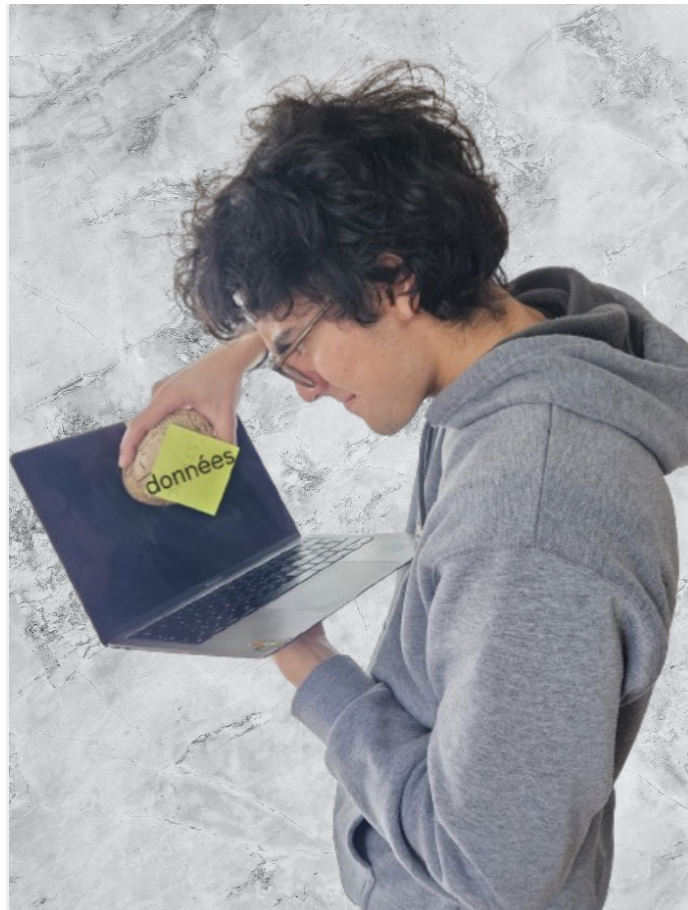


## Le stockage de l'information numérique



Adrien ROMAND

19 February 2024

# Table des matières

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Introduction</b>                                                  | <b>4</b>  |
| <b>Principe du stockage numérique et fonctionnement</b>              | <b>5</b>  |
| <b>Différentes manières de stocker le flux d'informations</b>        | <b>7</b>  |
| RAM (Random Access Memory) . . . . .                                 | 7         |
| Mémoire cache . . . . .                                              | 7         |
| Mémoire morte (ROM - Read-Only Memory) . . . . .                     | 7         |
| Mémoire de masse sur smartphone . . . . .                            | 8         |
| Disque SSD (Solid-State Drive) . . . . .                             | 8         |
| Disque dur interne et disque dur externe (HDD) . . . . .             | 8         |
| Carte mémoire . . . . .                                              | 8         |
| Stockages optiques (DVD, CD, Blue-Ray) . . . . .                     | 9         |
| Stockage sur disque optique réinscriptible (CD-RW, DVD-RW) . . . . . | 9         |
| Disquettes . . . . .                                                 | 10        |
| Cassettes magnétiques . . . . .                                      | 10        |
| Clé USB . . . . .                                                    | 10        |
| Cloud . . . . .                                                      | 10        |
| Datacenter . . . . .                                                 | 11        |
| Stockage en réseau (NAS - Network-Attached Storage) . . . . .        | 11        |
| Stockage sur bande magnétique . . . . .                              | 11        |
| Stockage magnétique holographique . . . . .                          | 12        |
| <b>Idées et innovations pour stocker de l'information</b>            | <b>13</b> |
| Les pixels d'une vidéo youtube . . . . .                             | 13        |
| Codage ADN . . . . .                                                 | 13        |
| Stockage photochromatique . . . . .                                  | 13        |
| Le bit quantique . . . . .                                           | 14        |
| <b>Conclusion</b>                                                    | <b>15</b> |
| <b>Bibliographie</b>                                                 | <b>16</b> |

L'information : Tout événement, tout fait, tout jugement porté à la connaissance d'un public plus ou moins large, sous forme d'images, de textes, de discours, de sons. (LAROUSSE, 2024a)

Informatique : contraction linguistique d'information et d'automatique. Qui permet à tout élément de connaissance d'être représenté à l'aide de conventions pour être conservé, traité ou communiqué. (LAROUSSE, 2024b)

## Introduction

L'être humain communique et envoie de l'information pour interagir avec son environnement. Au-delà des systèmes de mémoire liés aux réseaux neuronaux du cerveau, l'Homme utilise des supports pour retranscrire cette information et la stocker pour la conserver.

Au moins depuis la grotte de Lascaux du Paléolithique, des supports matériels et solides sont utilisés pour représenter et conserver des symboles qui portent une information. On retrouve entre autres la peinture, l'écriture ainsi qu'un grand nombre d'artefacts.

En résumé, stocker de l'information correspond à la conservation de données ou de connaissances auxquelles il est possible d'accéder ultérieurement. Cela peut se faire de différentes manières : la mémoire humaine, le stockage matériel, ou le stockage numérique.

Avec l'avènement de la technologie au 20ème siècle, l'information s'est dématérialisée pour prendre une forme numérique qui permet de stocker, transmettre, modifier un signal plus simplement que de manière analogique.

En tant qu'individu du 21ème siècle, le numérique est au cœur de mon quotidien. Avec la numérisation croissante de notre vie, les besoins en stockage de données ont considérablement augmenté. À titre personnel, je stocke tellement d'information sur mon cloud que l'espace de stockage global est systématiquement saturé. Ne voulant pas payer de supplément aux fournisseurs de ce service, je me satisfais de l'espace disponible sur le disque dur de mon appareil.

Jusqu'à la très récente situation du vol de mon ordinateur, je ne questionnais pas sur la pertinence de ce choix. C'est seulement après avoir tristement perdu une quantité dramatique de données personnelles (photos, documents, cours et vidéos) que je me suis posé la question suivante : Comment puis-je créer de l'espace de stockage pour mes données gratuitement et localement ? Avant tout, est-ce possible, et si oui, qu'est-ce que j'attends pour le faire ?

Comme vous l'aurez compris, ce document présente les différentes possibilités de stocker de l'information numérique pour tenter de répondre à mes questionnements introspectifs dans une démarche très personnelle.

Je vous souhaite donc la bienvenue dans le stockage textuel et numérique de mon raisonnement réflexif sur le stockage d'informations numériques.

## Principe du stockage numérique et fonctionnement

« Stocker de l'information et de calculer remonte au moins à la machine de Pascal » (HAROCHE, 2013).

« Le stockage de données consiste à conserver des informations à l'aide d'une technologie spécifiquement développée pour préserver ces données en les maintenant aussi accessibles que nécessaire » (Entreprise, 2024).

Comment cela fonctionne-t-il ?

Tout un chacun a pu observer l'apparition de « ko », « Mo », « Go » ou « To » dans la description des fichiers numériques présents localement sur différents appareils électroniques. Ces grandeurs font référence à l'unité élémentaire en informatique, le bit. Ce dernier est basé sur le binaire, il peut prendre la valeur de 0 ou 1. Définit comme la quantité minimale d'information transmise par un message, le bit régit le principe fondamental du stockage informatique. Cependant, il ne peut contenir que deux valeurs. Du fait de sa faible capacité, le bit ne permet pas à lui seul de représenter une quantité significative de données. C'est pour cette raison que l'unité d'octet a été défini comme la succession de huit bits (du préfixe « oct- » signifiant huit, et du suffixe « -et », petit). On retrouve ensuite différents ordres de grandeur tels que le kilooctet ou ko ( $10^3$ ), le mégaoctet ou Mo ( $10^6$ ), le gigaoctet ou Go ( $10^9$ ) et le téraoctet ou To ( $10^{12}$ ).

(Physique, 2023)

Intéressons-nous maintenant à la numérisation d'une information en codage binaire. En ce qui concerne la transcription d'un signal analogique en signal numérique, la valeur prise par un bit dépend des variations de ce signal. Ce dernier est découpé en petites variations de temps permettant de le quantifier selon un nombre de valeurs définies (bits). De manière générale, deux états stables sont identifiés pour représenter les valeurs 0 et 1. Par convention, un niveau bas représente le 0 et un niveau élevé le 1. La manifestation de ces états (magnétisme, charge électrique ou tout autre phénomène physique) est captée par le dispositif technologique associé au support de stockage avant d'être transcrite numériquement. Par exemple, un bit 0 pourrait être interprété comme « absence de quelque chose » et le bit 1 comme « présence de quelque chose » (Sciences physiques, 2016).

Chaque séquence numérique binaire ainsi obtenue correspond à un code propre à chaque élément enregistré.

Le décodage du binaire est réalisé par l'unité centrale de traitement (CPU) et les logiciels de l'ordinateur. Une partie de la séquence de bits indique le type de fichier et fournit des informations sur sa structure interne. Qu'il s'agisse d'en-têtes, de formats standardisés, d'extensions, de signatures magiques ou de métadonnées, cela permet aux logiciels de reconnaître le type de fichier et de commencer le processus de décodage approprié. Ensuite, ces données sont interprétées par les logiciels et converties en une forme compréhensible pour l'utilisateur via une interface.

Les ordinateurs utilisent différents types de systèmes de stockage qui utilisent des méthodes physiques différentes pour enregistrer des données et représenter les valeurs binaires.

Lors de l'inscription d'une donnée sur un système de stockage, le système d'exploitation (Windows, MacOS ou Linux) utilise des appels système spécifiques pour transmettre les données binaires du fichier au contrôleur de stockage du disque. Ce dernier convertit les données binaires en signaux, dont la nature dépend du type de support. Le système d'exploitation de l'ordinateur, qui est responsable de la gestion des fichiers sur le système de stockage, alloue un espace spécifique et suffisant sur son support de stockage via une table de correspondance. En associant les noms de fichiers (par leurs séquences de code binaire d'identification) aux emplacements physiques sur le disque (aussi encryptés par un code), il devient possible de localiser et de gérer les fichiers.

D'autre part, lorsqu'un fichier est lu à partir du disque, l'ordinateur lit les données binaires à partir des secteurs correspondants et les convertit en données utilisables par le logiciel.

Par ailleurs, dans le cas où un document est créé numériquement, il est encodé suivant le même système de numérisation. À cet effet, chaque caractère, pixel, ou élément de données est représenté par une séquence de bits. Une fois encodé en binaire, le document est stocké de la même manière que nous l'avons évoqué précédemment

À mesure que de nouveaux fichiers sont écrits, l'espace disque disponible diminue.

Tout appareil capable d'utiliser des supports de stockage d'information numérique et qui est connecté au réseau internet peut être utilisé pour héberger et partager des données sous la forme binaire, qui sont ensuite décodées et interprétées par l'ordinateur de réception de manière similaire. Mon ordinateur comme le vôtre héberge de l'information puisqu'il en produit et en stocke. D'autres ordinateurs peuvent le visiter grâce à l'adresse IP de l'ordinateur qui permet son identification sur internet. (BONGIRAUD, 2024).

Dans le contexte actuel où les médias, la culture, le social se dématérialise, les flux de données qui circulent informatiquement sont torrentielles. Cependant, pour traiter le gigantisme des données disponibles, il faut avoir la possibilité d'en enregistrer des échantillons. Mais alors, quelles solutions s'offrent à nous pour stocker ces quantités impressionnantes d'information ?

## Différentes manières de stocker le flux d'informations

Dans les systèmes de stockage numérique, les valeurs 0 et 1 sont attribuées en fonction de l'état physique de chaque composant de stockage. Regardons plus en détail le fonctionnement technologiques des différents supports de stockage, ainsi que les avantages et inconvénients associés.

### RAM (Random Access Memory)

Description : La RAM est un type de mémoire volatile qui stocke temporairement les données et les programmes en cours d'utilisation par le processeur.

Fonctionnement : La valeur des bits dans la RAM sont déterminées par l'état de charge électrique dans chaque cellule de mémoire volatile. Une cellule chargée représente un bit 1, tandis qu'une cellule déchargée représente un bit 0.

Avantages : L'accès aux données est rapide, idéal pour le stockage temporaire. De plus, tout type de donnée peut être lu ou écrit rapidement.

Inconvénients : La capacité de stockage reste limitée par rapport aux autres formes de stockage. De plus, les données dans la RAM doivent être constamment rafraîchies car elles sont volatiles et perdent leur charge au fil du temps.

### Mémoire cache

Description : Utilisée dans les processeurs et les systèmes informatiques.

Fonctionnement : La mémoire cache est une mémoire volatile de haute vitesse intégrée à un processeur ou à un système informatique pour stocker temporairement des données.

Avantages : La mémoire cache permet un accès très rapide aux données. Elle réduit également le trafic de données sur les autres niveaux de mémoire ou sur le stockage principal, ce qui améliore les performances globales du système.

Inconvénients : Le coût par gigaoctet est plus élevé que d'autres formes de stockage. De plus, la capacité de stockage est limitée par rapport à la RAM ou au stockage principal.

### Mémoire morte (ROM - Read-Only Memory)

Description : La mémoire morte est utilisée dans de nombreux appareils électroniques, dont les ordinateurs, les téléphones portables, les consoles de jeu et les systèmes embarqués. Elle permet à l'appareil de démarrer et de fonctionner correctement en garantissant que les instructions et les paramètres essentiels soient accessibles dès que l'appareil est mis sous tension.

Fonctionnement : La mémoire morte est une forme de stockage non volatile utilisée pour stocker des données en lecture seule. C'est-à-dire que la mémoire ROM est programmée une seule fois et de manière permanente pendant le processus de fabrication en utilisant des techniques telles que la photolithographie ou la gravure laser. Elle est utilisée pour des programmes essentiels au fonctionnement de l'ordinateur et qui gèrent les composants électroniques et le système d'exploitation. Par conséquent, elle ne peut pas être modifiée par l'utilisateur final.

Avantages : Les données sont permanentes et ne sont pas perdues lorsque l'alimentation est coupée. Cela permet de stocker des données critiques et des instructions système.

Inconvénients : Les données ne peuvent pas être modifiées une fois écrites. La capacité est donc limitée par rapport à d'autres formes de stockage.

## Mémoire de masse sur smartphone

Description : Cette mémoire de masse est utilisée par les propriétaires de smartphones pour stocker des applications, des photos, des vidéos et d'autres données.

Fonctionnement : Les smartphones utilisent généralement des puces de mémoire flash pour stocker des données telles que les applications, les photos, les vidéos et les fichiers multimédias. Pour enregistrer ces données, des tensions électriques spécifiques sont appliquées aux cellules de mémoire flash pour modifier leur état de charge électrique et représenter les données à écrire.

Avantages : Ce support portable permet un accès rapide aux données depuis un appareil mobile.

Inconvénients : La capacité de stockage est limitée par rapport à d'autres dispositifs de stockage externes. Il est nécessaire de réaliser des sauvegardes régulières pour éviter la perte de données en cas de panne ou de perte de l'appareil.

## Disque SSD (Solid-State Drive)

Description : Utilisé dans les ordinateurs, les ordinateurs portables et les appareils électroniques pour un stockage rapide et fiable des données.

Fonctionnement : Les disques SSD utilisent des cellules de mémoire flash qui stockent des données à l'aide de transistors à effet de champ. Ces derniers permettent de retenir une charge électrique. Lors de l'écriture de données, un courant électrique est appliqué à chaque cellule pour charger ou décharger celle-ci, modifiant ainsi son état pour refléter la valeur du bit à stocker. La présence ou l'absence de charge représente respectivement les bits 1 et 0.

Avantages : Grâce à cette technologie, l'accès aux données est rapide. Le disque SSD est peu sensible aux chocs et aux vibrations du fait de l'absence de pièces mobiles.

Inconvénients : En revanche, le coût par gigaoctet est plus élevé que pour les disques durs et la capacité de stockage est généralement inférieure.

## Disque dur interne et disque dur externe (HDD)

Description : Utilisés dans les ordinateurs de bureau, les ordinateurs portables et les serveurs, les disques durs externes sont souvent utilisés de pair avec le disque dur interne d'un ordinateur. Ils offrent une capacité de stockage à long terme (interne pour l'un, externe pour l'autre) allant de quelques gigaoctets à plusieurs téraoctets.

Fonctionnement : Sur un disque dur magnétique, les données sont stockées grâce à des têtes de lecture/écriture qui utilisent des aimants pour polariser de minuscules régions magnétiques sur des plateaux en rotation. Un champ magnétique dans une direction représente un bit 1, tandis qu'un champ magnétique dans l'autre direction représente un bit 0. En somme, une tête d'écriture applique un champ magnétique à une région du disque, ce qui permet de transcrire et écrire des données sur le disque.

Avantages : Ces supports sont caractérisés par une grande capacité de stockage et un coût par gigaoctet relativement faible.

Inconvénients : En comparaison avec les disques SSD, le temps d'accès aux données est plus long et la vitesse de lecture/écriture est plus lente. Les disques durs sont également plus sensibles aux chocs et aux vibrations.

## Carte mémoire

Description : On l'utilise souvent pour étendre la capacité de stockage d'un appareil. À cet effet, elle est principalement retrouvée dans les appareils électroniques pour stocker des photos, des vidéos, de la musique et d'autres données de manière portable et facilement transférable.



Fonctionnement : Les cartes mémoire utilisent généralement des puces de mémoire flash pour stocker des données de manière électronique. L'application d'une tension électrique aux cellules de mémoire flash modifie la charge électrique des cellules permettant de représenter la valeur des bits ainsi transcrits sur le support.

Avantages : La carte mémoire fonctionne sans alimentation électrique et son petit format est un avantage pour sa portabilité.

Inconvénients : La capacité de stockage reste limitée par rapport aux disques durs. D'autre part, ce support peut être fragile et sujet à la corruption des données.

## **Stockages optiques (DVD, CD, Blue-Ray)**

Description : Utilisé pour stocker et distribuer des films, de la musique, des logiciels et des jeux vidéo.

Fonctionnement : Les disques optiques utilisent des lasers pour graver des motifs sur une couche photosensible pour écrire des données et réfléchissante pour stocker des données. Lors de l'écriture de données, un laser à haute intensité est utilisé pour chauffer la couche, provoquant ainsi des changements permanents dans sa structure qui représentent les données à enregistrer. Pour la lecture du disque un faisceau laser se reflète sur le support. Quand il passe sur un creux, il met plus de temps à revenir au capteur. Ce retard dans le retour lumineux ou ce déphasage fait que pour la période de lecture d'un signal de référence, un signal correspondant à un creux ne sera pas lu entièrement. De ce fait, le retour lumineux additif sera moins intense. Ensuite, le système binaire affiche 0 pour un signal moins intense (donc pas de creux) et 1 pour le signal de référence. Cette info est stockée sur le support.

Le paramètre qui différencie le DVD du CD et du Blue Ray correspond à la longueur d'onde utilisée pour le laser. Une longueur d'onde plus faible implique une diffraction plus faible et donc la possibilité de lire des motifs plus petits et rapprochés. De cette façon il est possible d'obtenir davantage d'information avec un Blu-Ray qu'avec un DVD ou un CD :

CD: 780nm (750Mo) ; DVD: 650nm (4,4 Go); Blu-Ray: 405nm (23Go).

(Sciences physiques, 2016).

Avantages : Ces disques sont caractérisés par une bonne durabilité des données. Ils représentent un moyen de stockage à long terme et compatible avec une grande variété d'appareils de lecture. Par ailleurs, le coût par support est relativement faible.

Inconvénients : Du fait d'une gravure physique, la capacité de stockage est limitée par l'espace physique disponible sur l'aire du disque. Ce système de stockage implique également un temps d'accès aux données plus long et une vitesse de transfert plus lente.

## **Stockage sur disque optique réinscriptible (CD-RW, DVD-RW)**

Description : Ce type de disque permet de graver et réécrire des données telles que des fichiers, des vidéos et de la musique.

Fonctionnement : Ces disques optiques permettent d'effacer et de réécrire des données plusieurs fois en utilisant des techniques de gravure optique.

Avantages : Cette technologie permet de réutiliser le support pour stocker de nouvelles données et assure une meilleure durabilité des données par rapport aux disques optiques enregistrables.

Inconvénients : La capacité de stockage est limitée par rapport à d'autres formes de stockage réinscriptible et le coût est potentiellement plus élevé que les supports optiques enregistrables.

## Disquettes

Description : D'importance historique, les disquettes sont des supports de stockage magnétique qui ont été utilisés dans les premiers ordinateurs personnels.

Fonctionnement : Une disquette est généralement composée d'un disque magnétique flexible enfermé dans une enveloppe protectrice. Les données sont inscrites par des têtes d'enregistrement magnétique qui appliquent des champs magnétiques spécifiques à des sections spécifiques du disque. Cela modifie l'alignement des particules magnétiques et permet de représenter les données à enregistrer.

Avantages : Pour les premières années de l'informatique personnelle, les disquettes possédaient une capacité suffisante pour stocker des fichiers et des programmes simples. De plus leur facilité d'utilisation et de transport leur donnait un avantage par rapport à l'alternative des bandes magnétiques.

Inconvénients : Aujourd'hui, leur capacité de stockage est très limitée par rapport aux supports modernes. Les disquettes sont également sensibles aux dommages magnétiques et à la dégradation physique.

## Cassettes magnétiques

Description : Très populaires dans les années 1970, 1980 et 1990, les cassettes étaient utilisées pour le stockage de données informatiques, la sauvegarde de fichiers mais aussi pour l'enregistrement et la lecture audio et vidéo.

Fonctionnement : Les cassettes magnétiques utilisent une bande magnétique enroulée à l'intérieur d'une cassette. Les données sont enregistrées sous forme de variations magnétiques sur la bande.

Avantages : Le coût est relativement faible par rapport à d'autres supports de stockage.

Inconvénients : Le temps d'accès aux données est relativement long par rapport aux supports de stockage modernes. De plus, ce support est moins pratique que les supports de stockage plus récents en raison de la nécessité de rembobiner et de rechercher manuellement les données. Enfin, la cassette est sensible à la dégradation magnétique et à l'usure de la bande.

## Clé USB

Description : Utilisée par les individus et les professionnels pour le stockage portable et le transfert de données entre différents appareils.

Fonctionnement : Les clés USB utilisent des puces de mémoire flash pour stocker des données de manière électronique. C'est-à-dire que des tensions électriques spécifiques sont appliquées aux cellules de mémoire flash, pour modifier leur état de charge électrique de façon à représenter les données à écrire.

Avantages : Fonctionnant sans alimentation électrique et caractérisée par un petit format, la clé USB est connue pour sa portabilité fonctionnelle.

Inconvénients : En revanche, sa capacité de stockage est limitée par rapport aux disques durs et aux SSD. La clé USB est aussi fragile et sujette au vol et à la corruption des données.

## Cloud

Description : Utilisé par les individus et les entreprises pour stocker, sauvegarder et partager des données via Internet. On retrouve notamment OneDrive pour les appareils Windows, Google Drive pour les appareils Android et Cloud pour les appareils Apple.

Fonctionnement : Il s'agit là du stockage en ligne. Comme son nom l'indique, le « nuage » est « volatile ». Il offre la possibilité de stocker des données par réplication et sauvegarde sur des serveurs distants accessibles via Internet. Parfois intégré aux appareils, ce service permet une sauvegarde et une synchronisation automatiquement des données.

Avantages : Accès aux données de n'importe où avec une connexion Internet. Évite le besoin d'investir dans du matériel de stockage local. Le cloud fonctionne comme une extension de l'espace de stockage de l'appareil électronique.

Inconvénient : À contrario, ces services ne sont pas disponibles comme les applications par défaut de nos appareils puisqu'ils nécessitent une connexion Internet. Par ailleurs, les clouds sont la propriété d'entreprises privées tierces qui gèrent ces services indépendamment de notre outil de travail. Ces entreprises appliquent des limites dans la gratuité de leurs services ce qui restreint le volume de stockage utilisable sans frais. D'autre part, de nombreuses préoccupations sont mises en avant en matière de confidentialité et de sécurité des données. En effet, lors de l'utilisation de ces clouds, l'utilisateur doit se soumettre à des conditions d'utilisation qui entravent la vie privée des données de l'utilisateur (cookies, analyses des données personnelles, suivi d'activité) et doit accepter que les droits de gestion des documents enregistrés appartiennent, sans condition, aux entreprises propriétaires.

## Datacenter

Description : Les entreprises et les fournisseurs de services cloud utilisent des datacenters pour héberger et gérer de grandes quantités de données et de services en ligne.

Fonctionnement : Les datacenters sont des installations regroupant de nombreux serveurs et dispositifs de stockage pour héberger et gérer des données à grande échelle. Le RAID (Redundant Array of Independent Disks) est une technologie de stockage couramment utilisée dans les datacenters puisqu'elle consiste en la combinaison de plusieurs disques durs physiques pour un seul système logique ce qui améliore la performance, la capacité de stockage, la tolérance aux pannes et la redondance des données (c'est-à-dire qu'elles sont dupliquées pour protéger de la perte de données en cas de défaillance d'un disque).

Avantages : Du fait de leurs installations, les datacenters ont une grande capacité de stockage et une puissance de traitement conséquente. Ils proposent de nombreux services dont la sauvegarde, la sécurité et la gestion des données professionnels ou privées.

Inconvénients : Les datacenters impliquent des coûts élevés liés aux installations, la maintenance et le refroidissement des équipements informatiques et des serveurs. Leur utilisation dépend entièrement à une connectivité réseau fiable.

## Stockage en réseau (NAS - Network-Attached Storage)

Description : Utilisé dans les foyers et les entreprises pour stocker, sauvegarder et partager des fichiers sur un réseau local.

Fonctionnement : Le stockage en réseau consiste à connecter un dispositif de stockage dédié à un réseau local pour partager et sauvegarder des fichiers. Concrètement, via le réseau local, les données sont écrites sur le périphérique NAS où elles sont enregistrées sur des disques durs ou des SSD. Par la suite, les utilisateurs peuvent accéder à ces données à partir de différents appareils connectés au réseau.

Avantages : Ce support assure un partage facile des fichiers entre plusieurs utilisateurs sur le réseau. Fonctions de sauvegarde automatique et de redondance des données.

Inconvénients : Il y a nécessairement un coût initial lié à l'achat et à la configuration du matériel. De plus, ce système dépend entièrement de la fonctionnalité d'un seul réseau local.

## Stockage sur bande magnétique

Description : Utilisé dans les entreprises et les organisations pour les sauvegardes de données à grande échelle et les archives à long terme.

Fonctionnement : Les données sont stockées sous forme magnétique sur une bande composée de particules magnétiques et enroulée à l'intérieur d'une cassette. Lors de l'écriture de données, des têtes d'enregistrement appliquent des champs magnétiques spécifiques à des sections spécifiques de la bande, modifiant ainsi l'alignement des particules magnétiques en fonction des données à enregistrer.

Avantages : Le coût par gigaoctet est très bas et la capacité de stockage est importante.

Inconvénients : Le temps d'accès aux données est long et la vitesse de transfert est lente. De plus ce support est sensible à la dégradation magnétique et à l'usure.

## **Stockage magnétique holographique**

Description : Utilisé dans les domaines de la recherche, de l'archivage à grande échelle et du stockage de données à haute densité.

Fonctionnement : Les données sont stockées sous forme de motifs holographiques dans un matériau photosensible. Les hologrammes sont créés par l'interaction de deux faisceaux laser (un pour le signal et un pour la référence). Lors de l'écriture de données, ces faisceaux sont utilisés pour créer un motif d'interférence holographique dans le matériau photosensible, enregistrant ainsi les données.

Avantages : Ce système doté d'une très grande capacité de stockage permet une lecture et une écriture des données à très haute vitesse.

Inconvénients : Cette technologie est limitée sur le marché et coûteuse car encore en développement.

Chaque type de stockage a ses propres caractéristiques, avantages et inconvénients, et peut être utilisé dans des contextes spécifiques en fonction des exigences applicables. Cependant, toutes ces alternatives impliquent, dans diverses mesures, des coûts financiers et des limites de stockage. N'existerait-il pas d'autres manières de stocker de l'information sans limite et sans contrainte ?

Chacun de ces supports de stockage a des caractéristiques et des méthodes d'écriture spécifiques, mais tous visent à stocker et à récupérer des données de manière efficace et fiable pour répondre aux besoins des utilisateurs finaux.

## Idées et innovations pour stocker de l'information

Intéressons-nous à l'utilisation simple de technologies existantes pour créer de l'espace de stockage.

### Les pixels d'une vidéo youtube

Une vidéo numérique, qui est une succession d'images numériques, est graphiquement définie par des pixels. Une personne adepte d'informatique a eu la bonne idée d'utiliser ce principe pour stocker ses données sans limite. Malheureusement, je ne suis pas parvenu à retrouver la source de cet exemple, nous appellerons donc cette personne Bob. Pour réaliser cette opération, Bob donc, a attribué une séquence binaire à chaque pixel. Limité par la résolution (qui est directement associée au nombre de pixels) du format YouTube et la définition de l'image (correspondant à l'aire de l'image mesurée en pixels), il a généré une vidéo live ininterrompue. Cela lui a permis d'avoir une nouvelle image (par fraction de temps de défilement des images d'une vidéo YouTube) à l'infinie puisque sa vidéo n'est pas temporellement limitée. C'est donc par une méthode de transcription que Bob est parvenu à encoder les bits contenant ses données en pixels qu'il a ensuite implanté dans une vidéo YouTube. Cette astuce lui permet aujourd'hui de stocker des informations sans limite et sans frais. Cependant, la vidéo ayant été diffusée au public, il est possible que la sécurité de ses données ait été compromise. Quoiqu'il en soit, l'idée était ingénieuse et je la garde en mémoire.

Il existe sans doute d'autres astuces pour profiter librement d'un stockage de données à partir d'outils déjà existants. Cependant, mes recherches bibliographiques n'ont pas été assez approfondies pour permettre l'identification d'autres méthodes. En revanche, la documentation sur le sujet du stockage numérique a présenté diverses technologies innovantes et prometteuses.

### Codage ADN

De l'ADN ? C'est bien cela, la biologie est étonnante !

Grâce aux recherches de différents laboratoires du CNRS, il est aujourd'hui possible d'utiliser des séquences d'ADN synthétiques pour représenter des informations numériques. Il est évident que cette technologie offre un potentiel révolutionnaire en matière de stockage de données à long terme, avec une densité de stockage extrêmement élevée et une durabilité exceptionnelle. En effet, dans un seul gramme d'ADN on pourrait stocker l'équivalent de toutes les données d'un data center. De plus, encapsulé à l'abris de l'eau, la lumière et l'oxygène, cet ADN pourrait être conservé sur une durée extrêmement longue (de 500 à 1000 années).

Le principe de cet encodage est le suivant. Les données représentées au format de séquence binaire sont transformées en une séquence ADN selon les bases nucléiques (A, C, T et G). C'est la combinaison de la technique de séquençage PCR et d'algorithmes d'encodage qui permettent cette opération.

Par ailleurs, n'étant qu'à ses prémises, ce processus est très coûteux et très long à réaliser. À titre d'exemple, pour écrire un bit de données sur l'ADN il faut une centaine de secondes. En considérant qu'une image numérique représente plusieurs millions de bits, on peut imaginer le temps qui serait nécessaire au stockage d'une simple image.

(Blob, 2023).

Pour répondre à l'afflux croissant des données numérique, cette technologie représente une véritable opportunité pour répondre aux besoins en termes de stockage. François Képès, Biologiste et membre de l'Académie des technologies s'exprime sur l'information qui circule numériquement: « Aujourd'hui, on estime qu'il y a autant de données numériques que de grains de sables sur la Terre » (Blob, 2023).

### Stockage photochromatique

La chimie a également réalisé des prouesses techniques époustouflantes dans le domaine du stockage d'information avec la formation d'hybrides destinés à stocker optiquement de l'information.

L'utilisation de clusters de titane modifiables et des dendrimères avec des groupes d'alcool à leurs extrémités permettrait d'imprimer optiquement des données et de stocker de l'information. En effet, les grappes de titane sont modifiables en surface. Il est possible de remplacer les groupes éthoxy par des groupes alcool. Ensuite, mélangés avec des dendrimères, ces clusters modifiés forment un réseau nanostructuré après évaporation du solvant. Puis, en remplaçant les groupes alcool par des groupes polymérisables, on obtient un réseau hybride qui peut être agencé en pièces monolithiques.

Cela facilite la mise en forme du matériau et le contrôle de sa perméabilité. De plus, les fonctionnalités minérales apportent des propriétés telles que la résistance mécanique et la capacité d'absorption de la lumière. Par exemple, lorsque ce matériau est irradié par un laser, le titane subit un changement d'état d'oxydation qui entraîne une forte absorption de la lumière rouge. Cela permet d'imprimer optiquement des données sur le matériau et de stocker des informations. En résumé, il est possible de créer un support capable d'enregistrer optiquement des informations en manipulant les propriétés chimiques et structurales du matériau.

(SANCHEZ, 2012).

## Le bit quantique

Les chercheurs du MIT et de l'Université de Cambridge ont développé une solution innovante pour transférer de l'information via la lumière sous la forme de bits quantiques ou qubits. Un qubit, ou bit quantique, est l'unité de base de l'information quantique. Il peut être dans un état de superposition, ce qui veut dire qu'il peut être à la fois dans l'état 0 et 1 en même temps, contrairement à un bit classique qui ne peut être que dans un état à la fois. L'intrication ou la corrélation de plusieurs qubits permet de partager beaucoup plus d'informations que les bits associés à l'informatique conventionnelle. Le dispositif est basé sur un « microchiplet », un petit circuit intégré qui peut être combiné avec d'autres pour former un circuit plus complexe. Ici, le microchiplet est en diamant et contient des atomes d'étain qui servent de qubits. Un électron qui tourbillonne dans le diamant peut se coincer au niveau d'un atome d'étain et peut alors transférer son information au noyau d'étain en rotation.

Par ailleurs, l'Internet quantique est encore à un stade très préliminaire de développement mais a un potentiel très puissant. Nous commençons à entendre parler des « ordinateurs quantiques » qui utilisent. En somme, l'Internet quantique permettrait notamment des communications ultra-rapides et ultra-sécurisées, car toute tentative d'interception de l'information perturberait les qubits et serait immédiatement détectée.

(HAROCHE, 2013).

## Conclusion

En résumé, il existe un large éventail de choix pour stocker de l'information. Certains supports sont plus communs que d'autres et peuvent présenter des inconvénients majeurs.

Les services dits « privés » proposent des supports payants ou partiellement gratuits, tels que les datacenters ou les clouds qui offrent des options premium payantes pour étendre la capacité de stockage et accéder à des fonctionnalités avancées.

D'autres services sont limités par la capacité de stockage du support utilisé. Lorsqu'une grande quantité d'informations doit être stockée, les supports tels que la clé USB, la carte mémoire, le disque dur externe, les disques optiques, la disquette ou encore la cassette.

De plus, les supports de stockages par défaut des appareils électroniques sont généralement limités par l'obsolescence de la machine dont la durée de vie dépasse rarement dix années.

Il est cependant possible d'avoir recours à des solutions économiques et personnalisables pour répondre aux besoins de stockage et de partage de fichiers. Par exemple, créer son propre NAS à partir d'un matériel existant ou d'un mini-ordinateur permettant de stocker des données sur un réseau local en recyclant du matériel électronique et informatique sans engager de frais supplémentaires.

Par ailleurs, l'ensemble de ces services sont énergivores. Du fait de leur processus de construction pour les uns (les supports physiques fonctionnant sans alimentation électrique), en raison de la nécessité d'une alimentation électrique importante pour les autres (Les datacenters couvrent déjà un millionième de la surface des terres émergées de la planète. En d'autres termes, si l'on rassemblait tous ces centres de données en un seul endroit caractérisé comme pays, ce serait le 5ème pays consommateur d'électricité au monde).

(Blob, 2023).

Émergent alors de nouvelles technologies qui se rapproche du microcosme. La miniaturisation croissante des composants électroniques approche l'ordre du nanomètre, soit moins de dix fois plus gros qu'un atome (Dubois, Rousseau, 2009). De fait, la nanoélectronique, en suivant la voie de la miniaturisation, tend vers des propriétés physico-chimiques différentes du macrocosme et frôle la limite imposée par la physique quantique (Khalatbari, 2018).

En somme, pour répondre aux besoins de stockage tout en limitant la consommation d'énergie et en réduisant la taille des supports, il semblerait que le stockage de l'information s'oriente vers les technologies du puissamment petit.

Enfin, pour ma part, ne possédant pas de datacenter ni de centre de recherche me permettant d'étudier de nouvelles formes de stockage de l'information, je vais m'en aller recycler les anciens ordinateurs de mon entourage possédant un système d'exploitation adapté aux NAS afin de les utiliser comme périphériques de stockage. Ensuite, il va me falloir configurer les paramètres réseau (paramètres de partage de fichier, d'accès au réseau et adresse IP statique) pour que le NAS utilisé soit accessible sur mon réseau local. Par la suite, il me faudra sécuriser mes données en activant les fonctionnalités de sécurité disponibles dans le système d'exploitation du NAS, en utilisant des mots de passe forts et en configurant des pare-feux.

Enfin, dans l'éventualité où je devrais stocker des informations hautement confidentielles, je devrais me pencher sur la possibilité d'avoir gratuitement accès à des pare-feux puissants, sans avoir besoin de le coder moi-même. Mais est-ce possible ?

Voilà le sujet de ma prochaine réflexion.

## Bibliographie

- BLOB, Le, 2023. *L'ADN, futur lieu de stockage face à l'explosion de nos données numériques ?* [en ligne]. 2023. Disponible à l'adresse : [https://www.youtube.com/watch?v=spnCsGX38\\_w](https://www.youtube.com/watch?v=spnCsGX38_w)
- BONGIRAUD, Julien, 2024. *Hygiène informatique et logiciels libres* [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : <https://bbb0.isara.fr/b/vin-xam-05x-mcl>
- DUBOIS, Julie et ROUSSEAU, François, 2009. *Fascinantes nanotechnologies : Au-delà des grandes peurs, des grands doutes et des grands espoirs Ed. 1* [en ligne]. ISBN 978-2-911256-08-0. Disponible à l'adresse : <https://unr-ra.scholarvox.com/reader/docid/88941605/page/1?searchterm=Fascinantes%20nanotechnologies>
- ENTREPRISE, Hewlett Packard, 2024. *Qu'est-ce que le stockage de données ? / Glossaire* [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : <https://www.hpe.com/fr/fr/what-is/data-storage.html>
- HAROCHE, Serge, 2013. *Physique quantique : Leçon inaugurale prononcée le jeudi 13 décembre 2001* [en ligne]. octobre 2013. Disponible à l'adresse : <https://unr-ra.scholarvox.com/reader/docid/88932998/page/1?searchterm=Physique%20quantique%20:%20Le%C3%A7on%20inaugurale%20prononc%C3%A9e%20le%20jeudi%2013%20d%C3%A9cembre%202001>
- KHALATBARI, Azar, 2018. *La Nanorévolution : Comment les nanotechnologies transforment déjà notre quotidien* [en ligne]. ISBN 978-2-7592-2829-. Disponible à l'adresse : <https://unr-ra.scholarvox.com/reader/docid/88863554/page/1?searchterm=La%20Nanor%C3%A9volution%20:%20Comment%20les%20nanotechnologies%20transforment%20d%C3%A9j%C3%A0%20notre%20quotidien>
- LAROUSSE, 2024a. *Définitions : information, informations - Dictionnaire de français Larousse* [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/information/42993>
- LAROUSSE, 2024b. *Définitions : informatique - Dictionnaire de français Larousse* [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/informatique/42996>
- PHYSIQUE, Méthode, 2023. *Stockage et transmission de l'information* [en ligne]. 2023. Disponible à l'adresse : [https://www.methodephysique.fr/stockage\\_transmission\\_information/](https://www.methodephysique.fr/stockage_transmission_information/)
- SANCHEZ, Clément, 2012. *Chimie des matériaux hybrides* [en ligne]. ISBN 978-2-7226-0163-5. Disponible à l'adresse : <https://unr-ra.scholarvox.com/reader/docid/88932920/page/1?searchterm=Chimie%20des%20mat%C3%A9riaux%20hybrides>
- SCIENCES PHYSIQUES, 2016. *Transmettre et stocker l'information* [en ligne]. 2016. Disponible à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=NodXdQzUhV0>