard sur leurs contributions à l'évolution technologique. Enfin, ce livre mettra en lumière les défis contemporains, notamment l'essor de l'intelligence artificielle, l'importance des *données* et de la *cybersécurité*, et les transformations sociétales provoquées par la révolution numérique. En lisant ce livre, vous découvrirez comment l'informatique a redéfini notre monde et continue de le transformer à un rythme effréné.

CHAPITRE 2

LA PRÉHISTOIRE DE L'INFORMATIQUE

Dans son sens premier, la préhistoire désigne la période de l'histoire humaine qui précède l'invention de l'écriture. De même, ici, je considère la « préhistoire de l'informatique »comme la période qui précède l'invention des premiers ordinateurs électroniques, tels Colossus (1943) et ENIAC (1945). Ce choix aussi arbitraire que personnel fait basculer Alan Turing dans la préhistoire lui qui proposa le premier le modèle théorique de la science informatique moderne...Cette période aussi riche que passionnante, nous dévoile ce terreau fertile dans lequel l'informatique moderne plongera ses racines les plus profondes. Elle vous montrera pourquoi l'homme a voulu compter et réguler, comment sa représentation de l'information à évolué au cours du temps et les découvertes fondamentales qui ont permis l'émergence de ces premiers ordinateurs.

2.1 La représentation de l'information

Dans le chapitre précédent, nous avons abordé la notion d'information en montrant comment une suite de symboles peut prendre un sens selon le contexte, et comment cette information peut être codée et transmise.

Mais finalement pourquoi l'homme a-t-il eu besoin de représenter l'information et, par la suite, de la traiter ? Même si cela semble évident aujourd'hui, il faut remonter à la préhistoire (la vraie cette fois !) pour comprendre l'origine de ce besoin.

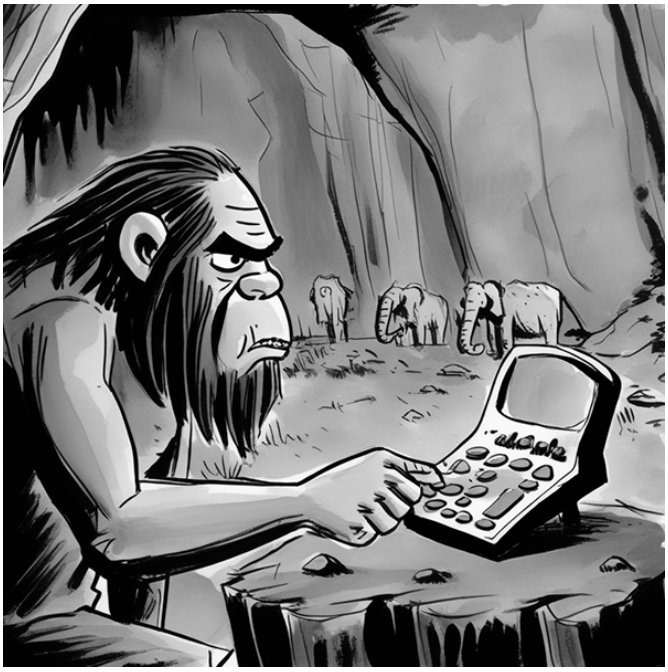


FIGURE 2.1 – Compter les mammouths
Auteur : Sébastien Inion. Licence : CC BY-SA 3.0.

Il y a environ 11 700 ans, la fin de la dernière grande glaciation marque le début de l'Holocène, une période caractérisée par un réchauffement climatique significatif. Ce changement climatique bouleverse le mode de vie de l'homme, qui passe progressivement du chasseur-cueilleur à celui d'agriculteur [3].

L'agriculture exige de nouvelles compétences : les hommes doivent apprendre à observer et à anticiper les cycles saisonniers pour savoir quand semer et récolter leurs cultures. Pour cela, ils commencent à observer les phénomènes naturels de manière plus systématique et doivent trouver des

moyens de noter et de conserver ces informations pour pouvoir les utiliser d'une saison à l'autre. Cela marque le début d'une représentation de l'information structurée et durable.

Le développement de l'agriculture a également conduit à la nécessité de délimiter des terres pour les cultures, ce qui implique des mesures et des bornages. Il fallait planifier la distribution des champs et organiser la production. En plus de cela, la gestion des stocks de nourriture, en prévision des périodes de disette ou d'hiver, est devenue cruciale, ce qui a entraîné un besoin de compter et de calculer les ressources disponibles.

Avec l'établissement des villages et des premières civilisations agricoles, les échanges entre tribus et communautés se sont multipliés. Le commerce, que ce soit des surplus agricoles ou d'autres biens, a alors pris de l'ampleur. Cela a fait émerger de nouveaux besoins en comptabilité, pour suivre les échanges, mesurer les quantités et établir des équivalences dans les trocs. La représentation et le traitement de l'information ont donc pris une importance croissante pour permettre le développement des échanges commerciaux et des sociétés plus complexes.

Ce passage de la survie immédiate à la planification à long terme a marqué une étape clé dans l'évolution humaine. Il a marqué le début de la nécessité de représenter l'information et de calculer, autant pour gérer les ressources agricoles que pour structurer les échanges économiques. Mais comment à évoluer cette représentation de l'information ?

Les boules et jetons d'argile de l'Asie Occidentale

Les **boules et jetons d'argile** de l'Asie Occidentale sont considérés comme l'un des premiers moyens utilisés pour représenter des informations de manière abstraite, bien avant l'invention de l'écriture. Ces objets, souvent appelés *calculi* (ce qui veut dire « petits cailloux »et donnera naissance au mot calcul), ont été utilisés dès environ 8000 avant notre ère dans les régions qui correspondent aujourd'hui à l'Iran, l'Irak et la Syrie, à une époque où l'agriculture et le commerce commençaient à prendre de l'ampleur dans ces premières civilisations.

En effet l'un des problèmes qui se posent alors est : comment comparer la taille du troupeau qui est parti en pâturage avec celui qui est revenu ? [6] Les boules et jetons d'argile servaient principalement à représenter des *quantités* d'objets ou de ressources, comme du bétail, des grains ou des jarres d'huile. Chaque jeton avait une forme spécifique, correspondant à une denrée particulière. Par exemple, un cône pouvait représenter une mesure de céréales, tandis qu'une sphère pouvait symboliser un bétail. Comme la confiance ne régnait pas, déjà à cette époque, se posait la question de

qui garde ces jetons ? En effet voler un mouton serait facile en retirant simplement un caillou. Pour éviter ça, les jetons étaient conservés dans des enveloppes d'argile creuses appelées **bulles** ou *balles*, qui étaient scellées. On voit déjà ici toute la réflexion sur le stockage de l'information et les premiers soucis de piratage !



FIGURE 2.2 – La bulle-enveloppe et ses jetons (vers 3300-3100 av. J.-C.)
Licence : Domaine public.

Ces systèmes de jetons et d'enveloppes représentaient un outil essentiel pour la gestion des *ressources* dans ces sociétés naissantes, marquant une étape importante dans l'évolution de la **représentation de l'information**. Au lieu de s'appuyer uniquement sur la mémoire ou des échanges verbaux, les hommes de cette époque ont commencé à utiliser des objets physiques pour *encoder* et *stocker des informations* sur leurs biens et transactions. On peut considérer ces boules d'argiles comme le début du traitement rationnel de l'information.

L'écriture

Revenons à nos moutons ! Nous avons donc des jetons scellés à l'intérieur de balles d'argile. Pour vérifier s'il manque des moutons, il faut casser ces balles, car sans cela, il est impossible de connaître le contenu. Le simple fait de « compter »les moutons est une opération rudimentaire : on place un caillou à chaque fois qu'un mouton part au pâturage et on en retire un lorsqu'il rentre. Si des cailloux restent à la fin de la journée, c'est qu'il manque des moutons. Ce système fonctionnait tout aussi bien pour des bœufs, des girafes, ou des éléphants. Et c'est à ce moment-là qu'un véritable bond en avant a été réalisé.

Au lieu de devoir casser la balle à chaque vérification, les hommes ont eu l'idée ingénieuse de **dessiner sur l'extérieur de la balle les jetons qu'elle contenait**. Ainsi, l'information pouvait être obtenue sans briser l'enveloppe. Cette avancée a été cruciale, car elle a permis de stocker et de consulter l'information visuellement sans détruire le contenant. Bientôt, il est devenu évident que les jetons eux-mêmes devenaient superflus : les dessins suffisaient à représenter l'information. Il n'était plus nécessaire de sceller les jetons, il suffisait de graver des symboles sur l'argile.

C'est ainsi qu'est née l'écriture. Plus précisément l'écriture cunéiforme [1]. Ces coins étaient gravés dans de l'argile fraîche, la pierre, le métal et plus tard sur des tablettes de cire.

Ce simple geste de tracer des symboles a constitué un pas fondamental pour l'humanité, permettant de **représenter l'information de manière abstraite et permanente**. Cela a révolutionné la manière dont les sociétés pouvaient stocker et transmettre des données. Les premiers systèmes d'écriture ont non seulement facilité la gestion des biens et des ressources, mais ils ont aussi permis l'émergence de systèmes plus complexes, que l'on pourrait comparer à nos bases de données modernes.

De ce besoin de compter les moutons est née la possibilité de **communiquer et d'organiser de l'information à grande échelle**. La représentation symbolique des objets est à l'origine des concepts d'abstraction et de traitement de l'information, qui sont aujourd'hui l'essence même de nos systèmes informatiques.

Le binaire de Fou Hi

Quelques milliers d'années après les premières tentatives d'écriture symbolique en Mésopotamie et en Égypte, un autre pas important vers nos systèmes modernes a été franchi par l'introduction de la représentation bi-

1. En forme de coin : cuneus en latin.

naire. L'empereur légendaire *Fou Hi*[2] est souvent crédité d'une découverte remarquable : le système binaire, fondé sur la représentation de l'information en deux états, symbolisés par des traits pleins et des traits brisés. Fou Hi aurait utilisé cette méthode pour représenter des concepts complexes sous forme simple. Plutôt que de s'appuyer sur une multiplicité de symboles, l'idée était de coder l'information avec seulement deux valeurs de base : un trait plein, qui représentait l'unité ou l'affirmation, et un trait brisé, symbolisant le zéro ou la négation. Ce système se retrouve dans les célèbres *Trigrammes du Yi Jing*, qui décrivent la dualité du Ying et du Yang.

Le binaire de Leibnitz

Gottfried Wilhelm Leibniz[3], philosophe et mathématicien allemand, est largement reconnu pour avoir formalisé le système binaire au XVII^{e}. Sa découverte du système binaire est l'une des contributions les plus importantes à l'histoire des mathématiques et, indirectement, à l'informatique moderne.

Leibniz s'intéressait à la simplification des calculs et à la recherche d'un système plus simple que le système décimal. Il chercha à représenter les nombres uniquement à l'aide de deux symboles, qu'il considérait comme une abstraction des concepts de « rien »(0) et « quelque chose »(1). En 1703, il publie son travail intitulé « *Explication de l'Arithmétique Binaire* », où il décrit ce système.

Leibniz voyait dans le binaire une correspondance avec des concepts philosophiques et religieux : il associait le 1 à Dieu, et le 0 à l'univers avant la création. Pour lui, le binaire était une manière de représenter la dualité présente dans la nature et la logique, comme l'opposition entre le bien et le mal, le tout et le rien. Dans son système, les nombres étaient représentés uniquement par des 0 et des 1.

Par exemple : 1 est représenté par 1 en binaire, 2 par 10, 3 est représenté par 11, etc.

Leibniz démontra également comment réaliser les opérations arithmétiques de base (addition, soustraction, multiplication) en utilisant des nombres binaires. En effet, lors de ses recherches sur le binaire, il correspondit avec des érudits chinois et découvrit des similitudes entre son système binaire et les 64 hexagrammes du Yi Jing, qui avaient influencé sa réflexion.

Sa découverte du binaire va jouer un rôle très important pour l'informatique. En effet le binaire est un pilier fondamental des ordinateurs et des

2. Biographie page : 280

3. Biographie page : 281

technologies numériques, Il a permis de simplifier le traitement des données par des machines en résumant toutes les informations par une suite de 0 et de 1 combiné.

2.2 L'histoire du calcul

Depuis les premières civilisations humaines, il y a environ 40 000 ans, le besoin de mesurer et de s'organiser à poussé l'homme à inventer des outils et des concepts pour calculer. Il y a 40 000 ans ce n'était pas avec une calculatrice scientifique programmable en Python mais en inscrivant des entailles dans le bois ou sur des os.

C'est avec l'agriculture et la vie plus sédentaire et citadine que l'homme développe au IV^{e} millénaire avant J.-C. en Mésopotamie un vrai système de numération. C'est le système de jetons en argile [4].

Un peu plus tard les Babyloniens amènent les caractères « cunéiformes » [5]. Puis au III^{e} millénaire, une nouvelle étape est franchie : la représentation des nombres n'est plus directement liée aux objets comptés. En effet, auparavant, si l'on comptait des moutons, on utilisait un symbole, pour une girafe un autre symbole. Désormais, le nombre existe en tant que concept abstrait, détaché de la réalité matérielle.

Hormis le système de représentation, un calcul représente une suite d'étapes à suivre dans un ordre précis. Comme cette démarche est toujours identique et peut être définie à l'avance, l'idée de créer des outils pour faciliter ces calculs est apparue très tôt.

Les premiers outils de calcul, comme les abaques, représentaient une avancée dans la gestion des quantités et des transactions commerciales. Parallèlement, la logique, en tant que discipline philosophique, a fourni un cadre structuré pour raisonner et résoudre des problèmes. Par la suite et nous le verrons dans la partie *2.4* d'autres machines pour calculer seront inventées souvent pour s'éviter de longs et fastidieux effort devant des tâches répétitives.

C'est à travers ces progrès que des savants comme *Al-Khwarizmi*[6] ont introduit les premiers algorithmes, formalisant ainsi des méthodes de calcul qui se perpétuent encore aujourd'hui dans l'informatique moderne. En généralisant, on peut même dire que toute méthode consistant à représenter la solution d'un problème sous forme d'étapes à suivre relève d'une démarche algorithmique.

4. Voir partie : 2.1

5. En forme de coins et qui ressemblent à des clous.

6. Voir page 15

L'introduction du zéro dans le système de numération a constitué une véritable révolution dans l'histoire des mathématiques. Elle a permis une gestion plus précise des grands nombres ainsi que la réalisation de calculs complexes, ouvrant la voie à des avancées majeures dans la représentation numérique.

Cette quête de perfection dans le calcul ne s'est pas arrêtée là. Au XIX^{e} siècle, l'algèbre de Boole a posé les bases des systèmes logiques qui serviront à la construction des circuits logiques et des ordinateurs modernes. Chaque étape de cette évolution témoigne du génie humain pour repousser les limites du calcul et de la manipulation des données, ouvrant la voie à l'informatique et aux technologies que nous utilisons quotidiennement.

Des premières marques laissées sur des os jusqu'aux systèmes complexes d'aujourd'hui, l'histoire du calcul est jalonnée d'innovations majeures qui ont permis à l'humanité de mieux comprendre et manipuler le monde qui l'entoure. C'est une histoire passionnante que je vous propose de découvrir ensemble.

Les abaques et les bouliers

L'abaque est l'un des premiers outils de calcul utilisés par l'humanité, remontant à plusieurs millénaires. Conçu pour simplifier les opérations arithmétiques comme l'addition, la soustraction, la multiplication, et parfois la division, l'abaque se compose de colonnes représentant une valeur spécifique (unités, dizaines, centaines, etc.). À l'origine on pense que ces lignes étaient simplement tracées dans le sable et on disposait alors des coquillages ou cailloux pour indiquer une valeur.

Son principe de fonctionnement est assez simple et repose sur le placement et déplaçant de jetons pour effectuer des calculs. Le système de valeurs positionnelles est la condition de l'utilisation de l'abaque : chaque déplacement de jetons change la valeur représentée, permettant de réaliser des calculs de manière visuelle sans avoir besoin d'écrire les nombres.

Les abaques et les bouliers sont tous deux des outils anciens de calcul, mais ils présentent quelques différences.

L'abaque désigne un ensemble plus général d'instruments de calcul et peut prendre différentes formes selon les cultures et les époques. Traditionnellement, comme nous venons de le voir, l'abaque est une surface divisée en colonnes ou en lignes où l'on peut disposer des jetons ou des galets pour représenter des nombres alors que le boulier se compose d'un cadre rectangulaire avec des tiges parallèles sur lesquelles sont enfilées des perles mobiles. Les perles sont fixées et peuvent être déplacées le long des tiges pour représenter des valeurs numériques.

Le boulier d'Asie[7], comme le suanpan chinois, possède entre neuf et treize rangées, avec deux boules dans la partie supérieure (ciel) valant 5 et cinq boules dans la partie inférieure (terre) valant 1. Ce système permet de représenter les nombres de 0 à 9 dans chaque colonne, et chaque rangée représente une puissance de dix différentes : unités, dizaines, centaines, milliers, dizaines de milliers, centaines de milliers, millions, etc.

En plus de son rôle dans le calcul, l'abaque et le boulier ont influencé le développement des systèmes de numération et de notation, notamment la base décimale. Bien qu'il ait été progressivement remplacé par des méthodes écrites et des machines à calculer modernes, son principe de calcul visuel et manipulable reste fondamental dans l'évolution des outils de calcul et constitue le premier outil de calcul interactif.

La logique

La logique trouve ses racines dans la philosophie grecque, avec Aristote, qui a développé le premier système formel de syllogismes.

La logique représente une avancée majeure dans l'histoire du calcul, car elle permet d'organiser le raisonnement mathématique de manière systématique. En effet avant l'introduction de la logique formelle, les raisonnements mathématiques étaient souvent intuitifs ou basés sur des preuves empiriques. La logique, en tant que discipline, a introduit des règles et des principes clairs pour enchaîner les idées et arriver à des conclusions. Grâce à ces règles, il devient possible de vérifier chaque étape d'un raisonnement, assurant qu'elle est cohérente avec les principes logiques établis.

En introduisant des règles précises, la logique a permis d'appliquer des opérations complexes sur des concepts de vrai et de faux, posant ainsi les bases du raisonnement automatisé. Cette formalisation a également joué un rôle crucial dans la création d'algorithmes, en intégrant des opérations conditionnelles (comme IF, THEN, ELSE), que l'on retrouve dans tous langages de programmation et qui permettent de prendre des décisions dans un processus de calcul et de traitement.

Les premiers algorithmes avec Al-Khwarizmi

Les premières tentatives de définition des algorithmes remontent à l'Antiquité. Bien que le concept moderne d'algorithme n'ait émergé qu'avec les travaux de mathématiciens plus récents, l'idée que la connaissance puisse

7. Au Japon, en Chine, et dans d'autres pays d'Asie, le boulier (notamment le soroban japonais et le suanpan chinois) est toujours utilisé dans les écoles pour enseigner les mathématiques.

être exprimée de manière structurée et logique était déjà présente chez les philosophes de l'Antiquité.

Platon, par exemple, explore dans ses dialogues la nature de la connaissance et la manière dont les concepts peuvent être définis et compris. Dans *Ménon*, il examine la possibilité d'enseigner la vertu en la définissant et en la discutant, ce qui implique que la connaissance peut être articulée à travers des énoncés clairs. De plus, dans *Le Banquet*, il est dit que « La connaissance des mots conduit à la connaissance des choses » [8].

Cette perspective, bien qu'ancienne, reflète l'idée que, selon Platon, la connaissance peut être exprimée et transmise par le biais d'énoncés et de définitions. Ainsi, bien avant l'émergence de l'informatique moderne, l'idée d'une formalisation de la pensée était déjà présente dans la philosophie grecque.

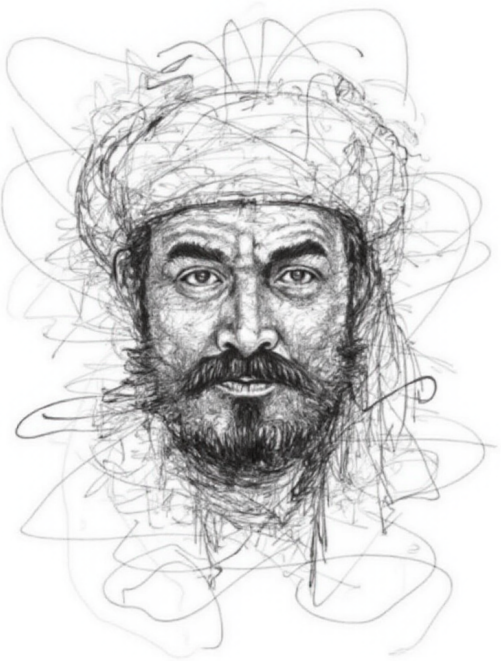


FIGURE 2.3 – Al-Khwarizmi
Auteur : Sébastien Inion. Licence : CC BY-SA 3.0..

La formalisation de la logique a permis de structurer le raisonnement

8. Platon, *Le Banquet*, cité par `https://evene.lefigaro.fr/citations/platon`

mathématique, ouvrant la voie à des méthodes de calcul plus avancées et organisées. Cette structuration du raisonnement a ensuite été appliquée pour résoudre des problèmes concrets grâce à des procédures systématiques. C'est dans ce contexte que le mathématicien persan *Abu Ja'far Mohammed Ibn Musa Al-Khwarizmi*, au IX^e^ siècle, introduit les premiers concepts d'algorithmes dans son ouvrage : *Le Livre du calcul par la restauration et la comparaison.*

Dans ce traité, *Al-Khwarizmi* (voir *Biographie*, page 275) présente des méthodes pour résoudre des équations en appliquant une série d'étapes organisées et précises pour parvenir au résultat voulu. Ce processus, consistant à décomposer un problème en opérations successives, est ce que l'on appelle aujourd'hui un algorithme. D'ailleurs, le terme « algorithme »est directement dérivé de son nom, Al-Khwarizmi, francisé au fil du temps en « Algorismi »puis « algorithme »en français, pour désigner toute suite de règles ou d'étapes permettant de résoudre un problème de manière systématique.

En introduisant une méthode systématique pour résoudre des problèmes, Al-Khwarizmi a non seulement permis la diffusion de techniques de calcul avancées, mais a aussi jeté les bases d'un concept essentiel en informatique : la résolution par étapes. Ainsi, les travaux d'Al-Khwarizmi ont marqué une étape clé dans l'histoire du calcul, en passant de la logique abstraite au calcul appliqué par le biais d'algorithmes, une approche qui perdurera jusqu'à l'ère des ordinateurs modernes.

Il est naturel de penser que, les algorithmes n'exigeant aucune initiative ni intelligence au-delà de l'application stricte d'instructions, l'idée de créer une machine capable de les exécuter ait émergé tôt dans l'histoire. Ainsi, dès l'an 1000, des tentatives notables ont vu le jour, notamment celles de Gerbert d'Aurillac. Ce dernier, futur pape sous le nom de Sylvestre II, introduisit en Europe l'utilisation de l'abaque et contribua à la diffusion des chiffres arabes, posant ainsi les bases pour une mécanisation du calcul.

Le zéro s'impose

L'idée du zéro n'a pas été évidente à concevoir, car elle va à l'encontre de l'utilisation initiale des nombres pour représenter et compter ce qui existe, ce qui est tangible. Pendant des millénaires, les systèmes de numération ont été développés pour dénombrer des objets concrets : des troupeaux, des récoltes, des soldats, bref, des réalités observables et quantifiables. Dans ce contexte, l'absence d'un élément n'avait pas besoin d'un symbole dédié. L'introduction du zéro a demandé un véritable saut conceptuel. L'idée même d'attribuer une valeur à « rien »a représenté une rupture majeure

dans la pensée mathématique, et elle a marqué le passage d'une numération empirique vers une arithmétique abstraite, capable de manipuler des concepts invisibles mais fondamentaux.

Ce concept est apparu pour la première fois sous forme de symbole et de valeur numérique dans l'Inde ancienne, autour du Ve siècle de notre ère. Les mathématiciens indiens utilisaient un point pour représenter le zéro en tant que chiffre dans le système de numération, qui se révéla essentiel pour le calcul positionnel. Le mathématicien indien *Brahmagupta* (598-668) est crédité pour avoir formalisé les premières règles de calcul avec le zéro dans son ouvrage, *le Brahmasphutasiddhanta*, en 628. Il s'est ensuite répandu vers le monde islamique au cours du IIXe siècle grâce aux échanges commerciaux et à l'étude des mathématiques indiennes. Les mathématiciens arabes, comme Al-Khwarizmi (voir *Biographie*, page 275), ont ensuite contribué à introduire le zéro dans le monde occidental. Ce n'est qu'à partir du XIIe siècle que le zéro, ainsi que les chiffres arabes, furent introduits en Europe par les mathématiciens italiens, notamment grâce à Fibonacci (voir *Biographie*, page 279) et son *Liber Abaci* (1202), qui popularisa ces concepts.

Pourquoi le zéro est-il si important dans l'histoire de l'informatique et du calcul ? L'introduction du zéro dans les systèmes de numération positionnels est un point tournant pour les mathématiques. Grâce au zéro, chaque chiffre prend un sens selon sa position dans un nombre : dans « 105 », par exemple, le zéro indique qu'il n'y a pas de dizaine. Sans le zéro, il aurait été bien plus difficile de noter et de manipuler des nombres élevés ou des calculs complexes, chaque position ayant un rôle particulier en fonction de sa puissance de dix. Ce concept, venu de la numération indienne, a permis d'effectuer des calculs arithmétiques de manière beaucoup plus structurée, rapide et précise, jetant ainsi les bases des mathématiques et de l'algèbre moderne, dont dépend fortement l'informatique. Ainsi avec 10 symboles ont peut représenter tous les nombres.

En informatique, le zéro est essentiel dans le système binaire, qui est le fondement du calcul numérique moderne. Le binaire repose sur deux valeurs : 0 et 1. Ces deux symboles permettent de représenter toutes les informations de manière simplifiée dans les ordinateurs. Un ordinateur encode ainsi tout type de données, qu'il s'agisse de texte, d'images, ou de sons, sous forme de longues séquences de 0 et de 1, appelées bits. Le bit de valeur 0 indique l'absence de charge ou un état « éteint », tandis que le 1 représente la présence de charge ou un état « allumé ». Ce modèle simplifie et accélère le traitement de l'information dans le matériel informatique. Le zéro et le un sont utilisés également dans l'algèbre booléenne.

L'algèbre de Boole

L'algèbre de Boole, développée par *George Boole* (voir *Biographie*, page 277) en 1854, est une branche des mathématiques qui traite de la logique et des opérations logiques (comme ET, OU, et NON) sous forme d'équations. L'algèbre de Boole permet de représenter des valeurs logiques par des symboles binaires (0 et 1), ce qui constitue la base du fonctionnement des circuits logiques modernes et de l'informatique numérique. Utilisée pour la première fois dans les circuits électroniques à la fin des années 1930, l'algèbre de Boole est essentielle pour la conception des processeurs et pour l'exécution des opérations logiques dans les ordinateurs.

2.3 Découvertes clés à l'origine de l'informatique

Une fois que les algorithmes sont définis, la question suivante se pose : quelles caractéristiques une machine devrait-elle posséder pour exécuter de telles instructions et séquences ? Et, une fois ces caractéristiques listées, disposons-nous des moyens et des connaissances pour les mettre en œuvre ?

Si l'informatique a pu se développer grâce à une série de découvertes et de progrès scientifiques, notamment en électronique, son essor est étroitement lié aux avancées permettant de contrôler des impulsions électriques de manière rapide et précise. Ces impulsions sont essentielles pour représenter les 0 et les 1 qui forment la base du calcul binaire. Ces états électriques symbolisent les données que les unités logiques utilisent pour effectuer des calculs et produire des résultats, eux aussi sous forme de 0 ou de 1.

Explorons ensemble quelques étapes clés de ce parcours, qui a permis aux idées abstraites des algorithmes de devenir réalité grâce aux avancées technologiques.

L'électricité

L'électricité qui représente le mouvement des charges électriques dans un conducteur (électrons), est une découverte fondamentale pour le développement de l'informatique. Sans elle rien en serait possible du moins dans l'informatique que nous connaissons actuellement. La compréhension de l'électricité, initiée au XVIII^{e} siècle par des scientifiques comme *Benjamin Franklin* et *Michael Faraday*, a permis de construire des dispositifs électriques capables de manipuler des informations sous forme de signaux. En effet nous symbolisons l'information avec des 0 et des 1 mais il s'agit bien d'impulsion électrique (0 pas d'impulsion ou en dessous d'un seuil exprimé en volt, 1 avec une impulsion électrique). Avec l'arrivée de la pile

voltaïque de *Alessandro Volta* en 1800, suivie des travaux sur les courants électriques, l'électricité est devenue la pierre angulaire des circuits et composants utilisés dans les premiers ordinateurs.

Le relais électrique

Le relais électrique, inventé par *Joseph Henry* en 1835, est un interrupteur contrôlé par un courant électrique. Il permet d'ouvrir ou de fermer un circuit de manière mécanique, ce qui autorise la représentation de deux états logiques : fermé (1) ou ouvert (0).

Utilisé dans les premières machines à calculer électromécaniques, telles que le *Mark I* de Howard Aiken et le *Z3* de Konrad Zuse, le relais a joué un rôle fondamental dans la construction des premiers ordinateurs. Il permettait de contrôler le flux de courant et de réaliser des opérations logiques élémentaires à partir d'impulsions électriques.

Rapidement remplacé par les tubes à vide, puis par les transistors, le relais présentait plusieurs limites : lenteur, encombrement, usure mécanique, et forte consommation d'énergie. Malgré cela, il a constitué une étape déterminante dans l'émergence des composants logiques et, plus largement, de l'architecture des ordinateurs.

Le rayonnement cathodique

Le rayonnement cathodique, découvert par *Johann Hittorf* dans les années 1860 et plus tard étudié par *William Crookes*, est un flux d'électrons émis par une cathode dans un tube sous vide. Ce phénomène a mené au développement du tube cathodique (CRT), qui a été utilisé dans les premiers écrans d'ordinateur pour afficher des informations visuelles. Les tubes cathodiques ont marqué un progrès important dans la capacité des ordinateurs à interagir avec les utilisateurs par des interfaces visuelles et ont été le principal moyen d'affichage des ordinateurs jusqu'à l'avènement des écrans LCD et LED. Avant ces premiers écrans l'information se matérialisait sous forme de lumières (allumées ou éteintes).

La Diode

Une diode est un composant électronique qui laisse passer le courant dans un sens et le bloque dans l'autre. Elle est essentielle en informatique pour redresser le courant, protéger les circuits et alimenter les composants correctement. Par exemple, dans une alimentation d'ordinateur, les diodes transforment le courant alternatif en courant continu. Les LEDs, présentes dans les écrans et indicateurs lumineux, sont aussi des diodes.

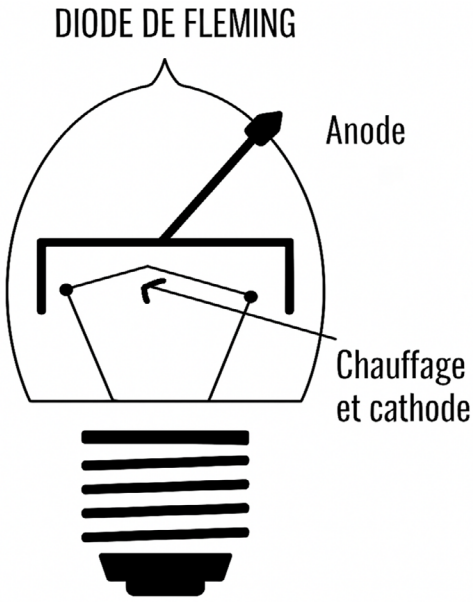


FIGURE 2.4 – Diode de Fleming
Auteur : John Smith. Licence : CC BY-SA 3.0.

Historiquement, la première *diode à vide* a été inventée en 1904 par **John Ambrose Fleming** (voir *Biographie*, page 279).

Elle est constituée d'un tube en verre (le vide), avec deux électrodes à l'intérieur : une cathode et une anode. La cathode est chauffée pour libérer des électrons. Les électrons sont attirés vers l'anode si elle est positive, permettant au courant de circuler dans ce sens. Mais, si l'anode est négative, les électrons ne peuvent pas se déplacer vers elle, bloquant le courant dans l'autre sens.

Les diodes à vide[9] étaient utilisées dans les anciens appareils électroniques, comme les radios et les premiers ordinateurs, pour redresser le courant (transformer le courant alternatif en courant continu) et comme interrupteurs. Cependant, elles étaient encombrantes et peu fiables (durée de vie courte).

Les diodes à semi-conducteurs, comme les diodes à jonction, peuvent commuter rapidement entre l'état conducteur et l'état bloquant. Cette capacité est importante dans les circuits numériques où des changements rapides de signal (entre 0 et 1) sont nécessaires pour traiter les informations et effectuer des opérations logiques.

9. Voir aussi le chapitre 4