Chapitre 1

Introduction à la technologie des ordinateurs

1.1 DEFINITION DE L'INFORMATIQUE

L'informatique (de information et automatique) est la « … science du traitement rationnel (*fondée sur la raison, conforme au bon sens, qui est avec certitude, fondée sur des calculs logiques*), notamment à l'aide de machines automatiques, de l'information considérée comme le support des connaissances et des communications … ».

Tout d'abord, l'informatique est une science (*obéir à des lois et à des règles bien définies*). Les traitements qu'elle réalise se font par conséquent de manière rationnelle. Les machines automatiques dont traite la définition sont les ordinateurs. L'information est la matière manipulée et traitée par les ordinateurs. Ils doivent être capables de la comprendre, tout comme l'homme comprend une langue et des concepts.

1.2 PREMIERE APPROCHE DU SYSTEME INFORMATIQUE

Pour présenter brièvement ce que représente un ordinateur, nous allons établir un parallèle avec la façon dont travaille, par exemple, un employé de bureau.

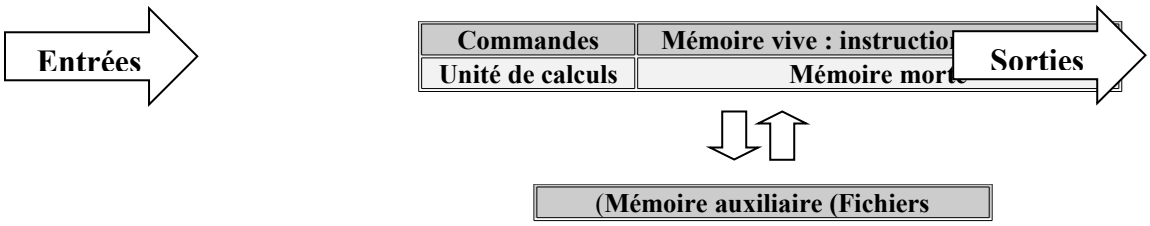
Pour travailler, l'employé qui est au centre des traitements, et que l'on peut donc considérer comme l'unité centrale de traitement, s'installe à son bureau où on lui remet dans un dossier le travail à faire (informations en entrée), tandis que dans un autre dossier il devra mettre le travail fait (informations en sortie).
Nous avons donc là un système de traitement à qui l'on remet des informations en entrée, qui exécute un traitement sur ces informations et qui restitue enfin des informations en sortie.

Pour exécuter son travail, l'employé peut avoir besoin de réaliser des calculs (opérations mathématiques, additions, comparaisons, …), il dispose pour cela d'une calculatrice (ou unité de calcul = Microprocesseur ou CPU = Central Processing Unit). Pour ne pas oublier ce qu'on lui demande, l'employé notera sur un brouillon les instructions qu'il a reçues et qui constituent son programme de travail, de même il va certainement être amené à noter quelques informations sur les données qu'il va traiter.

Ceci constitue une mémorisation des instructions à exécuter et des données à traiter. Cette information peut être actualisée et on peut donc considérer que l'on se trouve en présence d'une mémoire qui « vit » (où l'information naît, vit et meurt). On parle alors de mémoire vive = RAM = Random Acess Memory.

De plus, il se peut que pour réaliser la tâche demandée, l'employé ait besoin d'informations qui soient toujours les mêmes (le taux de T.V.A. par exemple) et qu'il mémorisera une fois pour toutes. Il s'agit là d'une mémoire qui ne « vit pas » et l'on parle alors de mémoire morte = ROM = Read Only Memory.

Certaines informations (telles que le catalogue des prix, les adresses des clients, …) sont trop volumineuses pour être mémorisées de tête, et l'employé aura alors à sa disposition des classeurs ou des bacs à fiches « dossiers » contenant des fichiers clients ou tarifs, qui constituent en fait une mémorisation externe ou auxiliaire = mémoire de masse = (Disque dur, CD-ROM, DVD-ROM, Graveur, Floppy « lecteur de disquettes », Lecteur ZIP/JAZ, etc…) de certaines données.



L'ordinateur tel que nous le rencontrons le plus souvent dans la vie courante se présente généralement sous l'aspect du micro-ordinateur. Faisons preuve de curiosité et « levons le capot ! ». Nous pouvons d'ores et déjà distinguer un certain nombre d'éléments. Le plus imposant et le plus lourd est le bloc d'alimentation électrique, souvent accompagné d'un ventilateur de refroidissement.

Partant de ce bloc, des câbles électriques alimentent les divers composants parmi lesquels on distingue particulièrement un certain nombre de plaques, appelées cartes ou contrôleurs, recouvertes de puces électroniques et enfichées sur une carte plus grande, dite carte mère et qui est située au fond de la machine.

Cette carte mère comporte l'unité de traitement, plus communément désignée sous le terme de microprocesseur. Comme son nom l'indique, cette carte mère accueille des cartes filles ou d'extensions qui possèdent des fonctions diverses (afficher la vidéo, gérer le son, gérer un réseau coté terminal, etc …)

Cette carte mère accueille également la mémoire vive et la mémoire morte.
Pour relier à l'intérieur du boîtier un certain nombre d'unités de stockage (mémoire auxiliaire), on utilise des nappes de câbles qui renvoient vers des modules situés à l'avant de la machine. Il est également possible de rencontrer ces diverses unités de stockage à l'extérieur du boîtier principal et vous pouvez déjà constater que l'on relie à ce boîtier l'écran de visualisation (ou moniteur vidéo) ainsi que le clavier, qui permet d'entrer les informations nécessaires au traitement, ou encore la souris.

Chapitre 2

Numération binaire

Les systèmes informatiques actuels étant construits à l'aide de circuits intégrés (composants électroniques qui rassemblent sur une puce de silicium quelques millions de transistors), ils ne peuvent fonctionner que selon une logique à deux états telle que, de façon schématique, le courant passe ou ne passe pas dans le transistor. Ces deux états logiques, conventionnellement notés 0 et 1, déterminent une logique dite binaire qui correspond à deux niveaux électriques que nous donnerons, pour simplifier, comme étant équivalents à 0 volt et à + 5 volts.

ETAT 0 : Le courant ne passe pas => Interrupteur Ouvert
ETAT 1 : Le courant passe => Interrupteur Fermé

Toute information à traiter devra donc pouvoir être représentée sous une forme assimilable par la machine, et donc sous une forme binaire. Que ce soit en interne dans la machine, ainsi que nous venons de la signaler, mais également sur les « fils » permettant de faire circuler l'information entre tous les composants d'un ordinateur.

Le passage d'une information, d'un langage compréhensible par l'homme à un langage compréhensible par le système informatique, s'appelle codage ou codification. Nous verrons qu'il existe de nombreuses possibilités de codage de l'information, BINAIRE, HEXADICEMAL, BCD, ASCII, … Mais étudions d'abord les éléments de base du langage binaire.

2.1 LE LANGAGE BINAIRE (BINAIRE PUR)

En langage binaire, ou tout simplement « en binaire », on dispose d'un alphabet dont les symboles sont le 0 et le 1 qui, combinés, devront permettre de définir toute information à traiter. La base de numération est ici de 2 (car on utilise 2 symboles), les calculs se font alors en base 2. Un nombre en base 2 est conventionnellement noté n_2.

On noter a ainsi 101_2

Un nombre en base de 10, tel que nous l'employons d'habitude, devrait être noté sous la forme n_{10}, par exemple, 135_{10}. Généralement une telle notation est omise, mais il convient cependant d'y prêter attention dans certains cas (c'est ainsi que 101_2 et 101_{10} ne correspondent pas du tout à la même valeur dans une base commune). Vous avez pu constater que nous employons le terme binaire pur (consiste à donner à chaque « bit » un poids équivalent à une puissance de ^{2}). Il existe en effet une autre forme de numérotation binaire dite binaire réfléchi.

2.2 CONVERSIONS

Afin de simplifier la démarche d'apprentissage, nous ne traiterons dans un premier temps que le cas des nombres entiers positifs.

. :: Passage d'un nombre en base 10 à un nombre en base 2 par divisions successives de 2 ::.

Soit 135_{10} à convertir en base 2.

135 / 2 (combien de fois 2 dans 135 ! 67 fois car 2 * 67 = 134) et (135 - 134 = 1)
67 / 2 (combien de fois 2 dans 67 ! 33 fois car 2 * 33 = 66) et (67 - 66 = 1)
33 / 2 (combien de fois 2 dans 33 ! 16 fois car 2 * 16 = 32) et (33 - 32 = 1)
16 / 2 (combien de fois 2 dans 16 ! 8 fois car 2 * 8 = 16) et (16 - 16 = 0)
8 / 2 (combien de fois 2 dans 8 ! 4 fois car 2 * 4 = 8) et (8 - 8 = 0)
4 / 2 (combien de fois 2 dans 4 ! 2 fois car 2 * 2 = 4) et (4 - 4 = 0)
2 / 2 (combien de fois 2 dans 2 ! 1 fois car 2 * 1 = 2) et (2 - 2 = 0)
1 / 2 (combien de fois 2 dans 1 ! 0 fois car 2 * 0 = 0) et (1 - 0 = 1)

La flèche pointée vers le haut indique le sens de lecture binaire. Le nombre 135_{10} équivaudra ainsi à 10000111_2 en binaire pur. Chaque élément binaire déterminé, pouvant donc prendre la valeur 0 ou 1, est appelé un digit binaire ou, plus couramment bit (abréviation de l'anglais *binary digit*). Une suite de quatre bits prendra le nom de quartet, une suite de huit bits prendra le nom d'octet.

.:: Passage d'un nombre en base 2 à un nombre en base 10 par multiplications successives ::.

On multiplie chaque élément du nombre binaire (ou bit) par le chiffre 2 élevé à une puissance, croissant par pas de 1, comptée à partir de zéro en partant de la droite, puis on effectue la somme des résultats obtenus.

Soit 10011_2 à convertir en décimal.

$1 * 2^4 = (16) => 1 * 16 = 16$
$0 * 2^3 = (8) => 0 * 8 = 0$
$0 * 2^2 = (4) => 0 * 4 = 0$
$1 * 2^1 = (2) => 1 * 2 = 2$
$1 * 2^0 = (1) => 1 * 1 = 1$

Dont la somme donne $(16+2+1) = 19_{10}$

Les 2 flèches indiquent le sens conventionnel des chiffres 2 élevés à une puissance et appliquer sur un alphabet binaire.

On constate, à l'examen de cette méthode, que l'on multiplie chacun des bits examinés, par les valeurs successives (en partant de la droite du nombre binaire) 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, …

.:: Autre technique du passage d'un nombre en base 10 à un nombre en base 2 ::.

On peut donc en déduire une autre technique de conversion des nombres décimaux en binaire. Elle consiste à retrancher du nombre la plus grande puissance de 2 possible, et ainsi de suite dans l'ordre décroissant des puissances. Si on peut retirer la puissance de 2 concernée on note 1 sinon on note 0 et on continue de la même manière jusqu'à la plus petite puissance de 2 possible -2_0 pour des entiers.

Reprenons le cas de notre premier nombre 135_{10}

De 135 on peut (1) retirer 128 reste 7
7 on ne peut pas (0) retirer 64 reste 7
7 on ne peut pas (0) retirer 32 reste 7
7 on ne peut pas (0) retirer 16 reste 7
7 on ne peut pas (0) retirer 8 reste 7
7 on peut (1) retirer 4 reste 3
3 on peut (1) retirer 2 reste 2
1 on peut (1) retirer 1 reste 1

Attention : le sens est inversé ! Mais le résultat est encore (bien entendu !) 10000111_2

TABLEAU DES 10 PREMIERS NOMBRES BINAIRES

Base 10	Base 2	Base 10	Base 2
1	1	6	110
2	10	7	111
3	11	8	1000
4	100	9	1001
5	101	10	1010

2.3 OPERATIONS BINAIRES

Les opérations sur les nombres binaires s'effectuent de la même façon que sur les nombres décimaux. Toutefois il ne faut pas oublier que les seuls symboles utilisés sont le 1 et le 0, nous aurons ainsi les opérations fondamentales suivantes.

2.3.1 Addition

0 + 0 = 0
0 + 1 = 1
1 + 0 = 1
1 + 1 = 0 et « on retient 1 »

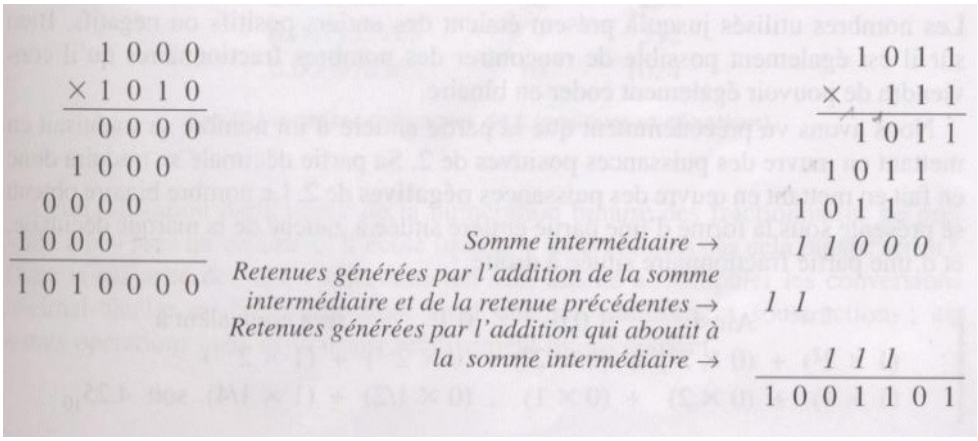
2.3.2 Soustraction

0 – 0 = 0
0 – 1 = 1 et « on retient 1 »
1 – 1 = 0 et 1 – 0 = 1

2.3.3 Multiplication

Les multiplications binaires s'effectuent selon le principe des multiplications décimales. On multiplie donc le multiplicande par chacun des bits du multiplicateur. On décale les résultats intermédiaires obtenus et on effectue ensuite l'addition de ces résultats partiels.

0 * 0 = 0
0 * 1 = 0
1 * 0 = 0
1 * 1 = 1



2.3.4 Division

Nous avons vu que la multiplication était basée sur une succession d'additions. Inversement la division va être basée sur une succession de soustractions et s'emploie de la même façon qu'une division décimale ordinaire.

Soit 1100_2 à diviser par 100_2

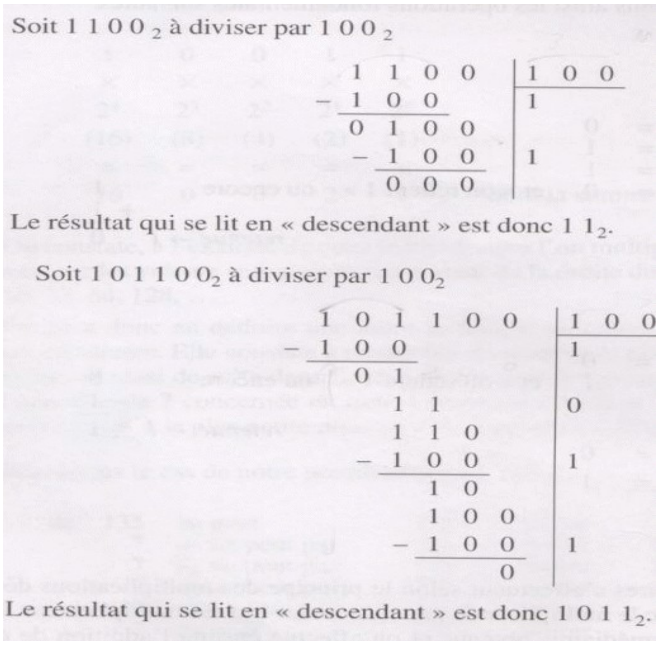
1100 / 100 = 11

Le résultat qui se lit de haut en bas « descendant » est donc 11_2

Soit 101100_2 à diviser par 100_2

101100 / 100 = 1011_2

Le résultat qui se lit en « descendant » est donc 1011_2



2.3.5 Cas des nombres fractionnaires

Nous avons vu précédemment que la partie entière d'un nombre se traduisait en mettant en œuvre des puissances positives de 2. Sa partie décimale se traduira donc en fait en mettant en œuvre des puissances négatives de 2.
Le nombre binaire obtenu se présente sous la forme d'une partie entière située à gauche de la marque décimales, et d'une partie fractionnaire située à droite.

Ainsi $100 . 01_2$ =>

$(1 * 2^2) + (0 * 2^1) + (0 * 2^0) . (0 * 2^{-1}) + (1 * 2^{-2})$

$(1 * 4) + (0 * 2) + (0 * 1) . (0 * ½) + (1 * ¼)$ soit 4.25_{10}
La conversion binaire/décimal ci-dessus se fait donc de manière aisée, il en est de même pour la conversion décimal/binaire. Nous ne reviendrons pas sur la conversion de la partie entière qui se fait par divisions successives par 2 telle que nous l'avons étudiée au début de ce chapitre.

En ce qui concerne la partie fractionnaire, il suffit de la multiplier par 2, la partie entière ainsi obtenue représentant le poids binaire (1 ou 0). La partie fractionnaire restante est à nouveau multipliée par 2 et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de partie fractionnaire ou que la précision obtenue soit jugée suffisante.

Soit 0.625_{10}

0.625 * 2 = 1.250 Poids binaire 1 * 2^{-1}
0.250 * 2 = 0.500 Poids binaire 0 * 2^{-2}
0.500 * 2 = 1.000 Poids binaire 1 * 2^{-3}

Quand il ne reste plus de partie fractionnaire, on s'arrête.
Ainsi 0.625_{10} devra se traduire par $.101_2$

Cette utilisation particulière de la numérotation binaire des fractionnaires ne présente à peu près qu'un intérêt d'école (quoique dans certains cas cela puisse servir). Dans la majorité des cas, l'informaticien sera amené à manipuler les conversions décimal-binaire ou binaire-décimal ainsi que les additions et soustractions ; les autres opérations étant d'un usage relativement moins courant.

Chapitre 3

Numération hexadécimale

Le langage binaire s'il présente l'avantage d'être compréhensible par la machine (et peut donc être appelé à ce niveau langage machine) est difficilement « assimilable » par l'homme dès lors qu'on manipule de grandes séries binaires. On utilise en conséquence un autre système de notation, le système hexadécimal de base 16, que nous étudierons ici. En notation hexadécimale on utilise un alphabet comportant 16 symboles. Les chiffres ne pouvant représenter que 10 symboles (0 à 9 inclus), on doit alors utiliser 6 symboles supplémentaires pour compléter notre alphabet. Les symboles retenus ont donc été les 6 premières lettres de l'alphabet.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F

Alphabet hexadécimal

3.1 CONVERSIONS

.:: Passage d'un nombre en base 10 à un nombre en base 16 par division successives de 16 ::.

Il est possible de passer d'un nombre en base 10 à un nombre en base 16 par divisions successives. On note les restes de ces divisions qu'on lit ensuite en « remontant ».

Convertir en base 16 le nombre 728_{10}

728 / 16 (combien de fois 16 dans 728 ! 45 fois car 16 * 45 = 720) et (728 - 720 = 8)
45 / 16 (combien de fois 16 dans 45 ! 2 fois car 16 * 2 = 32) et (45 - 32 = 13)
2 / 16 (combien de fois 16 dans 2 ! 0 fois car 16 * 0 = 0) et (2 - 0 = 2)

Les nombres supérieurs à 9 n'existent pas, en tant que tels, dans la notation hexadécimale où ils doivent être remplacés par des lettres, ainsi notre « 13 » devra-t-il être remplacé par la lettre D. On dit que l'on remplace le nombre décimal par son équivalent hexadécimal.

Binaire	Décimal	Hexadécimal
0	0	0
1	1	1
10	2	2
11	3	3
100	4	4
101	5	5
110	6	6
111	7	7
1000	8	8
1001	9	9
1010	10	A
1011	11	B
1100	12	C
1101	13	D
1110	14	E
1111	15	F

Les symboles de base 2 (binaire), base 10 (décimal) et base 16 (hexadécimal)

Nous pouvons donc enfin écrire le résultat sous la forme définitive : $728_{10} = 2D8_{16}$

.:: Passage d'un nombre en base 16 à un nombre en base 10 par division multiplication successives ::.

Inversement il est aisé de passer d'un nombre en notation hexadécimale à un nombre décimal par multiplications successives, en suivant les principes énoncés dans la conversion binaire. Cependant il ne s'agit plus cette fois, de puissances de 2 mais de puissances de 16 puisqu'en hexadécimal la base est 16.

Soit 1 3 D_{16} à convertir en base 10

$(1 * 16^2) + (3 * 16^1) + (13 * 16^0)$
$(1 * 256) + (3 * 16) + (13 * 1)$
$256 + 48 + 13 = 317_{10}$

3.2 PASSAGE DIRECT BINAIRE/HEXADECIMAL

Si l'on représente les 16 symboles de l'alphabet hexadécimal en binaire (voir tableau ci-dessus), on constate que l'on utilise pour chacun d'eux un maximum de 4 bits.

Ainsi, on peut directement passer du binaire à l'hexadécimal en décomposant le nombre binaire en blocs de 4 bits en partant de la droite (bit dits « de poids faible ») et en restituant sa valeur hexadécimale à chacun de ces blocs.

Ainsi 732_{10} donne en binaire 1011011100_2

On décompose ce nombre binaire en blocs de 4 bits, à partir de la droite, soit :

	0010	1101	1100
Décimal	2	13	12
Hexadécimal	2	D	C

Le passage de l'hexadécimal en binaire peut donc se faire de la manière inverse, c'est-à-dire en convertissant les chiffres qui composent le nombre hexadécimal en leur équivalent binaire.

Ainsi

1 0 C_{16}
0001 0000 1100_2

3.3 Les puissances de 10 (rappel)

Puissance de 10	Nom de la puissance	Symbole de la puissance
10^1	déca	da
10^2	hecto	h
10^3	kilo	k
10^6	méga	M
10^9	giga	G
10^{12}	téra	T
10^{15}	peta	P
10^{18}	exa	E

Puissance de 10	Nom de la puissance	Symbole de la puissance
10^{-1}	déci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	µ (mu)
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

Chapitre 4

Représentation des nombres

Les informations que doivent traiter les ordinateurs sont composées de chiffres, de lettres ou de symboles particuliers. Historiquement le but premier des ordinateurs était de résoudre rapidement des problèmes de calculs complexes et longs. La première forme de représentation étudiée a donc été celle des nombres.

4.1 NOTION DE MOT

Les systèmes informatiques manipulent, ainsi que nous l'avons dit lors de l'étude de la numération, des informations binaires et travaillent en général sur une longueur fixe de bits que l'on appelle mot. Suivant la machine, la taille du mot sera différente, les tailles classiques étant de 16, 32 ou 64 bits. On rencontre aussi les notions de demi-mot (HALF-WORD) ou de double mot (DWORD).

0000 = Quartet

0000 0000 = Octet ou, ici, demi-mot

Mot (WORD) de 16 bits ou 2 Octets

Double mot de 32 bits ou 4 Octets

Attention : ici un demi-mot fait 8 bits et un mot 16 bits ; sur une autre machine (Pentium par exemple) un mot pourra faire 32 bits et un demi-mot 16 bits, …

La représentation des nombres, à l'intérieur de la machine se fait selon deux méthodes dites en virgule fixe et en virgule flottante.

4.2 NOMBRES EN VIRGULES FIXE

Un nombre en virgule fixe est une valeur, munie ou non d'un signe, enregistrée comme un entier binaire, ou sous une forme dite décimale codée binaire ou DCB. Un tel nombre est dit en virgule fixe car le soin de placer la virgule revient au programmeur (on parle également de virgule virtuelle), c'est-à-dire que la virgule n'apparaît pas dans le stockage du nombre mais sera placée par le programmeur dans le programme qui utilise ce nombre, « décomposant » ainsi la valeur lue en une partie entière et une partie fractionnaire (c'est le rôle notamment de l'indicateur V utilisé dans les descriptions de données COBOL).

4.2.1 Nombres entiers binaires

Les nombres observés jusqu'à maintenant étaient des nombres entiers positifs, et dans nos soustractions nous obtenions des résultats positifs. Qu'en est-il des nombres négatifs et, d'une manière plus générale, de la représentation du signe ?

a) *Entiers signés*

La solution la plus simple, concernant la représentation du signe, consiste à réserver un digit binaire pour ce signe, les autres bits représentant la valeur absolue du nombre. La convention retenue impose de mettre le premier bit ; celui étant situé le plus à gauche, et qui est normalement le bit de poids fort ou MSB (Most Significant Bit), à 0 pour repérer un nombre positif et à mettre ce même bit à 1 dans le cas d'un nombre négatif. On parle alors de données signées quand on utilise cette convention. C'est ainsi que :

011011 représenterait 27_{10}
111011 représentait -27_{10}

Toutefois, une telle représentation des nombres signés entraînerait un traitement spécial du signe, et des circuits électroniques différents selon que l'on voudrait réaliser des additions ou des soustractions. Cet inconvénient est résolu par l'usage d'une autre forme de représentation des nombres négatifs dite représentation en complément ou encore représentation sous forme complémentée. Les règles suivantes sont donc adoptées par la majeure partie des constructeurs.

Nombre stocké sur un octet

Signe	Représentation du nombre						
7 MSB	6	5	4	3	2	1	0 LSB

Poids des bits

- Si le bit de signe a la valeur 0, la donnée est positive.
- Les valeurs positives sont représentées sous leur forme binaire.
- La valeur zéro est considérée comme une donnée positive.
- Si le bit de signe a la valeur 1, la donnée est négative.
- Les valeurs négatives sont représentées sous leur forme complément à deux ou complément vrai.

b) *Représentation en complément*

La représentation des nombres sous la forme « en complément » se fait selon deux modes qui ne s'appliquent en principe qu'aux nombres négatifs : complément restreint, ou complément vrai.

- **Complément restreint**

Le complément restreint d'un nombre binaire s'obtient par la simple inversion des valeurs des bits constituant ce nombre.

Ainsi, en considérant le nombre 1 0 0 1 0
Il aura pour complément restreint 0 1 1 0 1

- **Complément vrai (ou complément à 2)**

Le complément vrai (ou complément à 2) d'un nombre s'obtient en ajoutant 1 au complément restreint obtenu selon la méthode précédemment exposée.

On souhaite stocker sur un octet le nombre -23_{10}

Nombre au départ	0 0 1 0 1 1 1
Complément restreint	1 1 0 1 0 0 0
+	1
Complément vrai (à 2)	1 1 0 1 0 0 1

1	1	1	0	1	0	0	1
Signe			Nombre vrai				Complément

- **Soustraction par la méthode du complément restreint**

Dans une machine travaillant en complément restreint, la soustraction sera obtenue par l'addition du complément restreint du nombre à soustraire avec le nombre dont il doit être soustrait, et report de la retenue.

S'il y a absence de report (pas de retenue ou débordement), issu du dernier rang, cela signifie que le résultat est négatif. Il se présente alors sous forme complémentée (complément restreint). Il suffira donc de retrouver le complément restreint de ce résultat pour obtenir la valeur recherchée.

Soit à retrancher 28_{10} de 63_{10}
On fait donc 63 - 28

63_{10} => 00111111 (le nombre 63 + 2 zéros devant car on doit le représenter dans un octet donc 8 bits)

28_{10} => 00011100 : soit son complément restreint 11100011

donc 63 – 28 (en binaire) :

00111111
+ 11100011
= 00100010
+1 car 1 + 1 au dernier rang implique une retenue

On a donc comme résultat final 00100011 = 35_{10}

Dans cet exemple, l'addition provoque une retenue, le résultat de l'opération est donc un nombre positif.

Autre exemple : soit à retrancher 63_{10} de 28_{10}

28_{10} => 00011100

63_{10} => 00111111 : soit son complément restreint 11000000

donc 28 – 63 (en binaire) :

00011100
+ 11000000
= 11011100

ici 0 + 0 n'implique pas de retenue au dernier rang.

On donc comme résultat final 00100011 = 35_{10} (le complément restreint du résultat de l'addition). On applique seulement le complément restreint si il n'y a pas de retenue au dernier rang.

Dans ce second exemple l'addition ne provoque pas de retenue : le résultat se présente donc comme un nombre négatif sous sa forme complémentée (ici nous fonctionnons en complément restreint). Il suffit de déterminer ensuite le complément restreint du nombre résultant de l'addition pour en connaître la valeur, soit dans ce cas le complément restreint de 11011100, donc 00100011 soit 35_{10}. Le résultat définitif est donc 35_{10}.

***Remarque* : la démarche est également valable pour une représentation en complément vrai. La technique est la même, sauf que l'on ne réinjecte pas le débordement (report, retenue ou *carry*). Au lieu de déterminer des compléments restreints on détermine, bien sûr, des compléments vrais.**

Les formats de représentation en complément ne permettent de stocker qu'un nombre limité de valeurs selon la taille du mot dont on dispose.

Avec un mot de 16 bits

Plus grande valeur possible 0111111111111111_2
Soit + 32767_{10}
Plus petite valeur possible 1000000000000000_2
En complément à deux soit – 32768_{10}
D'une manière générale on peut considérer le tableau suivant :

Taille du mot – octet(s)	Nombre de bits	Valeurs décimales
1	8 bits de valeur	0 à 255
1	1 bit de signe 7 bits de valeur	0 à +127 0 à - 128
2	16 bits de valeur	0 à 65 535
2	1 bit de signe 15 bits de valeur	0 à + 32 767 0 à – 32 768
4	32 bits de valeur	0 à 4 294 967 295
4	1 bit de signe 31 bits de valeur	0 à + 2 147 483 647 0 à – 2 147 483 648

4.2.2 Nombres en forme Décimale Codée Binaire - DCB

Les nombres stockés sous une forme DCB – Décimale Codée Binaire ou BCD (*Binary Coded Decimal*) – peuvent être représentés de deux manières selon que l'on utilise un code DCB dit condensé ou étendu. Ces codes sont issus d'un code simple (code 8421), mais non utilisé tels quels à l'heure actuelle. Dans le code 8421 (ainsi nommé du fait des puissances de 2 mises en œuvre), chaque chiffre du nombre est représenté par son équivalent binaire codé sur un quartet (4 bits).

Représentation en 8421

Chiffre	Position Binaire			
	2^3	2^2	2^1	2^0
	8	4	2	1
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

a) *Cas du DCB condensé*

Dans le cas du DCB condensé (on dit aussi *packed* ou paquet), chaque chiffre du nombre à coder occupe un quartet (c'est en fait du 8421), Le signe est généralement stocké dans le quartet le moins significatif.

Ainsi 317_{10}

0011	0001	0111
3	1	7

On rencontre diverses méthodes de codification du signe : 0000 pour le signe + et 1111 pour le signe – (ou l'inverse), ou, plus souvent, B_{16} (soit 1011_2) pour le + et D_{16} (soit 1101_2) pour le – (abréviations de 2B et 2D) qui codent en ASCII les caractères + et -.

Représenter le nombre + 341 en DCB condensé

0011	0100	0001	1011
3	4	1	signe +

Ce code, simple, est utilisé pour le stockage des nombres et on le rencontre encore dans les applications développées notamment avec le langage COBOL.

b) *Cas du DCB étendu*

Dans le cas du DBC étendu (*unpacked*, ou *étalé* ou non - « *paquet* »…), chaque chiffre décimal est représenté par un octet. Toutefois dans cette forme étendue, les 4 bits de droite de l'octet sont suffisants pour coder les chiffres allant de 0 à 9 tandis que les quatre bits de gauche, dits aussi « bits de zone », ne servent à rien. Dans un format en DCB étendu, c'est la partie zone de l'octet le moins significatif (c'est-à-dire celui ayant droit le poids le plus faible) qui va jouer le rôle du signe.

Représenter le nombre + 341 en DCB étendu

0000	0011	0000	0100	1011	0001
zone	3	zone	4	Signe +	1

En résumé un nombre en virgule fixe peut être représenté :

- sous forme d'un entier binaire signé ou non,
- en DCB condensé,
- en DCB étendu.

Ce choix de la représentation du nombre est généralement fait par le programmeur et donnera lieu à l'utilisation d'instructions particulière du langage (*clause comp* en COBOL ou déclarations int, long int, unsigned, … en langage C, …).

Il est important de bien comprendre comment se présentent les nombres dans ces divers formats afin de minimiser la place occupée sur le support de stockage (disquette, disque dur ou bande magnétique, …) mais également la place occupée en mémoire centrale et donc la rapidité des traitements que l'on fera sur ces données. La représentation en virgule fixe occupe cependant une place importante quand on utilise de grands nombres et on lui préféra alors une autre forme de représentation dite en virgule flottante.

4.3 NOMBRES EN VIRGULE FLOTTANTE

A un nombre en virgule flottante on associe deux jeux de valeurs :

- le premier représente les chiffres significatifs du nombre, c'est la mantisse ;
- le second indique la puissance à laquelle la base est élevée, c'est la caractéristique ou exposant.

Ainsi, lorsqu'on écrit en décimal 12 E 8
12 est la mantisse
8 est l'exposant (souvent repéré par la lettre E)

L'ensemble est équivalent à 12×10^8 (10 étant la base) ou encore à 1 200 000 000.
La manière la plus évidente, et la plus concise, pour représenter un nombre en virgule flottante est donc d'employer un exposant et un mantisse signés.

$$- 123{,}45 = - 0{,}12345 * 10^{+3}$$
$$0{,}0000678 = + 0{,}678 * 10^{-4}$$

Cependant, on utilise en règle générale un exposant décalé au lieu de l'exposant simple. Par exemple, si on considérait un décalage de 5 (ce qui revient à l'addition systématique de 5 à l'exposant réel), les nombres ci-dessus seraient représentés de la manière suivante :

- 123,45 signe de l'exposant + (10^{+3})
exposant décalé + 8 (5 + 3)
mantisse 0,12345
signe du nombre –

+ 0,0000678 signe de l'exposant – (10^{-4})
exposant décalé + 1 (5-4)
mantisse 0,67800
signe du nombre +

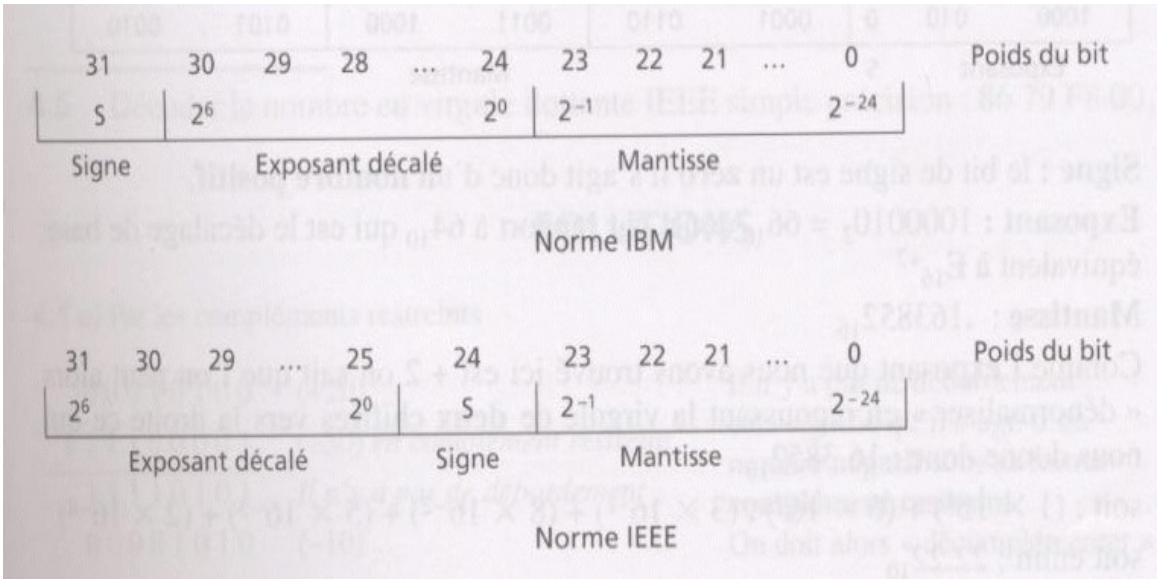
La technique de l'exposant décalé est très utile car elle évite de traiter des exposants négatifs (à condition bien sûr que le décalage choisi soit suffisamment grand). On peut noter également qu'*a priori*, une représentation en virgule flottante n'est pas nécessairement unique.

$0{,}1234000 * 10^2 = 0{,}0123400 * 10^3 = 0{,}0001234 * 10^5$ …

Il nous faut donc les représenter sous une forme normalisée afin que la représentation ne varie pas d'un matériel à l'autre. Un nombre normalisé, en virgule flottante, est un nombre dans lequel le chiffre suivant la marque décimale, à gauche de la mantisse (donc à droite de la marque décimale), n'est pas un zéro alors que le nombre à gauche de la marque décimale est un zéro. Ce zéro est omis et le nombre est stocké comme un décimal. Ainsi, dans nos exemples précédents :

$0{,}01234000 * 10^3$ n'est pas normalisé alors que
$0{,}123400 * 10^2$ est normalisé et représenté comme $.123400 * 10^2$

On peut trouver, en fonction des organismes de normalisation ou des constructeurs, plusieurs « normes » de représentation des nombres en virgule flottante (IEEE, DEC, IBM, …), nous nous bornerons à présenter ici les normes IEEE et IBM.



Si la précision recherchée est importante, il est possible d'utiliser pour le stockage du nombre 4 mots de 16 bits au lieu de 2 comme présenté ci-dessus. On parle alors de format double précision par rapport au format simple précision de l'exemple précédent.

Fonctionnement dans la norme IEEE

1. **Comment représenter un nombre, par exemple 10.50_{10} en virgule flottante, format simple précision ?**

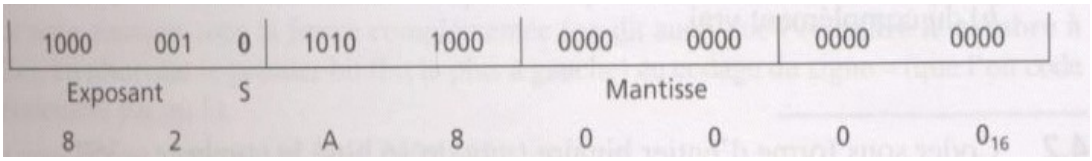
La base utilisée dans cette norme est la base 16 (hexadécimal), il conviendra donc dans un premier temps de transcrire notre nombre 10.50 en base 16, ce qui nous donne $A.8_{16}$.

Ensuite il faut « normaliser » (décaler la virgule vers la gauche de façon à trouver une forme normalisée), ce qui donne donc : .A8 E_{16}^{+1}.

Dans la norme IEEE l'exposant est codé en décalage (on dit aussi en excédant) par rapport à l'exposant de référence, à savoir : 64_{10}.

On a donc : Exposant de référence + Décalage = Exposant décalé
Soit $64_{10} + 1_{10} = 65_{10}$ soit encore 1000001_2

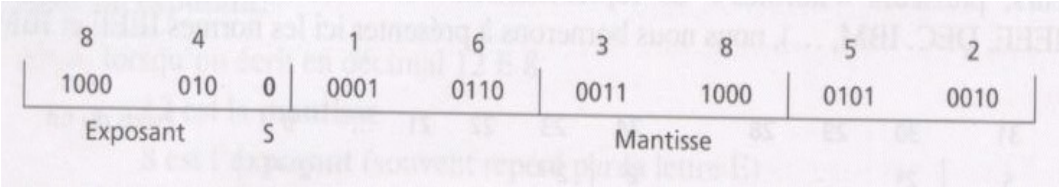
Le signe du nombre étant positif, le bit représentatif du signe sera donc positionné à zéro. Nous aurons ainsi en définitive :



2. Comment retrouver la valeur décimale d'un nombre représenté en virgule flottante selon cette même normalisation ?

Par exemple, nous trouvons dans un vidage de fichier les valeurs hexadécimales suivantes : 84 16 38 52.

Tout d'abord il faut en retrouver la forme binaire.



Signe : le bit de signe est un zéro il s'agit donc d'un nombre positif.
Exposant : $1000010_2 = 66_{10}$ donc, par rapport à 64_{10} qui est le décalage de base, équivalent à E_{16}^{+2}
Mantisse : $.163852_{16}$

Comme l'exposant que nous avons trouvé ici est +2 on sait que l'on peut alors « dénormaliser » en repoussant la virgule de deux chiffres vers la droite ce qui nous donne donc : 16.3852_{16}

Soit : $(1 * 16^1) + (6 * 16^0) . (3 * 16^{-1}) + (8 * 16^{-2}) + (5 * 16^{-3}) + (2 * 16^{-4})$ soit enfin : 22.22_{10}

Ce type de stockage, sous une forme en virgule flottante, permet donc de coder de grands nombres ; c'est ainsi que sur le format vu ci-dessus on peut stocker des nombres allant de $10^{-76.8}$ environ à $10^{+75.6}$ environ. Essayez d'imaginer la place occupée en DCB condensé, et ne parlons même pas du DCB étendu !

Le choix du stockage, sous forme de nombre en virgule flottante, simple ou double précision, se fait par l'intermédiaire des instructions appropriées du langage (clauses comp en COBOL, déclaration des variables real en PASCAL, float en C…). Il appartiendra donc au programmeur de choisir, pour la représentation de ses nombres, une forme de stockage adapté à son problème. Mais il devra toujours avoir présent à l'esprit que c'est le stockage sous forme virgule flottante qui minimise la place occupée sur les supports.

Chapitre 5

Représentation des données

Les informations que doivent traiter les ordinateurs sont composées de nombres, lettres, chiffres ou de symboles particuliers. Il est à l'heure actuelle, trop compliqué et trop onéreux de réaliser des systèmes électroniques présentant autant d'états stables que de caractères à représenter, et les matériels ne reconnaissent donc que les deux états binaires. On doit alors représenter l'information à traiter, quelle qu'elle soit, de manière à ce qu'elle puisse être utilisable par la machine. Pour cela on doit coder ces informations afin, qu'assimilables par l'homme elles le deviennent par la machine.

Avec un code théorique à 1 bit, on pourrait représenter 2 états, notés 0 ou 1, ainsi que nous l'avons vu lors de l'étude de la numération binaire, soit 2^1 combinaisons. Il nous faut donc un code à 4 bits pour représenter les 10 chiffres (0 à 9) utilisés dans le système décimal. Si nous voulons représenter, en plus des chiffres, les lettres de l'alphabet il faut alors un code capable de représenter les 26 combinaisons, qui

correspondent aux lettres, plus les 10 combinaisons, qui correspondent aux chiffres, soit 36 combinaisons différentes, ce qui implique l'utilisation d'un code composé au minimum de 6 bits ($2^5 = 32$ combinaisons étant insuffisantes ; $2^6 = 64$ combinaisons étant alors suffisantes et permettant même de coder certaines informations particulière telles que saut de ligne, de page, …).

On rencontrera ainsi différents codes permettant la codification d'alphabets plus ou moins importants.

5.1 UN CODE A 7 BITS, LE CODE ASCII

Le code ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) est l'un des codes les plus utilisés en informatique. Il a été défini, en 1963, aux Etats-Unis puis repris ensuite par les organismes de normalisation des transmissions internationales de données qui en ont fait le code ISO à 7 bits (*International Standard Organization*) ou code CCITT N° 5 (Commission Consultative Internationale des Téléphones et Télécommunications).

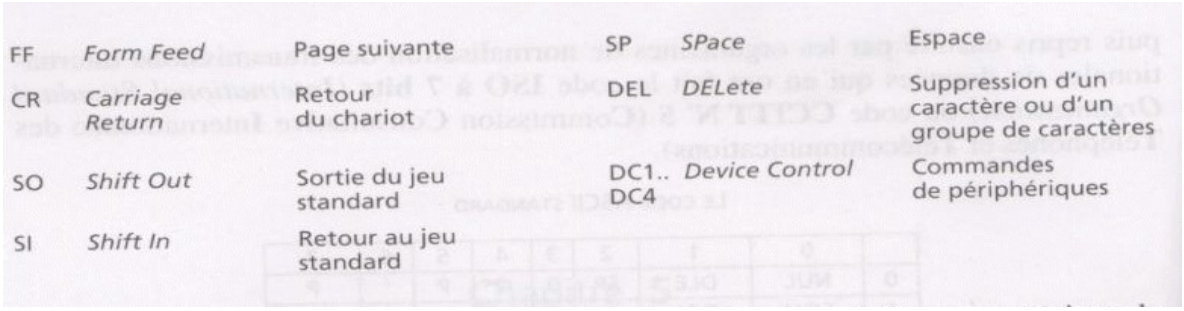
LE CODE ASCII STANDARD

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	NUL	DLE	SP	0	@	P	‘	P
1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	Q
2	STX	DC2	«	2	B	R	b	R
3	ETX	DC3	#	3	C	S	c	S
4	EOT	DC4	$	4	D	T	d	T
5	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	U
6	ACK	SYN	&	6	F	V	f	V
7	BEL	ETB	’	7	G	W	g	W
8	BS	CAN	(	8	H	X	h	X
9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
A	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
B	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
C	FF	FS	,	<	L	\	l	|
D	CR	GS	-	=	M	]	m	}
E	SO	RS	.	>	N	^	n	~
F	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

SIGNIFICATION DES COMMANDES RENCONTRÉES DANS LE TABLEAU

NUL		Rien	DLE	*Data Link Escape*	Change les caractères suivants
SOH	*Start of Heading*	Début d'en-tête	NAK	*Négative AcK*	Réponse négative
STX	*Start of Text*	Début du texte	SYN	*SYNchronous*	Synchronisation
ETX	*End of Text*	Fin du texte	ETB	*EndTransmission Block*	Fin de transmission de bloc
EOT	*End of Transmission*	Fin de transmission	CAN	*CANcel*	Annule le caractère transmis
ENQ	*ENQuiry*	Demande	EM	*End of Medium*	Fin physique du support
ACK	*ACKnowledge*	Accusé de réception	SUB	*SUBstitute*	Substitution
BELL		Sonnette	ESC	*ESCape*	Idem Shift
BS	*BackSpace*	Recul d'un caractère	FS	*File Separator*	Séparateur de fichiers
HT	*Horizontal Tabulation*	Tabulation horizontale	GS	*Group Separator*	Séparateur de groupes
LF	*Line Feed*	Ligne suivante	RS	*Record Separator*	Séparateur d'enregistrements
VT	*Vertical Tabulation*	Tabulation verticale	US	*United Separator*	Séparateur unitaire

Suite



FF	*Form Feed*	Page suivante	SP	*SPace*	Espace
CR	*Carriage Return*	Retour du chariot	DEL	*DELete*	Suppression d'un caractère ou d'un groupe de caractères
SO	*Shift Out*	Sortie du jeu standard	DC1.. DC4	*Device Control*	Commandes de périphériques
SI	*Shift In*	Retour au jeu standard			

Ce code ASCII à 7 bits définit 128 combinaisons binaires différentes autorisant la codification de 128 symboles ou commandes. Il est aussi dit ASCII Standard. L'utilisation du tableau des codes ASCII se fait de manière simple. Ainsi, pour coder la lettre A en ASCII, l'observation du tableau montre qu'elle se trouve à l'intersection de la colonne de valeur hexadécimale 4 et de la ligne de valeur hexadécimale 1. Le code ASCII de la lettre A est donc 41 en hexadécimal (souvent noté 41H). Certains langages ou logiciels peuvent utiliser une codification des caractères ASCII en décimal et non pas en hexadécimal. Le caractère A précédemment serait alors codé 65 et non plus 41H. Par exemple, en BASIC, l'instruction PRINT CHAR(65) affiche le A alors que PRINT CHAR(41) affiche la parenthèse fermante «) ».

Inversement, si l'on cherche à quel caractère correspond le code ASCII 2AH il suffit d'observer le tableau des codes, colonne 2 ligne A. L'intersection de ces colonne/ligne nous donne la correspondance, soit ici le caractère *.

Le code ASCII est souvent assimilé à un code à 8 bits car on ajoute généralement aux 7 bits initiaux, un bit de contrôle (bit de parité), souvent inutilisé et mis à 0 dans ce cas. Quand ils n'utilisent pas le bit de contrôle, les constructeurs s'en servent alors pour définir leur propre jeu de caractères, en y intégrant notamment les caractères graphiques, on parle alors d'un code ASCII étendu ou code ASCII à 8 bits. Le jeu de caractères standard intègre certains « caractères », qui ne sont utilisés que dans des cas particuliers. Il en est ainsi des caractères EOT, ENQ ou autres ACK – qui ne sont pas d'un usage courant mais sont destinés à la transmission de données (par exemple entre l'ordinateur et l'imprimante, entre deux ordinateurs, …). Ces codes sont souvent utilisés par les constructeurs pour représenter d'autres symboles.

5.2 CODES BASES SUR LE CODE ASCII

5.2.1 Code ANSI utilisé par Windows

Les logiciels sous Windows de Microsoft utilisent la norme ANSI (*American National Standard Institute*), qui reprend en grande partie le code ASCII, et propose des extensions différentes selon le « le code de page » retenu. Ainsi, le code page 850 est-il un jeu de caractères « multilingue » alors que le code page 864 définit un jeu de caractères « arabe », le code 865 un jeu « nordique », … Ce code de page est choisi lors de la configuration du système et permet de définir le jeu de caractères qui va être employé avec la machine. L'utilisation du code ANSI se fait de la même manière que pour un code ASCII, c'est-à-dire que la « valeur » d'un caractère se détermine par repérage des « valeurs » des intersections colonne-ligne. Vous trouverez, ci-après, le tableau des codes ANSI correspondant au code page 850 très employé en France (le code 437 est également très employé en France mais diffère assez peu du code page 850), ainsi que le tableau du code âge 864, afin de bien visualiser les différences, qui s'appliquent essentiellement à la partie étendue du code.

Page de codes 850

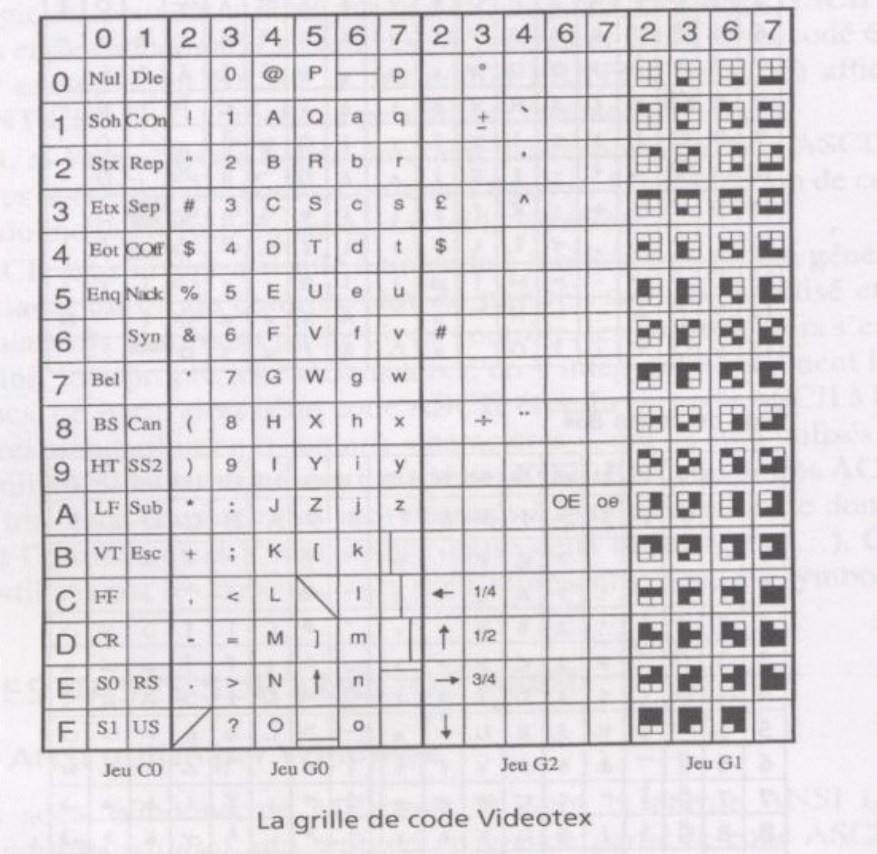
		0	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160	176	192	208	224	240
		0-	1-	2-	3-	4-	5-	6-	7-	8-	9-	A-	B-	C-	D-	E-	F-
0	-0		►		0	@	P	`	p	Ç	É	á	▒	└	ð	Ó	-
1	-1	☺	◄	!	1	A	Q	a	q	ü	æ	í	▒	┴	Ð	ß	±
2	-2	☻	↕	"	2	B	R	b	r	é	Æ	ó	▒	┬	Ê	Ô	‗
3	-3	♥	!!	#	3	C	S	c	s	â	ô	ú	▒	├	Ë	Ò	¾
4	-4	♦	¶	$	4	D	T	d	t	ä	ö	ñ	▒	─	È	õ	¶
5	-5	♣	§	%	5	E	U	e	u	à	ò	Ñ	Á	┼	ı	Õ	§
6	-6	♠	▬	&	6	F	V	f	v	å	û	ª	Â	ã	Í	µ	÷
7	-7	•	↨	'	7	G	W	g	w	ç	ù	º	À	Ã	Î	Þ	¸
8	-8	◘	↑	(	8	H	X	h	x	ê	ÿ	¿	©	╚	Ï	Þ	°
9	-9	○	↓	)	9	I	Y	i	y	ë	Ö	®	╣	╔	┘	Ú	¨
10	-A	◙	→	*	:	J	Z	j	z	è	Ü	¬	║	╩	┌	Û	·
11	-B	♂	←	+	;	K	[	k	{	ï	ø	½	╗	╦	█	Ù	¹
12	-C	♀	∟	,	<	L	\	l	|	î	£	¼	╝	╠	▄	ý	³
13	-D	♪	↔	-	=	M	]	m	}	ì	Ø	¡	¢	═	¦	Ý	²
14	-E	♫	▲	.	>	N	^	n	~	Ä	×	«	¥	╬	¦	´	■
15	-F	☼	▼	/	?	O	_	o	⌂	Å	ƒ	»	┐	¤	▀	¯	

Page de codes 864

		0	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160	176	192	208	224	240
		0-	1-	2-	3-	4-	5-	6-	7-	8-	9-	A-	B-	C-	D-	E-	F-
0	-0		►		0	@	P	`	p	°	β		•	ﻍ	ـّ	—	≡
1	-1	☺	◄	!	1	A	Q	a	q	·	∞	ـ	١	ﻩ	ـْ	ﻑ	٠
2	-2	♪	↕	"	2	B	R	b	r	•	ø	ﻕ	٢	ﻭ	ـٓ	ﻗ	١
3	-3	♫	!!	#	3	C	S	c	s	√	±	£	٣	ﻯ	ـٔ	ﻙ	٢
4	-4	☼	¶	$	4	D	T	d	t	▒	⅓	¤	٤	ﻱ	ـٕ	ﻝ	٣
5	-5	═	§	%	5	E	U	e	u	—	¼	ﻟ	٥	ﺀ	ـٖ	ﻡ	٤
6	-6	╟	▬	&	6	F	V	f	v	|	≈		٦	ﺁ	ـٗ	ﻥ	٥
7	-7	╬	↨	'	7	G	W	g	w	┼	«		٧	ﺃ	ـ٘	ﻩ	٦
8	-8	╣	↑	(	8	H	X	h	x	┤	»	ﻝ	٨	ﺅ	ـٙ	ﻭ	٧
9	-9	╗	↓	)	9	I	Y	i	y	╕	ﻻ	ﻵ	٩	ﺉ	ـٚ	ﻯ	٨
10	-A	╝	→	*	:	J	Z	j	z	╜	ﻷ	ﻶ	ﻑ	ﺊ	ـٛ	ﻱ	٩
11	-B	╜	←	+	;	K	[	k	{	┘		ﻸ	:	ﺋ	ـٜ	ﺀ	ﻝ
12	-C	╖	∟	,	<	L	\	l	|	┐		ﻹ	ﻙ	ﺌ	ـٝ	ﺁ	ﻡ
13	-D	╓	↔	-	=	M	]	m	}	┌	ﻼ	ﻺ	ﻛ	ﺍ	ـٞ	+	ﻥ
14	-E	╙	▲	.	>	N	^	n	~	└	ﻼ	ﻺ	ﻙ	ﺎ	ـٟ	×	ﻩ
15	-F	╘	▼	/	?	O	_	o	⌂	┘	ﻉ	ﻺ	ﻍ	ﺏ	ـ٠	ﻉ	ﻑ

5.2.2 Norme TELETEL VIDEOTEX

Vidéotex – norme TELETEL – permet de recevoir des messages sur un écran vidéo de type Minitel. Il est basé sur un jeu de caractères ASCII, mais pour coder l'ensemble des caractères graphiques (alphamosaïque) utilisés, on a dû étendre le jeu de référence. Chiffres et lettres se codent donc en Vidéotex comme en ASCII, et on a ajouté au code de base (noté grille G0) des grilles supplémentaires. Une première grille (G2) permet de coder les accents et quelques symboles, une autre définit les caractères alphamosaïque (G1) servant pour les dessins à l'écran. Une quatrième (C0) permet de coder les caractères de commande utilisés pour la gestion de la communication et des écrans. Pour accéder aux caractères définis dans la grille G2, il faut d'abord envoyer le caractère de commande 19H (repéré SS2 dans C0), et pour obtenir les caractères de la grille G1 il faudra d'abord émettre le code OEH (repéré S0 dans C0).



La grille de code Videotex

5.3 UN CODE A 8 BITS, LE CODE EBCDIC

Le code EBCDIC (*Extended Binary Coded Decimal Interchange Code*) est utilisé essentiellement par IBM. Ce code peut être parfois assimilé à un code à 9 bits quand il est fait usage d'une clé d'imparité (bit supplémentaire destiné à contrôler la validité de l'octet associé). Son utilisation se fait sensiblement de la même façon que le tableau ASCII, à savoir qu'un caractère est codé par la lecture des valeurs binaires des intersections ligne/colonne. Ainsi, le caractère A se codera C1 en hexadécimal soit la suite binaire 1100 0001_2. Les caractères de commandes ont en principe la même signification qu'en ASCII. Ainsi SP indique l'espace, CR le retour chariot, …

Hex	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	NUL	SOH	STX	ETX		PT			GE				FF	CR		
1	DLE	SBA	EUA	1C		NL				EM			DUP	SF	FM	ITB
2							ETB	ESC						ENQ		
3			SYN					EOT					RA	NAK		
4	SP										¢	.	<	(	+	
5	&										!	$	*	)	;	¬
6	-	/									¦	,	%	_	>	?
7											:	#	@	'	=	"
8		a	b	c	d	E	f	g	h	I						
9		j	k	l	m	N	o	p	q	r						
A		~	s	t	u	v	w	x	y	z						
B																
C	{	A	B	C	D	E	F	G	H	I						
D	}	J	K	L	M	N	O	P	Q	R						
E	\		S	T	U	V	W	X	Y	Z						
F	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9						
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F

Le code EBCDIC Standard

5.4 UN CODE A 16 BITS : LE CODE UNICODE

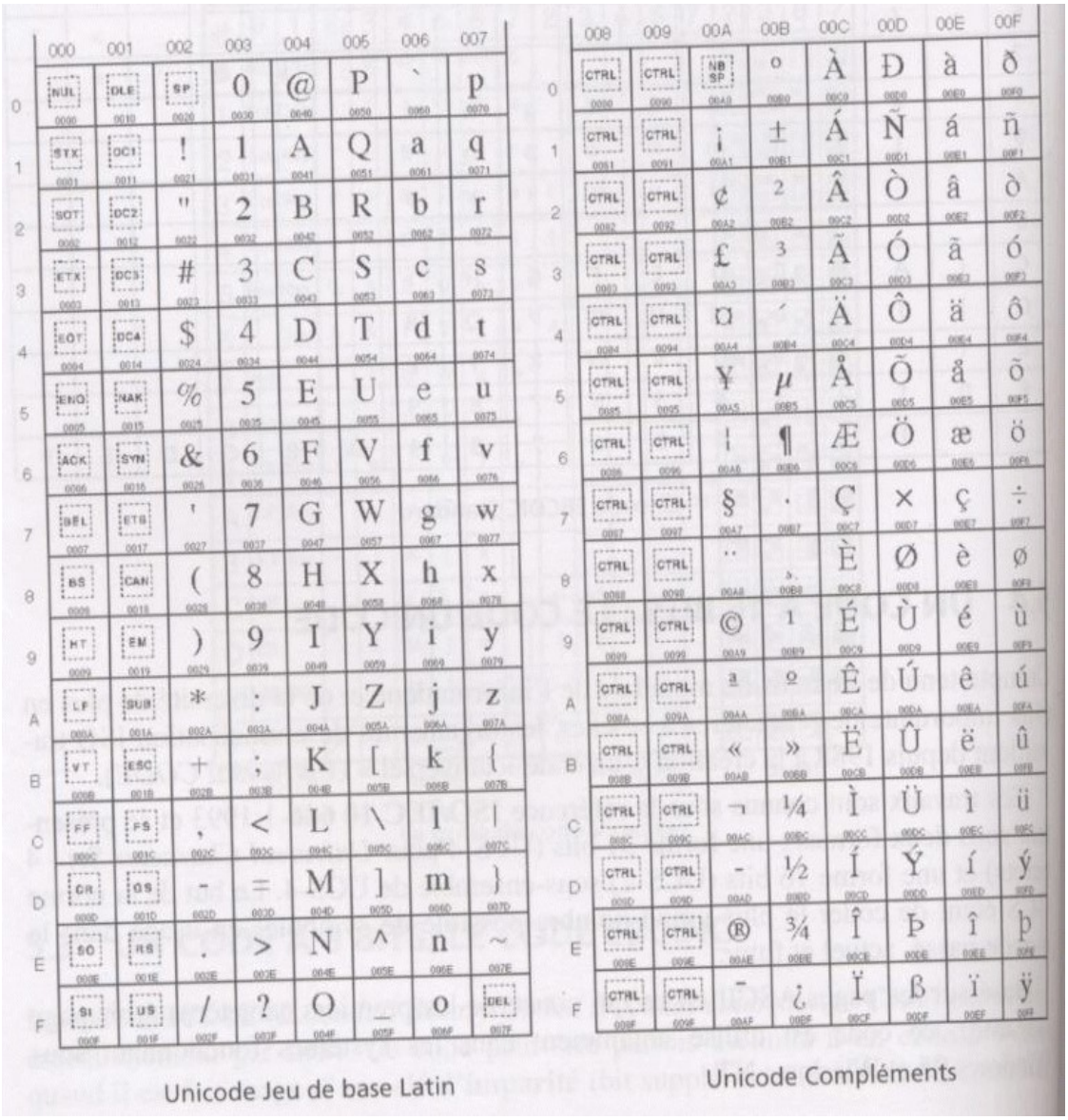
Compte tenu de l'extension mondiale de l'informatique et de la diversité de plus en plus importante des caractères à stocker, les organismes de normalisation ISO travaillent depuis 1988 à la création d'un code « universel » (UNIversal CODE).

Ces travaux sont connus sous la référence ISO/IEC 10 646-1 :1993 et se présentent sous deux formes : une forme 31 bits (UCS-4 pour *Universal Character Set* – 4 octets) et une forme 16 bits (UCS-2) sous-ensemble de UCS-4. Le but de la norme UCS étant de coder le plus grand nombre possible de symboles en usage dans le monde passé, actuel et futur.

Basé sur les pages ASCII en ce qui concerne les premiers caractères (voir la suite), ce code est utilisé notamment dans les systèmes fonctionnant sous Windows 95 et Windows NT.

Unicode 1.0.0 (1991) est le sous-ensemble de départ conforme à la norme ISO 10 646 (UCS-2). Les caractères sont codés sur 16 bits ce qui permet de représenter théoriquement 65 535 caractères différents. Unicode 2.0 (1996) recense 38 885 caractères. La version Unicode 3.0 (1999) recense 49 194 symboles et caractères différents. Ces caractères couvrent la majeure partie des principaux langages écrits des Etats-Unis, d'Europe, du Moyen-Orient, d'Afrique, d'Inde, d'Asie et du Pacifique.

Quelques langages écrits modernes ne sont pas encore supportés ou incomplètement supportés car ils demandent une recherche plus approfondie sur leur encodage. Bien que 65 536 codes soient suffisants pour couvrir la majeure partie des caractères dans le monde, Unicode propose, depuis Unicode 2.0, un mécanisme d'extension appelé UTF-16 (*Universal Translation Form*) qui autorise l'emploi de plus d'un million de caractères supplémentaires sans avoir à faire usage des traditionnels codes d'échappement (*Escape*).



Chapitre 6

Protection contre les erreurs, encodages et codes

A l'intérieur de l'ordinateur les informations sont sans cesse « véhiculées », du clavier vers la mémoire, de la mémoire vers le processeur, de la mémoire vers l'écran … A l'heure actuelle les ordinateurs sont de plus en plus couramment reliés entre eux au travers de réseaux locaux ou étendus et l'information est donc constamment en circulation.

Il est donc nécessaire d'assurer une transmission convenable des informations. Pour cela on utilise divers moyens allant du simple contrôle de parité jusqu'à l'élaboration de codes très sophistiqués.

6.1 LE CONTROLE DE PARITE

Le contrôle de parité fonctionne selon un principe très simple. Aux *n* bits que comporte le code à l'origine on ajoute 1 bit supplémentaire. Ce bit est positionné de telle sorte que le nombre total des bits à 1 soit :

- pair (code dit à parité ou abusivement à parité paire), ou au contraire,
- impair (code dit à imparité ou abusivement à parité impaire).

0	0	1	1	1	0	0	1

Bit de parité

Parité (parité paire) car on a 4 bits de « 1 », donc cela est paire.

1	0	1	1	1	0	0	1

Bit de parité

Imparité (parité impaire) car on a 5 bits de « 1 », donc cela est impaire.

Cette méthode, très utilisée et généralement suffisante, n'est en fait efficace que dans la mesure où il n'y a pas d'erreurs simultanées sur deux, quatre, six ou huit bits, ce qui ne changerait pas la parité.

Si nous émettions la suite binaire 10010000 en parité (2 bits de « 1 ») et que nous recevions la suite 01010000, il serait impossible de dire s'il s'agit bien de ce qui a été envoyé ou non car, bien que la suite binaire reçue soit différente de celle émise, la parité est bien respectée.

6.2 LES CODES AUTOVERIFICATEURS OU AUTOCORRECTEURS

L'information étant constamment en circulation, un simple contrôle de parité ne suffit pas toujours, notamment dans le cas de transmissions à grande distance (par exemple entre deux ordinateurs reliés entre eux par une ligne de télécommunication) pour lesquelles les données transmises sont soumises à de nombreux signaux parasites.

Il a donc fallu concevoir des codes vérifiant des erreurs supérieures au simple bit, voire même des codes qui corrigent ces erreurs. Ces techniques ont notamment été développées par l'ingénieur américain R.W Hamming et l'on parle souvent des codes de Hamming. On distingue en fait deux techniques d'élaboration de ces codes, les blocs et les contrôles cycliques.

6.2.1 Les codes de blocs

Le principe employé dans les codes de blocs consiste à construire le mot de code en « sectionnant » l'information utile en blocs de longueur fixe et en ajoutant à chaque bloc, ainsi obtenu, des bits de contrôle supplémentaires (bits de redondance). On crée alors un code de blocs, où seules certaines des combinaisons possibles sont valides et forment l'ensemble des mots du code. A la réception deux cas peuvent se présenter :

- Le mot de *n* bits reçu est un mot de code et le bloc de départ peut être reconstitué.

- Le mot de *n* bits reçu ne correspond pas à un mot de code et le récepteur peut alors soit retrouver le bloc original (codes autocorrecteurs) soit s'il ne le peut pas redemander la transmission du message précédent (codes vérificateurs).

L'efficacité d'un tel code sera d'autant meilleure que les mots qui le constituent seront distincts les uns des autres. On définit ainsi une « distance » entre les différents mots qui composent le code, dite distance de Hamming, correspondant au nombre de bits qui varient entre deux mots successifs du code.

Plus la distance de Hamming est importante et plus efficace sera le code.

Entre les deux nombres binaires 01010101 et 00001111 nous pouvons observer la variation (distance) de 4 bits, ce qui signifie qu'il faut quatre erreurs simples pour transformer l'un de ces mots en l'autre.

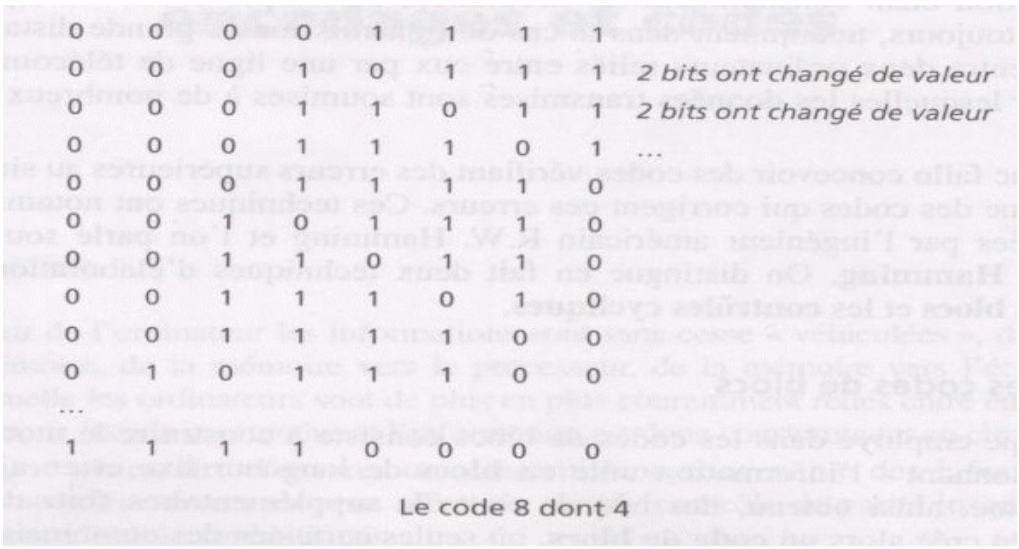
Parmi les codes de blocs on rencontre communément :

- le contrôle de parité verticale, parfois aussi nommé VRC (*Vertical Redundancy Checking*), dont le principe de la parité a été décrit précédemment,

- le contrôle de parité longitudinale, ou LRC (*Longitudinal Redundancy Checking*), dont nous traiterons bientôt,

- ainsi que divers codes, dit *i* parmi *n*, généralement associés à une information de redondance tels que les codes 3B4B, 4B5B, 5B6B ou 8B10B, ...

Dans ce type de code, seules les combinaisons comportant *i* bits à 1 sont valides parmi les 2^n possibles. C'est le cas du codes 8 dont 4 où seules 70 combinaisons sur les 256 possibles sont valides, de telle sorte que chacune ne comporte que 4 bits à 1.



La distance de Hamming d'un tel code est 2. En effet, si on observe la progression des combinaisons répondant aux conditions de validité définies précédemment, on constate que le nombre de bits qui évoluent d'un mot valide du code à un autre mot valide du code est 2.

Ce type de code permet d'assurer la détection des erreurs simples, c'est-à-dire n'affectant qu'un seul bit du caractère transmis. Nous présenterons ultérieurement dans ce chapitre le fonctionnement des codes de blocs 4B5B et 8B10B d'un usage courant en transmission de données dans les réseaux locaux.

Si on a une distance de Hamming égale à 1, cela implique qu'un seul bit évolue entre chaque mot du code donc, si une erreur de transmission affecte un ou plusieurs bits, il n'est pas possible de la détecter car toutes les combinaisons binaires sont des mots du code. Avec une distance de Hamming de 2, telle que nous l'avons vue dans le code 8 dont 4, si une erreur de transmission transforme un 0 en 1 nous aurons alors 5 bits à 1 et il est donc simple de détecter l'erreur (puisque par définition il ne devrait y avoir que 4 bits à 1), en revanche on ne sait pas quel est le bit erroné.

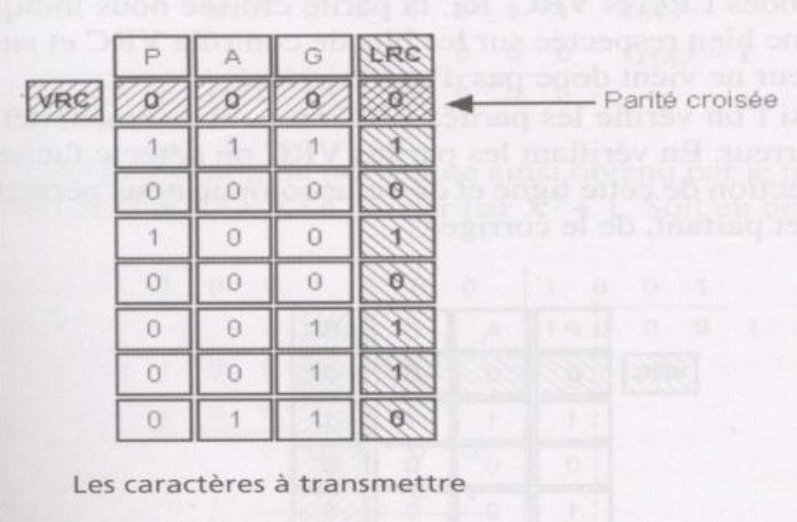
Le raisonnement est le même si une erreur transforme un 1 en 0 auquel cas nous aurions 3 bits à 1 et donc détection de l'erreur mais sans possibilité de correction.
On peut d'une manière plus générale considérer le tableau suivant :

TABLEAU DES ERREURS REPÉRABLES ET CORRIGIBLES EN FONCTION DE LA DISTANCE DE HAMMING

Distance de Hamming	Erreurs détectables	Erreurs corrigibles
1	0	0
2	1	0
3	2	1
4	3	1
5	4	2
...		

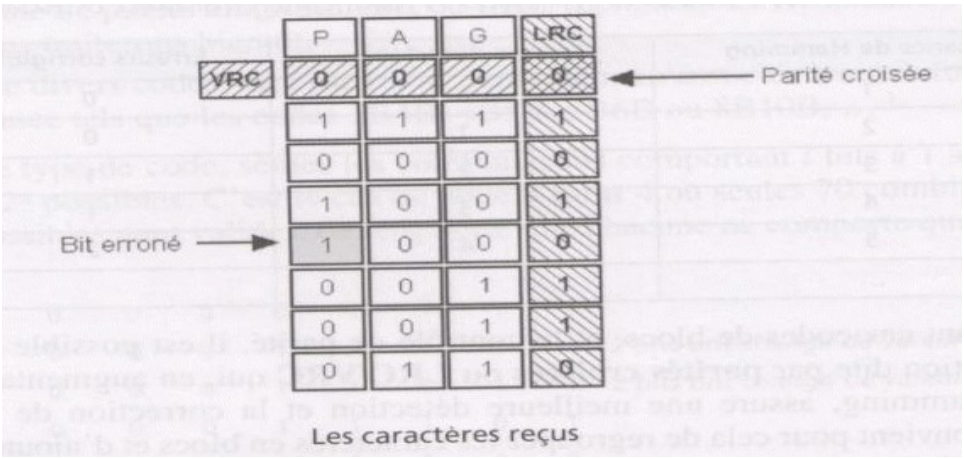
En utilisant ces codes de blocs, et le contrôle de parité, il est possible d'assurer une vérification dite par parités croisées ou LRC/VRC qui, en augmentant la distance de Hamming, assure une meilleure détection et la correction de certaines erreurs. Il convient pour cela de grouper les caractères en blocs et d'ajouter à la fin de chaque bloc un caractère supplémentaire dit LRC (*Longitudinal Redundancy Checking*) qui se combine au contrôle VRC (*Vertical Redundancy Checking*).

On souhaite transmettre les caractères PAG en code ASCII.



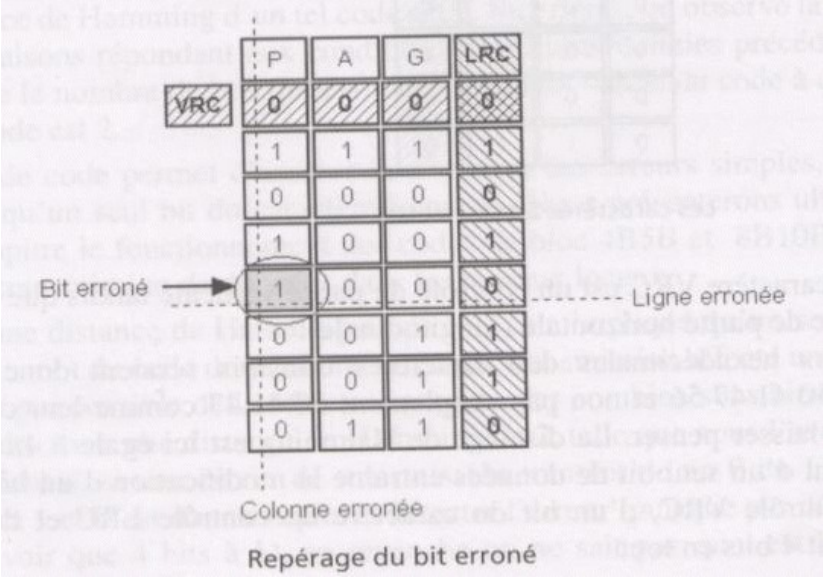
En fait le caractère VRC est un contrôle de parité verticale tandis que le LRC est un contrôle de parité horizontale (longitudinale).
Les valeurs hexadécimales des caractères transmis seraient donc, dans cet exemple, 50 41 47 56 et non pas simplement 50 41 47 comme leur code ASCII pouvait le laisser penser. La distance de Hamming est ici égale à 4 : en effet le changement d'un seul bit de données entraîne la modification d'un bit du caractère de contrôle VRC, d'un bit du caractère de contrôle LRC et de la parité croisée, soit 4 bits en tout.

Un tel code détecte donc toutes les erreurs simples, doubles ou triples et peut corriger toutes les erreurs simples. Ainsi, en reprenant les caractères précédemment transmis, et si on considère qu'une erreur de transmission a affecté un des bits :



Voyons comment va procéder le système pour détecter et corriger une erreur simple telle que ci-dessus. La résolution de ce problème est en fait relativement simple. Il suffit, en effet, de s'assurer dans un premier temps de ce que la parité croisée vérifie bien les codes LRC et VRC. Ici, la parité croisée nous indique un bit à 0. La parité semble donc bien respectée sur les bits de contrôle VRC et sur les bits de contrôle LRC. L'erreur ne vient donc pas d'eux *a priori*.

En revanche, si l'on vérifie les parités LRC on peut aisément détecter la ligne où s'est produite l'erreur. En vérifiant les parités VRC on détecte facilement la colonne erronée. L'intersection de cette ligne et de cette colonne nous permet alors de retrouver le bit erroné et partant, de le corriger.



Repérage du bit erroné

6.2.2 Les codes cycliques

Les codes cycliques, aussi appelés CRC (*Cyclic Redundancy Codes*) ou codes polynomiaux, sont des codes de blocs d'un type particulier, très utilisés du fait de leur facilité de mise en œuvre matérielle. Ils sont basés sur l'utilisation d'un polynôme générateur G(*x*) qui considère que toute information de *n* bits peut être transcrite sous une forme polynomiale. En effet, à l'information binaire 10111 on peut associer le polynôme

$$X^4 + X^2 + X^1 + X^0.$$

A partir d'une information de départ I(*x*) de *i* bits on va alors construire une information redondante R(*x*) de *r* bits et l'émettre à la suite de I(*x*), de telle sorte que le polynôme résultant N(x) soit divisible par le polynôme générateur G(*x*).
A la réception, on divise le polynôme N(*x*) reçu par le même polynôme G(*x*) et le reste de cette division doit alors être nul s'il n'y a pas eu d'erreur de transmission.

Soit le message 10011011 (*i* = 8) que l'on peut traduire par le polynôme *I*(*x*) :

$$1 * X^7 + 0 * X^6 + 0 * X^5 + 1 * X^4 + 1 * X^3 + 0 * X^2 + 1 * X^1 + 1 * X^0$$

ou plus simplement : $I(x) = X^7 + X^4 + X^3 + X^1 + X^0$

Le polynôme générateur choisi, ici, est (arbitrairement) $G(x) = X^3 + 1$ **avec *r* = 4 (*r* étant égal au nombre de bits qui constituent le polynôme générateur).**
On multiplie alors I(x) par le polynôme G(x) -1.

```
  1 0 0 1 1 0 1 1   I(x)
      × 1 0 0 0     G(x) − 1
  ---------------
  1 0 0 1 1 0 1 1 0 0 0
```

On effectue ensuite la division du polynôme ainsi obtenu par le polynôme générateur soit $X^{10} + X^7 + X^6 + X^4 + X^3$ **à diviser par** $X^3 + 1$**. Soit en binaire :**

```
  1 0 0 1 1 0 1 1 0 0 0  | 1 0 0 1
- 1 0 0 1                | 1 0 0 0 1 0 0 1
  0 0 0 0 1 0 1 1        |
      - 1 0 0 1          |
          1 0 0 0 0      |
        - 1 0 0 1        |
  reste   0 1 1 1        |
```

Il suffit donc d'ajouter le reste trouvé au dividende I(x) initial (10011011) pour obtenir un dividende divisible par le diviseur (ce qui est le but recherché) :

```
  1 0 0 1 1 0 1 1   I(x)
+           0 1 1 1 r
  ---------------
  1 0 1 0 0 0 1 0   I′(x)
```

L'information transmise sera alors 10100010 *I'*(*x*), à laquelle il faut adjoindre le reste *r*, soit en définitive : 10100010-0111.

A le réception, le système divise le *I'*(*x*) reçu par le polynôme générateur (et le reste de cette division doit alors être nul si la transmission s'est bien passée) il ne lui reste plus maintenant qu'à retrancher le *r* reçu de *I'*(*x*) pour retrouver l'information émise.

Le choix d'un bon polynôme générateur est important si l'on veut détecter un maximum d'erreurs. Un polynôme très utilisé, normalisé par le CCITT est $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$.

Ce polynôme permet de détecter :

- 100 % des erreurs simples ou doubles,
- 100 % des erreurs sur un nombre impair de bits,
- 100 % des paquets d'erreurs d'une longueur ≥ 16 bits,
- 99,99 % des paquets d'erreurs d'une longueur > 18 bits.

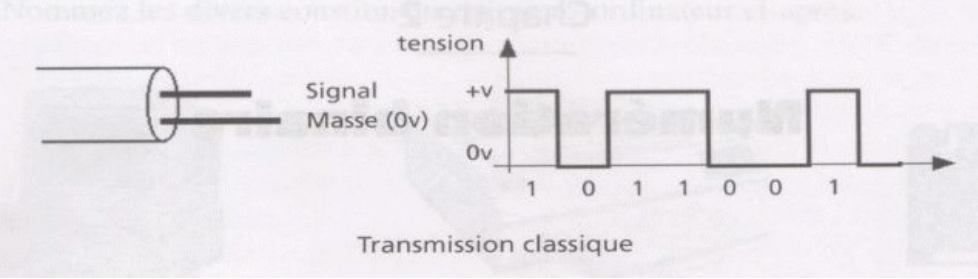
Un tel code permet donc de diviser le taux d'erreur moyen par 100 ou 1000, suivant le type d'erreur, et n'introduit qu'une redondance de 16 bits pour des messages dont la taille courante est de l'ordre de 1000 bits. Dans la pratique, ces codes seront utilisés en télétransmission entre deux appareils reliés par un réseau téléinformatique.

6.3 ETUDE DE QUELQUES ENCODAGES ET CODES COURANTS

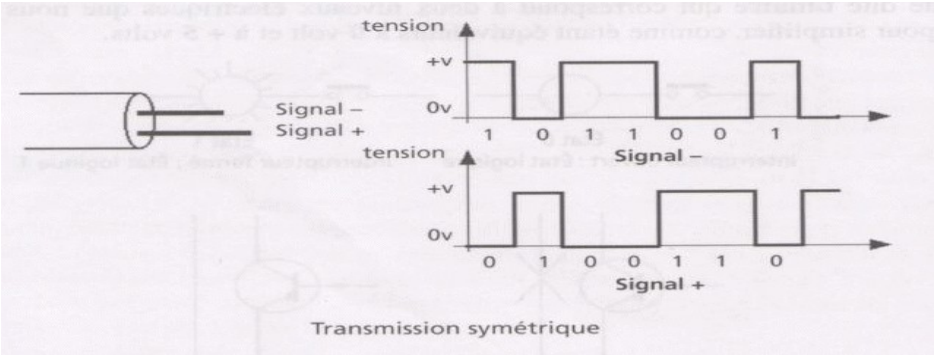
La terminologie de « code » est à considérer selon différents points de vue. En effet, on peut distinguer l'encodage, qui consiste à faire correspondre à un signal logique 0 ou 1 un signal électrique ou une transition de niveau (passage d'un niveau haut à un niveau bas par exemple), du code proprement dit, qui consiste à élaborer une combinaison binaire évitant, par exemple, les longues suites de 0 ou de 1 (embrouillage) ou ajoutant aux bits de données des bits supplémentaires destinés à en contrôler la bonne transmission. Dans la pratique les termes sont souvent confondus. C'est ainsi qu'on parlera de code NRZI alors qu'on devrait plutôt parler d'encodage. Observons ces principes de fonctionnement de plus près. On distingue trois « familles » de codage. Certains codages fonctionnent en binaire, code NRZ, Manchester, …, d'autres sont dits à Haute Densité Binaire ou HDB (*High Density Bipolar*) tel que HDB3, d'autres enfin fonctionnent par substitution de séries binaire adaptées aux mot binaires à émettre (c'est le cas de 4B5B ou 8B10B).

6.3.1 L'encodage NRZI

NRZI est un encodage dérivé de l'encodage NRZ. Dès qu'ils empruntent des voies filaires, les signaux binaires NRZ sont classiquement transmis au moyen de deux conducteurs dont l'un véhicule le signal et l'autre sert de masse.

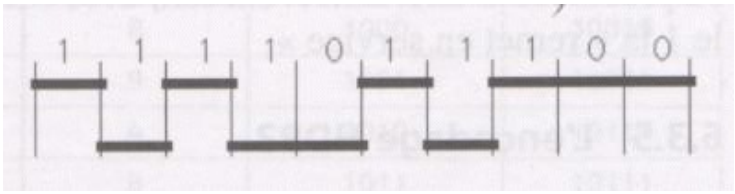


Cette technique, dite NRZ (*No Return to Zero*) ou encore bus asymétrique – SE (*Single Ended*) –, bien que toujours très utilisée, présente des inconvénients liés aux phénomènes électromagnétiques qui font que les signaux s'affaiblissent rapidement et deviennent illisibles, notamment lors de la transmission de composantes continues telles que de longues suites de 0 ou de 1. La méthode NRZ devrait être peu à peu remplacée par le technique dite mode différentiel, bus différentiel ou symétrique – LVD (*Low Voltage Differential*) –, où chaque fil de la paire véhicule le signal et son inverse.



Ainsi comme on vient de le voir, la méthode NRZ présenté ci-dessus et l'opération qui affecte à chaque bit un niveau électrique (arbitraire 0v pour le 0 logique et, par exemple, 2.8v pour le 1 logique). Lors de la transmission de composantes continues du signal, dues à de longues suites de 0 ou de 1, le signal se dégrade et l'absence de transitions devient gênante pour assurer une synchronisation convenable entre l'émetteur et le récepteur.

Observez, dans le schéma ci-dessous, l'exemple d'un signal encodé en NRZI (*Non-Return-To-Zero Invert-on-one*).

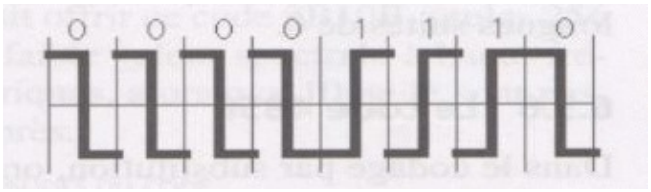


NRZI utilise chaque intervalle de temps pour encoder un bit mettant en œuvre la présence ou l'absence de transition pour repérer chaque bit (la présence d'un 1 logique étant repérée par une inversion – *Invert on one* – d'état du signal qui passe du niveau électrique 0 au niveau 2.8v ou inversement). En clair chaque bit à 1 à encoder va générer une transition de niveau alors qu'un bit à 0 ne va pas entraîner de changement d'état par rapport à l'état précédent.

6.3.2 L'encodage Manchester

L'encodage Manchester, utilisé dans les réseaux Ethernet à 10 Mbits/s, consiste à repérer le bit en utilisant une transition de niveau électrique, située au milieu de l'intervalle de temps horloge. Cette transition indique la présence d'un bit dont la valeur dépend du sens de la transition. Si le signal passe d'un niveau haut à un niveau bas (front descendant du signal ou transition décroissante) il s'agit d'un 0 logique. Inversement, si le signal passe d'un niveau bas à un niveau haut (front montant ou transition croissante) il s'agit d'un 1 logique.

Cet encodage permet de coder la valeur binaire sur la durée d'une transition qui, bien que n'étant pas instantanée, est toujours plus brève que le durée d'un niveau haut ou bas. On peut donc encoder plus de bits dans un délai moindre.

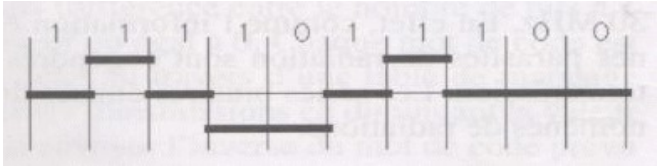


6.3.3 L'encodage Manchester différentiel

L'encodage Manchester différentiel est utilisé dans les réseaux Token Ring. Il repère le bit en utilisant une transition située au milieu de l'intervalle de temps horloge, comme avec l'encodage Manchester classique, mais, ici, le sens de la transition détermine la valeur du bit en fonction de la transition précédente. Si le bit à coder est un 0, la transition est de même sens que la précédente ; si le bit à coder est 1, on inverse le sens de la transition par rapport à celui de la précédente.

6.3.4 L'encodage MLT-3

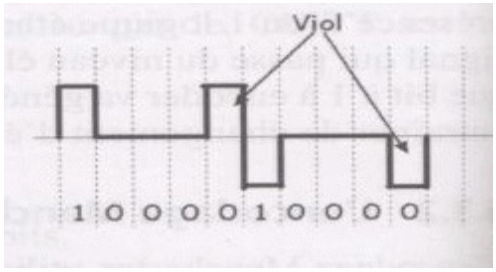
MLT-3 encode chaque bit par la présence ou l'absence de transition, exactement comme en NRZI. Ce qui change avec MLT-3 c'est que le signal de base est une succession d'alternances entre trois états fondamentaux. Plutôt qu'une simple alternance à deux états entre 0 et 1, comme dans l'encodage Manchester et NRZI, MLT-3 alterne d'un état -1 à un état 0 puis passe à un état +1, retourne à un état 0, puis à un état -1 et le processus reprend. Un 0 logique est encodé comme une rupture de ce processus d'alternance. En fait, avec MLT-3, le 0 « suspend la vague » alors que le 1 la « remet en service ».



6.3.5 L'encodage HDB3

Utilisé dans des réseaux numériques tels que Tansfix, HDB3 (*High Density Bipolar*) est un code bipolaire d'ordre 3 dans lequel, si le bit de rang n + 1 est à 0, on le remplace par un bit particulier qui « viole » la règle habituelle d'alternance des signes. Pour respecter la bipolarité ces bits sont alternativement inversés. On évite

ainsi les composantes continues dues aux longues suites de 0.



6.3.6 Le code 4B5B

Dans le codage par substitution, on ajoute un ou plusieurs bits supplémentaires aux bits de données de manière à vérifier l'intégrité des données reçues ou assurer la transmission de séries binaires plus aptes au transport que d'autres.

Un code de bloc couramment employé, à cet effet, est le code 4B5B (4 Bits de données déterminant 5 Bits transmis). Les combinaisons binaires qui se substituent à la série binaire d'origine ont été choisies car elles optimisent l'utilisation de la bande passante et remédient au problème des composants continues.

Supposons que la donnée à transmettre corresponde à la valeur hexadécimale 0Eh. Dans un premier temps l'octet va être divisé en deux quartets, l'un correspondant donc au 0h et l'autre au Eh. Chaque symbole est ensuite recherché dans une table de correspondance (*mapping table*) associant à chaque quartet un quintet de code répondant à certaines caractéristiques de largeur de spectre et de résistance aux erreurs. Le code du 0h est ainsi mis en correspondance (*mappé*) avec la suite binaire 11110 du code 4B5B tandis que le code du Eh est 11100.

6.3.7 Le code 8B10B

Le code 8B10B est couramment utilisé en transmission de données sur les réseaux locaux Ethernet à 100 Mbits/s. Ce code de bloc a été choisi du fait que les radiations émises par la transmission des bits n'étaient pas excessives au-delà de 30 MHz. En effet, comme l'information électrique varie dans un fil, des phénomènes parasites de radiation sont engendrés qui peuvent influer sur la qualité de la transmission. Les séries binaires émises doivent donc limiter au maximum ces phénomènes de radiations.

TABLE D'ENCODAGE 4B5B

Valeur hexa	Valeur binaire	Code 4B5B	Valeur hexa	Valeur binaire	Code 4B5B
0	0000	11110	8	1000	10010
1	0001	01001	9	1001	10011
2	0010	10100	A	1010	10110
3	0011	10101	B	1011	10111
4	0100	01010	C	1100	11010
5	0101	01011	D	1101	11011
6	0110	01110	E	1110	11100
7	0111	01111	F	1111	11101

Parmi les 1 024 combinaisons (2^{10}) que pouvait offrir ce code 8B10B, seules 256 (123 * 2 + 10) ont été retenues du fait de leur faible valeur spectrale à haute fréquence. Parmi ces mots de code 123 sont symétriques, alors que 10 ne le sont pas, ainsi que vous le montre l'extrait du tableau ci-après.

LES 10 MOTS NON SYMÉTRIQUES VALIDES DU CODE

$d_0 \ldots d_9$	$d_0 \ldots d_9$	$d_0 \ldots d_9$	$d_0 \ldots d_9$
0011111100	0111111110	0111001110	1000010111
1110000111	1100110011	1001111001	1111001111
1110110111	1101111011		

EXTRAIT DES 123 MOTS SYMÉTRIQUES VALIDES DU CODE

$d_0 \ldots d_9$ ou $d_9 \ldots d_0$	$d_0 \ldots d_9$ ou $d_9 \ldots d_0$	$d_0 \ldots d_9$ ou $d_9 \ldots d_0$	$d_0 \ldots d_9$ ou $d_9 \ldots d_0$
0011111111	0011100110	1100110111	1011000011
1111100111	1100011001	0111111011	1011100111
1111110011	1000111111	0111000110	0110100011
0001100111	1110111111	1000111001	1001011100
1111111110	1110011110	0011011110	1101001111
1111111000	0000111011	...	

Les 256 mots du code formé ont un poids (différence entre le nombre de bits à 1 et le nombre de bits à 0 dans le mot) supérieur ou égal à 0. Chaque mot de code est affecté à chacune des valeurs possibles d'octet au travers d'une table de mappage comme dans le cas du 4B5B. Pour fiabiliser les transmissions en diminuant la valeur spectrale, l'encodeur 8B10B peut décider d'envoyer l'inverse du mot de code prévu (plus exactement le « complément » du mot), en fonction du poids du mot transmis précédemment et de la valeur du RD (*Running Disparity*). Le RD correspondant à la variation d'une référence de départ en fonction du poids du mot.

Mot	Poids	RD	
		– 1	*Valeur de départ*
0101011001	0	– 1	
0111001011	+ 2	+ 1	← (– 1 + 2)
1011101001	+ 2	←	Le poids du mot est > 0, le RD est > 0 on va donc émettre l'inverse du mot prévu soit 0100010110
0100010110	– 2	– 1	

Un certain nombre de mots de code ne respectant pas les caractéristiques spectrales mais présentant un poids 0, sont également employés de manière à transmettre des séquences particulières. Ces mots de code ont été choisis en fonction de leur distance de Hamming (de valeur 4) par rapport aux mots valides du code.

MOTS DE CODE DE POIDS 0

$d_0 \ldots d_9$	$d_0 \ldots d_9$	$d_0 \ldots d_9$	$d_0 \ldots d_9$
0000110111	0001001111	0011110001	0111000011
1111001000	1110110000	1100001110	1000111100

Deux séries binaires particulières ont également été retenues 1010101010 et 0101010101 qui, bien que ne répondant pas aux caractéristiques spectrales, offrent d'autres avantages en terme de détection.

Chapitre 7

Conception des circuits intégrés

On appelle circuit intégré (CI), un composant électronique qui regroupe tous les éléments constitutifs d'un circuit logique permettant d'obtenir telle ou telle fonction (portes logiques, bascules, registres, compteurs, mémoires, microprocesseurs, …) nécessaire, et cela dans un même matériau, très généralement le silicium.

7.1 UN PEU D'HISTOIRE

Le transistor est un composant électronique dont le premier modèle a été fabriqué en 1951. Mis au point par J. Bardeen, W. Brattain et W. Shocklet, il remplace avantageusement les lampes (tubes à vides), encombrantes et peu fiables, que l'on utilisait jusqu'alors.

Les premiers transistors formaient des composants séparés. Les années 1960 voient l'apparition des circuits intégrés. Le circuit intégré est un circuit électronique complet, concentré sur une pastille de matériau semi-conducteur, généralement du silicium ou des arséniures de gallium, et parfois appelé puce, soit du fait de sa taille (quelques millimètres carrés), soit du fait de sa couleur. Le nombre de composants placés sur une puce n'a cessé de croître depuis l'apparition des premiers circuits intégrés. En 1965, on pouvait loger environ trente composants sur une puce de 3 mm^2 ; quinze ans plus tard, on en décompte plus de 100 000 et, en 2000, près de 130 000 000 sur le PA-8500 de chez HP. L'échelle d'intégration, c'est-à-dire la largeur des pistes de silicium que l'on est capable de réaliser, est de l'ordre 0,35 µ à 0,25 µ mais on atteint déjà 0,13 µ, ce qui semble être la limite connue pour le silicium mais des recherches sur le cuivres, le carbone et des transistors biologiques sont en cours …

La diminution de la taille des circuits présente de nombreux avantages. Tout d'abord une amélioration des performances, en effet si la taille du microprocesseur diminue, les distances à parcourir par les signaux électriques qui le traversent se réduit, ce qui réduit les temps de traitement et améliore les performances. De plus, il devient également possible d'augmenter le nombre de transistors présents sur la puce. La consommation électrique et le dégagement de chaleur sont réduits. En effet, comme la taille du microprocesseur diminue, sa consommation électrique et la chaleur, qu'il dégage, baissent également. On peut donc produire des micro-ordinateurs ayant une plus grande autonomie électrique et augmenter la vitesse de fonctionnement du processeur sans franchir le seuil de chaleur critique qui détériorerait la puce.

Les progrès accomplis dans l'intégration des circuits suivent une courbe régulière définie, dès 1965, par Gordon Moore. Cette « loi de Moore » dit que « le nombre de transistors d'un microprocesseur double tous les deux ans environ ». A l'horizon 2000, on voit apparaître des processeurs comportant 130 millions de transistors et peut-être 1 milliard de transistors vers l'an 2010.

Suivant la quantité de composants que l'on peut intégrer sur une puce on parle de circuits intégrés de type :

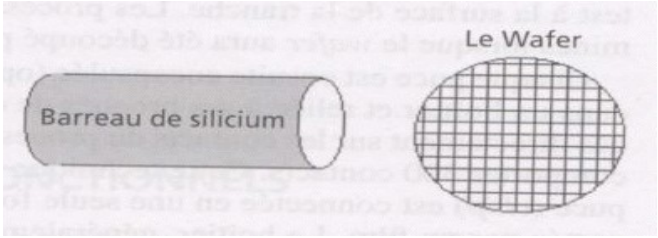
- SSI (*Small Scale Integration*) pour quelques composants.
- MSI (*Medium ou Middle SI*) jusqu'à 500 composants.
- LSI (*Large SI*) jusqu'à quelques milliers de composants. Par exemple, le microprocesseur 8080 comportait 5000 transistors.
- VLSI (*Very Large SI*) jusqu'à 10 000 composants.
- SLSI (*Super LSI*) actuellement environ 3 300 000 composants sur une puce (microprocesseur Intel Pentium, T9000 de SGS …).
- ULSI (*Ultra LSI*) permettant de descendre à une échelle d'intégration de 0,18 µ puis 0,13 µ !

Précisons que de plus en plus de composants, à l'origine externes au microprocesseur proprement dit, tels que la carte son, la carte graphique, …, sont en passe d'être intégrés sur une même puce de silicium. Actuellement une carte mère complète est ainsi proposée sur une puce de 11 mm^2.

7.2 TECHNIQUE DE CONCEPTION DES CIRCUITS INTGRES

Pour réaliser un circuit intégré, l'ensemble des circuits électroniques doit d'abord être conçu au moyen d'ordinateurs spécialisés dans la conception assistée par ordinateur (CAO) et dans le dessin assisté par ordinateur (DAO). On peut ainsi modéliser des processeurs entiers à des vitesses fulgurantes. Chaque circuit est ensuite dessiné environ 500 fois plus gros qu'il ne sera réellement.

Ce schéma (masque) est utilisé pour guider, par ordinateur, un faisceau lumineux qui va impressionner une plaque photographique appelée réticule reproduisant, réduit d'environ 20 fois, le schéma du circuit. Un microprocesseur comme le Pentium nécessite plus de 20 de ces masques. Le réticule est à nouveau contrôlé et corrigé avant d'être recopié, réduit à la taille définitive du circuit par un procédé photographique (procédé dit par photolithographie), sur une fine tranche d'un barreau de silicium.



On emploie le silicium, extrait du sable et qui se trouve l'élément chimique le plus abondant sur terre après l'oxygène, car c'est un semi-conducteur naturel. Autrement dit, il peut être isolant ou conducteur par ajout ou appauvrissement en électrons – c'est le dopage. Avant cela, il doit toutefois subir un processus chimique qui le transforme en barreaux cylindriques de silicium pur à 99,999999 %, d'environ 50 cm de long pour un diamètre de 20 centimètres. Ceux-ci sont ensuite découpés en tranches fines de 0,3

mm d'épaisseur environ et polies – wafer (littéralement « gaufrette »). La technologie actuelle permet de fabriquer des tranches de silicium de 20 cm de diamètre environ, comportant chacune plusieurs centaines de processeurs.

On isole ensuite au travers du masque la surface de chaque *wafer*, revêtue d'une pellicule de produit chimique photosensible, de manière à créer l'image du circuit électronique qui correspond à ce masque. On utilise alors divers produits pour retirer les matériaux des endroits non isolés de la surface. Puis on dope les zones exposées à l'aide d'impuretés chimiques pour modifier leur conductivité électrique en portant chaque tranche à une température d'environ 1 000 °C dans un four à diffusion, puis en les exposant à des éléments chimiques (bore, phosphore, …) appelés dopants, qui modifient les propriétés semi-conductrices du silicium. Une couche peut ne mesurer que 50 angströms d'épaisseur (soit l'équivalent de dix atomes). Des canaux remplis d'aluminium relient les couches formées par la répétition du processus de lithogravure – une vingtaine de couche pour un Pentium.

L'évolution technologique a permis de réduire la largeur de ces canaux qui est passée de un micron (un millionième de mètre) en 1990 – à comparer avec l'épaisseur d'un cheveu : 120 microns. En 1997 la largeur de la gravure atteint 0,25 µ. On atteint dès à présent 0,13 µ. Il existe également une technique de lithographie par faisceaux d'électrons, qui permet d'attaquer directement le *wafer* grâce à un faisceau d'électrons. L'implantation ionique autorise également le dopage des circuits, en introduisant des impuretés à température ambiante. Les atomes dopants étant ionisés et implantés aux endroits voulus grâce à un bombardement d'ions. Le remplacement de l'aluminium par du cuivre est en cours – un processeur fonctionnant avec cette technologie a été présenté par IBM en 1998. Cette technologie permet d'améliorer l'intégration en évitant les phénomènes d'érosion électriques présentés par l'aluminium sur le silicium et en améliorant la conductivité électrique.

De plus le cuivre présente une meilleure dissipation calorifique ce qui limite les problèmes de refroidissement et permet de gagner en finesse de gravure.

Lorsque le *wafer* est terminé, les processeurs sont testés individuellement pour vérifier leur bon fonctionnement. Des sondes de la taille d'une épingle réalisent ainsi plus de 10 000 vérifications par seconde en mettant en contact des points de test à la surface de la tranche. Les processeurs défaillants sont repérés et seront éliminés lorsque le *wafer* aura été découpé par un outil à pointes de diamant.

Chaque puce est ensuite encapsulée (opération dite d'empaquetage ou *packaging*) dans un boîtier et reliée à ses broches de connexion par de minuscules fils d'or soudés directement sur les contacts du processeur. Les processeurs actuels peuvent ainsi comporter 300 contacts. Cette technique peut être remplacée par celle du film où la puce (*chip*) est connectée en une seule fois aux pattes d'une structure dite araignée, portée par un film. Le boîtier, généralement en céramique ou en plastique noir, est destiné à éviter que le circuit intégré ne soit soumis aux agressions de l'environnement (humidité, égratignures, poussière, …) mais aussi à évacuer la chaleur dissipée par le composant lors de son fonctionnement ainsi qu'à une meilleur manipulation.

En tout, la fabrication d'un processeur compte plus de deux cents étapes, chacune d'une durée comprise entre une vingtaine de minutes et plus de huit heures. C'est donc en mois que se calcul son cycle de fabrication.

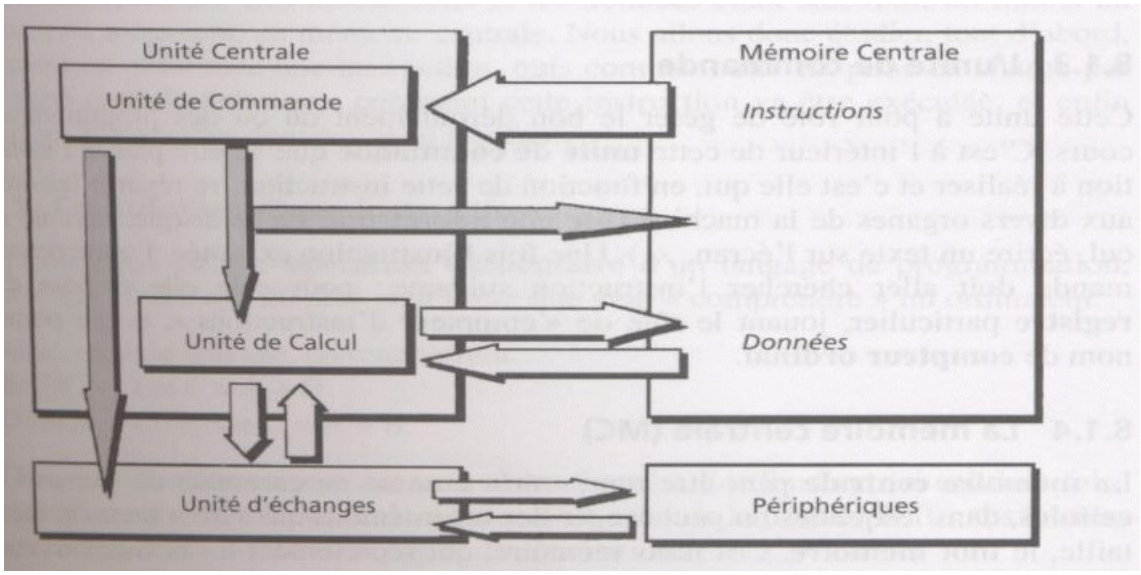
Ces opérations ne peuvent se faire que un milieu particulièrement propre, appelé « salle blanche », d'où l'obligation pour les techniciens de revêtir des combinaisons industrielles (« *bunny suits* » en anglais), qui les isolent des produits fabriqués.

Chapitre 8

Unité centrale de traitement

8.1 APPROCHE DES BLOCS FONCTIONNELS

Rappelons succinctement par un schéma synoptique, la composition d'un système informatique telle que nous l'avions présentée lors de l'introduction.



Structure schématique d'un système informatique

8.1.1 L'unité centrale (UC)

Il convient de faire une distinction entre les différentes entités physique qui se cachent sous le terme d'unité centrale. Employée par les commerciaux et par la plupart des usagers, notamment au niveau de la micro-informatique, cette appellation recouvre en fait le boîtier central du système, contenant l'unité de traitement (microprocesseur), la mémoire centrale, mais aussi, le lecteur de disquettes, le disque dur, le streamer à bande magnétique … Dans une approche plus rigoriste, il convient de dissocier en fait de cette fausse unité centrale, l'unité de traitement (généralement constituée d'un seul microprocesseur en micro-informatique) que nous devons considérer comme étant la véritable unité centrale du système informatique. Toutefois, certains auteurs rattachent à cette unité de traitement la mémoire centrale, le tout constituant alors à leurs yeux l'unité centrale ; on peut considérer, en effet, que l'unité de traitement ne serait rien sans la mémoire centrale (et inversement) auquel cas il est bien délicat de dissocier les deux. L'unité centrale de traitement est composée des deux sous-ensembles que sont l'unité de calcul et l'unité de commande.

8.1.2 L'unité de calcul (UAL)

C'est au sein de ce bloc fonctionnel, aussi appelé unité arithmétique et logique (UAL), que sont réalisées les opérations arithmétiques telles qu'additions, multiplications, … et les traitements logiques de comparaisons sur les données à traiter.

8.1.3 L'unité de commande

Cette unité a pour rôle de gérer le bon déroulement du ou des programmes en cours. C'est à l'intérieur de cette unité de commande que va être placée l'instruction à réaliser et c'est elle qui, en fonction de cette instruction, va répartir les ordres aux divers organes de la machine (lire une information sur le disque, faire un calcul, écrire un texte sur l'écran, …). Une fois l'instruction exécutée, l'unité de commande doit aller chercher l'instruction suivante ; pour cela elle dispose d'un registre particulier, jouant le rôle de « compteur d'instructions », et qui porte le nom de compteur ordinal.

8.1.4 La mémoire centrale (MC)

La mémoire centrale peut être représentée comme un ensemble de « cases » ou cellules, dans lesquelles on peut ranger des informations qui auront toutes la même taille, le mot mémoire. Ces mots mémoire, qui représentent les instructions composant les programmes du système ou de l'utilisateur et les données qui sont à traiter à l'aide de ces programmes, ont une taille variant suivant le type de machine (8, 16 ou 32 bits, …).
Afin de pouvoir retrouver dans la mémoire centrale la cellule qui contient le mot mémoire que l'on cherche, les cellules sont repérées par leur adresse (emplacement) dans la mémoire, c'est-à-dire qu'elles sont numérotées (généralement en hexadécimal) de la cellule d'adresse 0 à, par exemple, la cellule d'adresse FFFF.

8.1.5 L'unité d'échange

Cette unité d'échange a pour rôle de gérer les transferts des informations entre l'unité centrale et l'environnement du système informatique. Cet environnement correspond en fait aux périphériques tels que disques durs, imprimantes, écran vidéo, …

8.1.6 Les périphériques

Les périphériques sont très nombreux et très variés. Certains ne peuvent que recevoir des informations (écrans, …), d'autres ne peuvent qu'en émettre (claviers, …), d'autres servent de mémoire externe (mémoire auxiliaire ou de masse) au système (disque, disquettes, …), enfin certains peuvent être très spécialisés (sondes de température, de pression, …). Nous étudierons donc successivement, ces divers éléments : unité centrale, mémoire centrale et auxiliaire, périphériques d'entrée/sorties.

8.2 ETUDE DE L'UNITE CENTRALE DE TRAITEMENT

Nous avons vu précédemment qu'un programme était composé d'instructions qui traitent des données. Les instructions et les données étant stockées, du moins au moment du traitement, en mémoire centrale. Nous allons donc étudier, tout d'abord, comment est constituée une instruction, puis comment elle est prise en charge par une unité centrale théorique, comment cette instruction va être exécutée, et enfin comment évoluent les données ainsi traitées.

8.2.1 Constitution d'une instruction

Une instruction est généralement une opération élémentaire d'un langage de programmation, c'est-à-dire qu'il s'agit du plus petit ordre que peut « comprendre » un ordinateur.

Ainsi, selon le langage, on rencontrera

BASIC Let C = A + B
COBOL Compute C = A + B

Chaque instruction correspond à un ordre donné à l'ordinateur, ici celui de faire une addition entre le contenu de la donnée A et celui de la donnée B. Toutes les instructions présentent en fait deux types d'informations :

- ce qu'il faut faire comme action (addition, saisie d'information, affichage, …),
- avec quelles données réaliser cette action (A, B, …).

Dans la machine qui, rappelons-le, ne comprend que les états logiques binaires de circuits électroniques, les instructions et les données ne sont bien évidemment pas représentées comme une suite de lettres ou de signes, mais sous forme d'éléments binaires 0 ou 1.

Cette transformation d'une instruction d'un langage évolué (BASIC, COBOL, PASCAL, C, …) en une série binaire se fait se fait grâce à un programme spécial du système qui est appelé interpréteur ou compilateur, selon le mode de traduction qu'il met en œuvre. La transformation d'une instruction d'un langage non évolué ou langage d'assemblage en une série binaire, dépend du microprocesseur utilisé (Intel Pentium, Alpha-I64, PowerPC, …) et se réalise grâce à un programme spécial du système appelé assembleur.

De même que les instructions ne sont pas représentées « en clair », les données ne se présentent pas non plus telles quelles mais sont codées grâce aux codes ASCII, EBCDIC, … ou représentées sous une forme virgule flottante, entier binaire, … Ainsi, sur le microprocesseur Z80, une instruction écrite par l'homme sous forme mnémonique ADD A, C (instruction du langage d'assemblage qui effectue l'addition du contenu du registre A avec le contenu du registre C et range le résultat dans le registre A) se traduit après assemblage, par la suite binaire 10000001 que, pour faciliter la compréhension par l'utilisateur, on représente le plus souvent par son équivalent hexadécimal 81H.

Quand l'unité de commande reçoit une telle instruction, elle sait quel « travail » elle doit réaliser et avec quelles données. Elle déclenche à ce moment-là une suite ordonnée de signaux de commandes (on dit aussi microcommandes) destinés à l'activation des composants du système qui entrent en jeu dans l'exécution de cette instruction (mémoire, unité de calcul, …).

Une instruction peut donc se décomposer en deux zones ou champs :

Zone Opération	Zone Données (opérandes)
Ce qu'il faut faire	Avec quoi le faire

Or, ainsi que nous l'avons dit précédemment, les données sont rangées dans les cellules de la mémoire centrale où elle sont repérables grâce à leur adresse. Une terminologie plus précise nous amène donc à utiliser comme appellation de ces zones :

Zone Opération	Zone Adresse

Une instruction « élémentaire »

a) La zone Opération

Cette zone permet à la machine de savoir quelle opération elle doit réaliser, c'est-à-dire quels éléments elle doit mettre en œuvre. Selon le nombre d'instructions que « comprend » la machine, ou plus exactement le microprocesseur utilisé par la machine, cette zone opération, ou code opération, sera plus ou moins longue. Ainsi, une zone opération sur un octet autorisera-t-elle 256 instructions différentes (jeu d'instructions).

En réalité cette zone opération ou encore champ opération est, en général, composée de deux sous-zones. En effet, pour une même catégorie d'instructions, on peut distinguer plusieurs types plus précis d'instructions.

Pour une addition, on peut faire la distinction entre l'addition du contenu d'une zone mémoire avec elle-même, ou l'addition du contenu d'une zone mémoire avec celui d'une autre zone …

On peut donc décomposer notre champ opération en :

Zone Opération		Zone Adresse
Code Opération	Code Complémentaire	Zone Adresse

Une instruction type

En consultant le jeu d'instructions d'un microprocesseur comme le 8086, vous pourrez constater que la majeure partie des instructions d'un même type commencent par la même série binaire, c'est-à-dire qu'elles commencent, en fait, par le même code opération et sont dissociées les unes des autres par leur code complémentaire.

b) La zone adresse

Dans une première approche de l'instruction nous avions dit qu'elle contenait une zone de données ; or, dans la réalité, cette zone ne contient pas, la plupart du temps, la donnée elle-même mais son adresse, c'est-à-dire l'emplacement de la case mémoire où est rangée réellement cette donnée (emplacement qui, rappelons-le, est généralement noté en hexadécimal, par exemple l'adresse FB80).

Suivant les machines on peut rencontrer des instructions à une adresse ou à deux adresses bien que ce dernier type soit de moins en moins courant. Sur les machines travaillant sur des mots mémoire de longueur fixe, ce qui est la tendance actuelle et notamment au niveau de la micro et mini-informatique, les instructions sont très généralement à seule adresse.

Comme la plupart des instructions nécessitent le traitement de deux données, et donc *a priori* ont besoin de deux adresses (par exemple l'addition de A avec B nécessite de connaître l'adresse de A et celle de B), une de ces deux adresses est généralement une adresse implicite et, dans la majorité des cas, ce sera celle d'un registre particulier de l'unité de calcul, l'accumulateur (nous reviendrons ultérieurement sur ces notions d'adresses et d'adressages).

8.2.2 L'unité de commande

a) Rôle

Nous avons déjà vu que l'unité de commande avait pour rôle de gérer le bon déroulement du programme. Elle doit donc prendre en compte, les unes après les autres, chacune des instructions ; décoder l'instruction en cours, lancer les ordres (micro-commandes) aux composants du système qui participent à la réalisation de cette instruction ; puis aller chercher une nouvelle instruction et recommencer.

Pour cela l'unité de commande est constituée d'un certain nombre de composants internes qui assurent chacun une fonction bien déterminée.

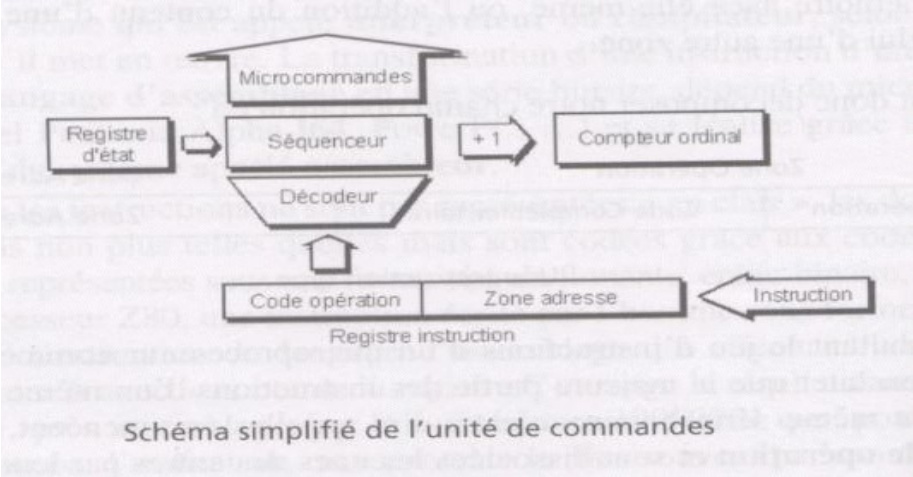


Schéma simplifié de l'unité de commandes

b) Composants de l'unité centrale

> Le registre instruction

L'instruction que l'unité de commande va devoir traiter est chargée préalablement dans un registre particulier appelé registre instruction.

> Le séquenceur

En fonction de l'instruction à traiter – qui vient d'être chargée dans le registre instruction – l'unité de commande va devoir émettre un certain nombre de microcommandes vers les autres composants du système.

Ces ordres ne devront bien évidemment pas être émis n'importe quand, ni vers n'importe quel composants, mais respecter une chronologie bien précise selon le type d'instruction à exécuter. Cette chronologie (ce séquencement) est rythmée par une horloge interne au système, quartz oscillant à une fréquence comprise à l'heure actuelle entre 133 et 800 MHz. On comprend intuitivement que plus cette fréquence est élevée et plus l'unité centrale de traitement travaille « vite » -- mais ce n'est pas le seul facteur de rapidité.

Le composant qui émet ces microcommandes (en fonction du code opération (préalablement décodé) de l'instruction située dans le registre instruction) est le séquenceur, qui comme son nom le laisse entendre, envoie une séquence de microcommandes vers les composants impliqués par l'instruction.

> Le registre d'état

Pour exécuter correctement son travail, le séquenceur doit, en outre, connaître l'état d'un certain nombre d'autres composants et disposer d'informations concernant la ou les opérations qui ont déjà été exécutées (par exemple, doit-on tenir compte dans l'addition en cours d'une éventuelle retenue préalable générée par une addition précédente). La connaissance de ces informations se fait à l'aide d'un autre composant appelé registre indicateur ou, plus couramment registre d'état, et qui, grâce à des indicateurs (drapeaux ou *flags*), qui ne sont en fait que des registres de bascules, mémorisera certaines informations telles que retenue préalable, imparité, résultat nul, etc.

> Le compteur ordinal

Quand le séquenceur a fini de générer les microcommandes nécessaires, il faut qu'il déclenche le chargement, dans le registre instruction, d'une nouvelle instruction. Pour cela il dispose d'un registre « compteur d'instructions » (qui serait plutôt un « pointeur » d'instructions).

Ce registre porte le nom de compteur ordinal (*Program Counter* ou *Instruction Pointer*). Il s'agit d'un registre spécialisé, qui est chargé automatiquement par le système lors du lancement d'un programme, avec l'adresse mémoire de la première instruction du programme à exécuter.

Par la suite, à chaque fois qu'une instruction a été chargée dans le registre instruction et qu'elle s'apprête à être exécutée, ce compteur ordinal est incrémenté (augmenté) de manière à pointer sur l'adresse de la prochaine instruction à exécuter.

8.2.3 L'unité arithmétique et logique

L'unité arithmétique et logique (UAL) est composée de circuits logiques tels que les additionneur, soustracteur, comparateurs logiques… selon le degré de technicité et d'intégration atteint par le fabricant du circuit intégré. Les données à traiter se présentent donc aux entrées de l'UAL, sont traitées, puis le résultat est fourni en sortie de cette UAL et généralement stocké dans un registre dit accumulateur.

Ces deux composants, unité de commandes et unité arithmétique et logique constituent donc une unité centrale, aussi appelée unité de traitement ou CPU (*Central Processor Unit*).

Cette unité centrale (UC) permet ainsi :

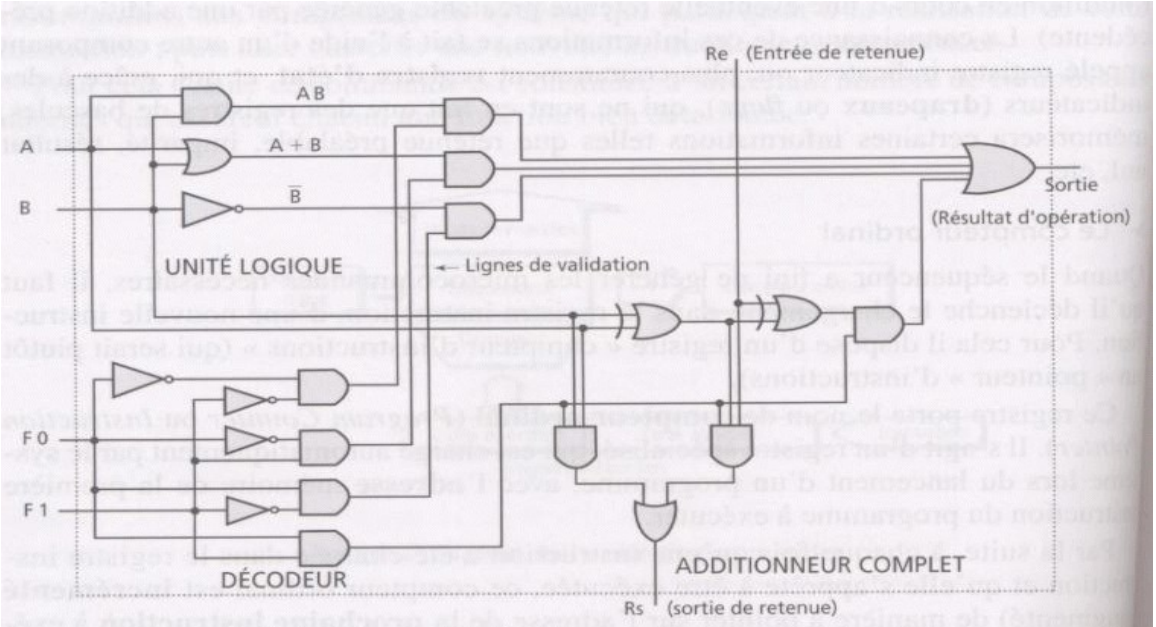
- d'acquérir et décoder les instructions d'un programme, les unes après les autres en général – mais ce n'est pas toujours aussi simple,

- de faire exécuter par l'UAL les opérations arithmétiques et logiques commandées par l'instruction,

- de gérer les adresses des instructions du programme grâce au compteur ordinal,

- de mémoriser l'état interne de la machine sous forme d'indicateurs grâce au registre d'état,

- de fournir les signaux de commande et de contrôle aux divers éléments du sytème.



D'après : Tanenbaum, Architecture de l'ordinateur, Inter-Editions.

Exemple simple d'UAL 1 bit

8.2.4 Les bus

Les composants de l'unité centrale communiquent entre eux et avec les composants extérieurs à l'UC à l'aide de liaisons électriques (fils, circuits imprimés ou liaisons dans le circuit intégré), qui permettent le transfert des informations électriques binaires. Ces ensembles de « fils » constituent les bus.

a) Le bus de données

Le bus de données (*Data Bus*) permet, comme son nom l'indique, le transfert de données (instructions, ou données à traiter) entre les composants du système. Suivant le nombre de « fils » que compte le bus, on pourra véhiculer des mots de 8,16, 32 ou 64 bits. Ce nombre de bits pouvant circuler en même temps (en parallèle) détermine ce que l'on appelle la largeur du bus. Les informations pouvant circuler dans les deux sens sur un tel bus (de la mémoire vers l'unité centrale ou de l'unité centrale vers la mémoire par exemple), le bus de données est dit bidirectionnel.

b) Le bus d'adresses

Le bus d'adresses (Address Bus) comme son nom l'indique, est destiné à véhiculer des adresses, que ce soit l'adresse de l'instruction à charger dans le registre instruction, ou celle de la donnée à charger dans un registre particulier ou à envoyer sur une entrée de l'UAL. La largeur du bus d'adresses détermine la taille de la mémoire qui sera directement adressable (adressage physique) par le microprocesseur. Ainsi, avec

un bus d'adresse d'une largeur de 16 bits on peut obtenir 2^{16} combinaisons soit autant de cellules mémoires où loger instructions ou données (avec un bus d'adresses de 32 bits on peut ainsi adresser 4 Go de mémoire physique).

Dans ce type de bus les adresses ne circulent que dans le sens unité centrale vers mémoire, ce bus est alors dit unidirectionnel.

c) Le bus de commandes

Le bus de commandes (Control Bus) permet aux microcommandes générées par le séquenceur de circuler vers les divers composants du système.

8.2.5 Fonctionnement de l'unité centrale

En examinant ce que nous avons déjà énoncé quand au traitement des instructions dans l'unité centrale, on peut dire que pour chaque instruction d'un programme on peut distinguer :

- une phase de recherche de l'instruction (adressage),
- une phase de traitement de l'instruction.

Nous allons examiner, de plus près, ces deux phases à partir d'un exemple simplifié de fonctionnement. Pour faciliter la compréhension, nous utiliserons des mnémoniques représentant chacune des microcommandes que le séquenceur pourra générer (ces commandes mnémoniques sont tout à fait arbitraires et n'existent pas en tant que telles dans une véritable machine). Dans la réalité, les microcommandes correspondent à des simples impulsions électriques émises par le séquenceur.

Sur le schéma complet de l'unité centrale que nous présentons en page suivante, vous pouvez observer que les microcommandes issues du séquenceur sont représentées comme de petites flèches que l'on retrouve au niveau des relations entre les divers constituants de l'UC et qui pointent sur une zone grisée : cette zone peut être assimilée à une porte (c'est d'ailleurs souvent une porte logique) que la microcommandes va « ouvrir », permettant ainsi le passage de l'information entre les composants.

Ainsi, la microcommande, que nous nommerons arbitrairement LCO (pour Lecture du Compteur Ordinal) pointe sur la zone grisée de la liaison qui va du compteur ordinal au bus d'adresses. Cette microcommande autorise donc le transfert du contenu du compteur ordinal sur le bus d'adresses.

Vous trouverez dans les pages suivantes un tableau complet des microcommandes arbitrairement proposées. De la même manière le « schéma » de fonctionnement présenté correspond à un fonctionnement simplifié et nous engageons à vous reporter au chapitre des microprocesseurs pour avoir une vision plus fine du déroulement de ce fonctionnement.

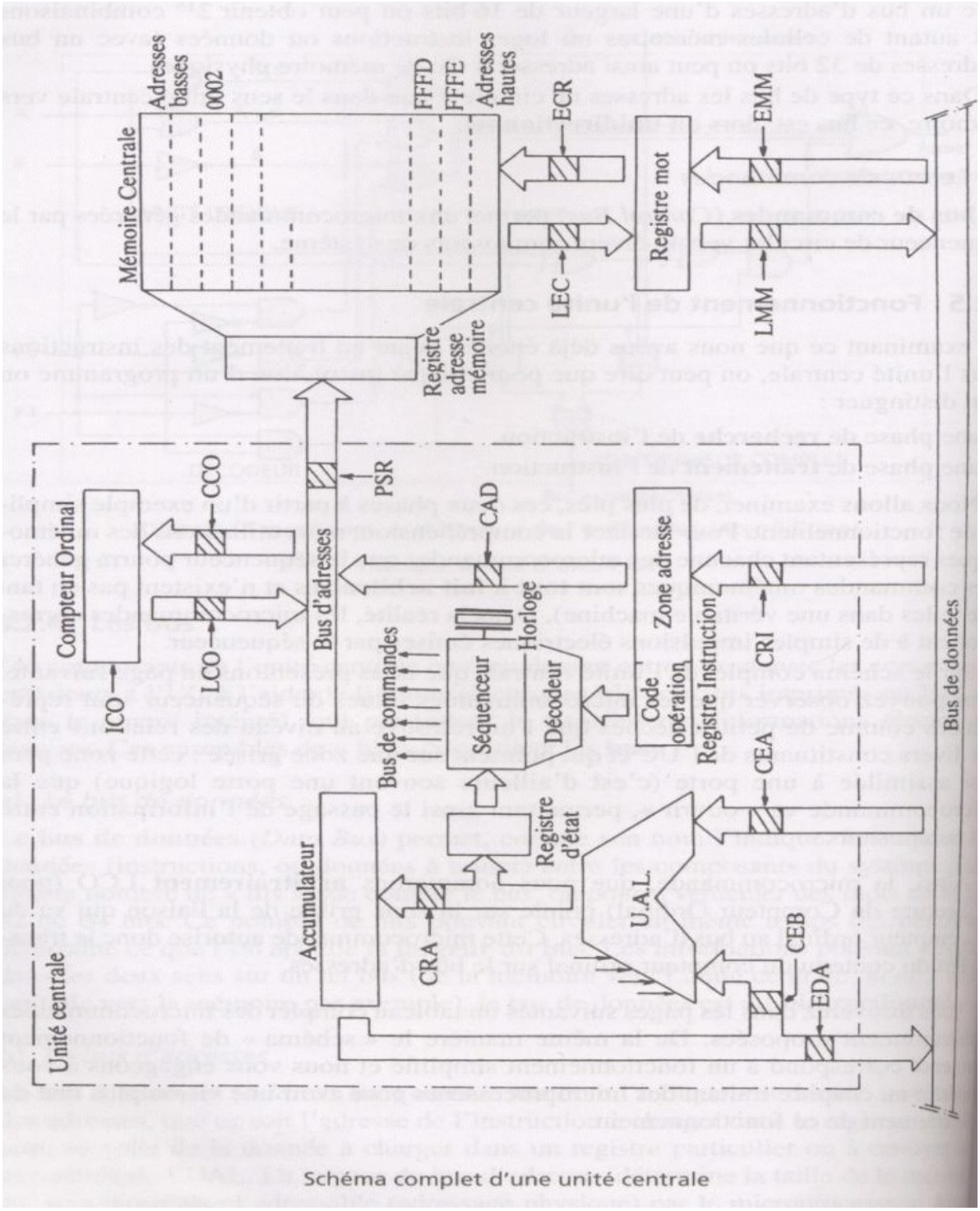


Schéma complet d'une unité centrale

Afin de simplifier nous présenterons ces microcommandes sous la forme suivante (un terme entre parenthèses se traduisant par « contenu de ») :

LCO *Lecture Compteur Ordinal*	(Compteur Ordinal) --> Bus adresses
CCO *Chargement Compteur Ordinal*	(Bus adresses) --> Compteur Ordinal
PSR *Pointage Sur Registre*	(Bus d'adresses) --> Registre Adresse Mémoire
LEC *LECture*	(Mémoire) --> Registre Mot
ECR *ÉCRiture en mémoire*	(Registre Mot) --> Mémoire
LMM *Lecture Mot Mémoire*	(Registre Mot) --> Bus de Données
EMM *Écriture Mot Mémoire*	(Bus de Données) --> Registre Mot
CAD *Chargement ADresse*	(Reg Instr adresse) --> Bus d'Adresses
CRA *Chargement Registre Accumulateur*	(UAL sortie) --> Accumulateur
CRI *Chargement Registre Instruction*	(Bus de Données) --> Registre Instruction
CEB *Chargement Entrée B*	(Accumulateur) --> Entrée B de l'UAL
CEA *Chargement Entrée A*	(Bus de Données) --> Entrée A de l'UAL
EDA *Envoi de Donnée Accumulateur*	(Accumulateur) --> Bus de données
ICO *Incrémentation du Compteur Ordinal*	(Compteur Ordinal) + 1
NOP *No OPeration*	la donnée passe de l'entrée A à la sortie sans opération

ADD *Addition*, **SUB** *Soustraction*, **ET**, **OU** logique, etc

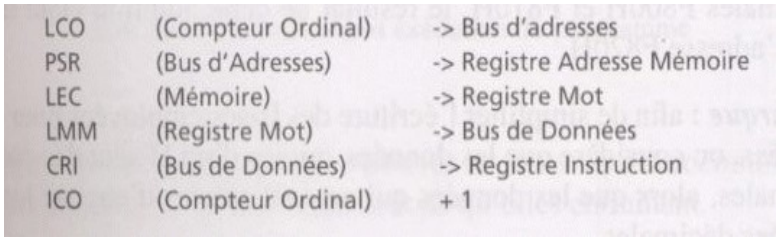
Liste des mnémoniques

a) Recherche de l'instruction

Le programme à exécuter (module exécutable ou *Bound Unit*) est chargé en mémoire centrale où il occupe un certain nombre de cellules mémoire, chaque cellule mémoire ayant donc une adresse bien précise.

Le compteur ordinal est chargé, lors du lancement du programme, avec l'adresse de la première instruction à exécuter. Ce chargement est effectué par un programme chargé de « piloter » l'ensemble du système et qui porte le nom de système d'exploitation.

Le séquenceur, dans la phase de recherche de l'instruction (phase dite de fetch) à exécuter, va alors générer les microcommandes destinées à placer l'instruction dans le registre instruction.



C'est-à-dire qu'il va provoquer (LCO) le transfert du contenu du compteur ordinal, qui, rappelons-le, est à ce moment chargé avec l'adresse de la première instruction à exécuter, sur le bus d'adresses (attention, transférer ne veut pas dire pour autant que le compteur ordinal est maintenant vide ! en fait on devrait plutôt dire « recopier »). L'adresse de cette première instruction est alors transmise (PSR) au registre adresse mémoire, registre jouant en quelque sorte un rôle d'aiguilleur (décodeur) et indiquant quelle case de la mémoire on doit aller « lire ».

La microcommande suivante (LEC) autorise la recopie de l'information – ici une instruction, contenue dans la case mémoire repérée par le registre adresse mémoire, dans un registre temporaire, le registre mot – et n'a en fait qu'un rôle de temporisation (on dit aussi que ce registre est un tampon ou *buffer*).

Le contenu du registre mot – qui correspond donc à notre première instruction – est ensuite transféré (LMM) sur le bus de données où se trouve alors notre instruction.

Une microcommande issue du séquenceur (CRI) va maintenant provoquer l'incrémentation (augmentation) du compteur ordinal qui va maintenant pointer sur l'adresse de l'instruction suivante du programme (dans la réalité, ainsi que nous le verrons par la suite, l'incrémentation n'est généralement pas de 1 mais le compréhension du fonctionnement en est pour l'instant facilitée).

Cet ensemble de microcommandes, générant la phase de recherche (phase de fetch) de l'instruction, est à peu près toujours le même et sera donc automatiquement répété dès que le traitement de l'instruction aura donné lieu à l'envoi de la dernière microcommande nécessaire.

b) Traitement de l'instruction

L'instruction, une fois chargée dans le registre instruction, va être soumise au décodeur qui, associé au séquenceur va devoir analyser la zone opération et générer, en fonction du code opération, la série de microcommandes appropriées. Pour suivre plus aisément le déroulement d'un tel processus, nous allons prendre un exemple très simple de programme écrit dans un pseudo-langage d'assemblage (inspiré d'un langage d'assemblage existant mais légèrement adapté pour en faciliter la compréhension).

Supposons que notre programme ait à faire l'addition de deux nombres tels que 8H et 4H, nombres stockés en mémoire aux adresses représentées par les valeurs hexadécimales F800H et F810H, le résultat de cette addition étant quand à lui à ranger à l'adresse F820H.

***Remarque* : afin de simplifier l'écriture des bases employées pour les données utilisées, on considère que les données suivies d'un H sont des données hexadécimales, alors que les données qui ne sont suivies d'aucune lettre sont des données décimales.**

Pour réaliser ce programme trois opérations vont être nécessaires :

1. **Charger la première donnée (8H) située en mémoire à l'adresse F800H dans le registre accumulateur (A),**

2. **Faire l'addition du contenu de A (8H) avec la deuxième donnée (4H) située en mémoire à l'adresse F810H, le résultat de cette addition étant remis dans A,**

3. **Ranger ce résultat (CH) en mémoire à l'adresse F820H.**

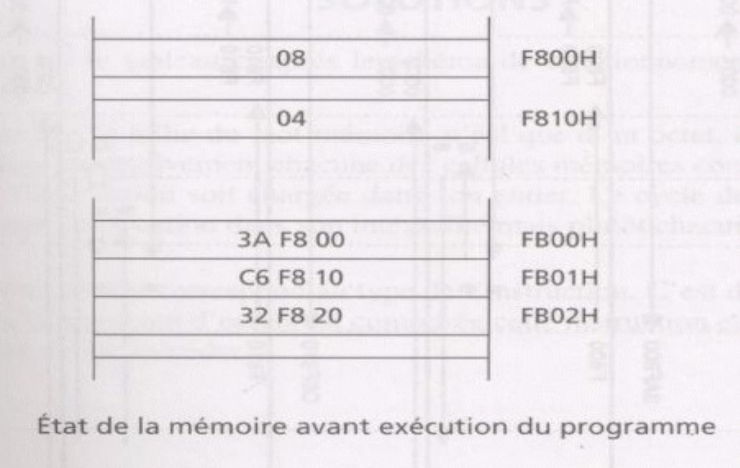
Le programme en langage d'assemblage réalisant une telle suite d'instructions sera :

LD A,(F800H)	Charger A avec le contenu de l'adresse F800H
ADD A,(F810H)	Ajouter le contenu de l'adresse F810H à celui de A
LD (F820H),A	Ranger à l'adresse F820H ce qui est en A

Bien sûr ces instructions ne sont pas contenues telles quelles en mémoire mais se présentent sous forme de codes machine générés par le programme assembleur, soit ici :

3A F8 00
C6 F8 10
32 F8 20

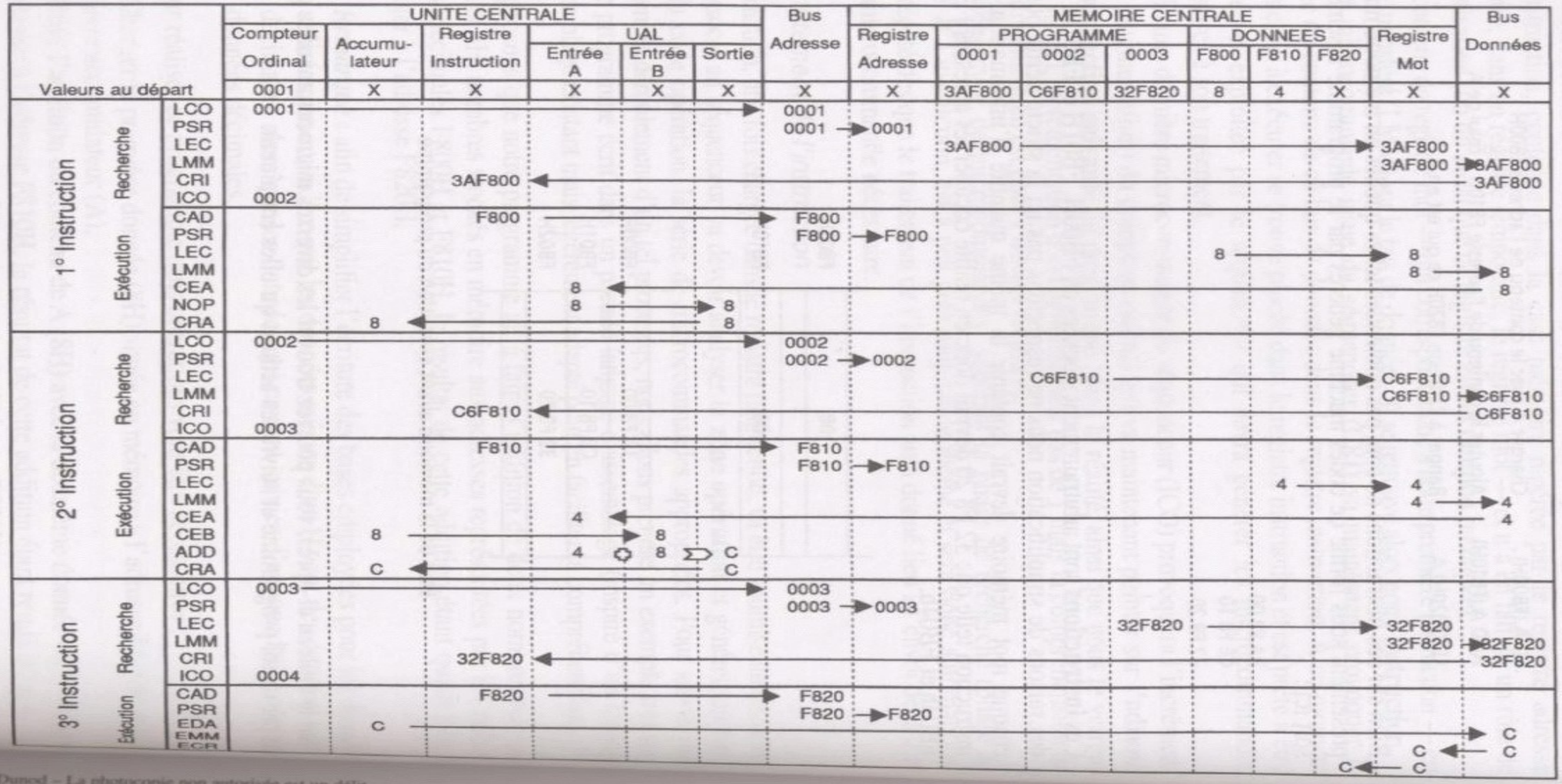
Ces instructions sont arbitrairement stockées en FB00H, FB01H et FB02H. Pour des raisons de simplification nous ne respectons pas ici la stricte vérité puisque chaque mot mémoire devrait contenir la même quantité d'information. Une instruction telle que 32 F8 20 devrait donc en réalité occuper les adresses FB02h, FB03h et FB04h.



État de la mémoire avant exécution du programme

Sur le tableau ci-après, vous pourrez trouver les diverses microcommandes générées par un tel programme et suivre les actions qu'elles entraînent.

TABLEAU DES COMMANDES GÉNÉRÉES



© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

Chapitre 9

Modes d'adressage et interruptions

9.1 LES MODES D'ADRESSAGE

Nous avons vu que les instructions d'un programme et les données qu'il traitait étaient stockées, lors de l'exécution, en mémoire centrale. Instructions et données utilisent donc des zones de mémoires, que l'on traduit souvent sous le terme de segment. On peut ainsi définir un ou plusieurs segments programme et un ou plusieurs segments données. Nous avons également présenté la mémoire comme étant un ensemble de cellules permettant de ranger chacune un mot mémoire de taille déterminée (à l'heure actuelle 8 bits physiquement la plupart du temps, mais pouvant être regroupés en mots de 16 bits). De même, nous avons présenté le bus d'adresses sur lequel circulaient les adresses des instructions ou des données à trouver en mémoire.

Dans la réalité ce n'est pas tout à fait aussi simple, une instruction n'étant en général pas contenue sur un seul mot mémoire (voir l'exercice du chapitre précédent), et les adresses circulant sur le bus d'adresses n'étant pas toujours les adresses réelles (ou adresses physiques) des informations dans la mémoire. On rencontre ainsi diverses techniques permettant de retrouver l'adresse physique de l'information (instruction ou donnée) dans la mémoire, technique appelées modes d'adressage.

Ces modes d'adressage – en principe « transparents » pour le programmeur, tant qu'il ne travaille pas en langage d'assemblage – ont pour but de faciliter la recherche et l'implantation des données en mémoire centrale. On peut distinguer sept modes d'adressage fondamentaux :

- adressage immédiat,
- adressage absolu,
- adressage implicite,
- adressage relatif,
- adressage indexé,
- adressage indirect,

adressage symbolique.

Nous appuierons nos explications à l'aide d'exemples empruntés au langage d'assemblage du microprocesseur Z80. Ce microprocesseur est certes aujourd'hui dépassé mais il s'agit simplement ici de présenter un exemple concret et simple.

9.1.1 Adressage immédiat

Il ne s'agit pas d'adressage à proprement parler, dans la mesure où la partie adresse de l'instruction ne contient pas l'adresse de l'opérande mais l'opérande lui-même.

ADD A,1Bh

L'opérande est ici la valeur hexadécimale 1B (marquée h pour indiquer qu'il s'agit d'une valeur hexadécimale), qui est additionnée au contenu du registre accumulateur (code machine généré C6 1B).

9.1.2 Adressage absolu

L'adressage est dit absolu, quand le code opération est suivi de l'adresse réelle physique (ou adresse absolue) de l'opérande sur lequel travaille l'instruction.

LD (F805h), A

Cette instruction range à l'adresse absolue (réelle) F805, le contenu du registre accumulateur (code machine généré 32 05 F8).

9.1.3 Adressage implicite

On dit qu'un mode d'adressage est implicite, quand l'instruction concernée ne contient pas explicitement l'adresse de l'opérande sur lequel elle travaille. A la place, la zone opérande désigne un registre – souvent le registre accumulateur. Le nombre des registres disponibles sur un microprocesseur étant généralement relativement faible, il suffira d'un petit nombre de bits pour le désigner. Ainsi, de telles instructions pourront être codées sur 8 bits ce qui constitue un avantage, une instruction 8 bits étant généralement plus rapidement traitée qu'une instruction de taille supérieure.

LD A, C

Cette instruction transfère le contenu du registre C dans le registre accumulateur (code machine généré 79).
Les instructions travaillant uniquement sur des registres utilisent l'adressage implicite.

9.1.4 Adressage relatif

Un adressage relatif n'indique pas directement l'emplacement de l'information en mémoire, mais « situe » cette information par rapport à une adresse de référence en indiquant un déplacement (offset). L'adresse de référence est normalement celle contenue par le registre PC (compteur ordinal). L'avantage principal de ce mode d'adressage est qu'il permet des branchements efficaces, en utilisant des instructions qui tiennent sur deux mots seulement (un mot pour le code opération et un mot pour la référence à l'adresse) ; en fait la zone opérande ne contient pas une adresse mais un déplacement relatif à l'adresse de référence.

Ainsi, une instruction avec adressage relatif va permettre un adressage en avant ou en arrière dans le mémoire, par rapport au contenu du compteur ordinal. Compte tenu de la taille accordée au déplacement, celui-ci ne pourra concerner qu'un partie limitée de la mémoire. Ainsi, avec un déplacement codé sur 8 bits, on pourra adresser une zone de 255 adresses mémoire situées de part et d'autre du contenu courant du compteur ordinal.

JR NC, 025h

Cette instruction provoque un « saut en avant » -- en fait le déplacement du « pointeur d'instructions » -- de 37_{10} emplacements mémoire si la condition *No Carry* (pas de retenue) est réalisée (code machine généré 30 25).

On peut noter deux avantages à ce type d'adressage :

- amélioration des performances du programme (moins d'octets utilisés),

- possibilité d'implanter le programme n'importe où en mémoire puisque l'on ne considère que des déplacements par rapport au contenu courant du registre PC et non pas des adresses absolues (ce type de programme est alors dit relogeable).

9.1.5 Adressage indexé

Dans l'adressage indexé, la valeur spécifiée dans la zone adresse de l'instruction est encore un déplacement mais cette fois-ci, non pas par rapport au compteur ordinal, mais par rapport au contenu d'un registre spécialisé, le registre d'index.

ADD A, (IX + 4h)

Cette instruction ajoute au contenu de l'accumulateur, la donnée se trouvant à l'adresse fournie par le registre IX, augmentée d'un déplacement de 4 octets. Ainsi, si le registre d'index contient la valeur F800, on prendra la donnée se trouvant à l'adresse absolue F800 + 4 soit F804 (code généré DD 86 04).

9.1.6 Adressage indirect

Un adressage est dit indirect s'il permet d'accéder, non pas à l'information recherchée, mais à un mot mémoire dans lequel on trouvera l'adresse effective de l'information. Un tel type d'adressage est assez utile dans la mesure où le code généré tient, en règle générale, sur un seul octet.

ADD A, (HL)

Cette instruction ajoute au contenu de l'accumulateur la donnée se trouvant à l'adresse citée dans le registre HL. Ainsi, si le registre HL contient la valeur F800 on ajoutera au contenu du registre A la donnée contenue à l'adresse F800 (code machine généré 86).

On peut remarquer que l'adressage indexé précédent semble jouer le même rôle si on lui adjoint un déplacement nul : ADD A, (IX + 0) ; il convient cependant de bien observer le nombre d'octets généré dans ce cas et dans celui où on utilise HL (DD 86 00 dans le premier cas et 86 dans le second).

9.1.7 Adressage symbolique

Ce mode d'adressage permet au programmeur d'affecter à chaque zone un nom symbolique de son choix. Ces noms (étiquettes ou labels), répondant à certaines règles définies par le constructeur (par exemple un longueur maximale de 6 caractères), sont associés lors de la phase d'assemblage (lors du passage du code mnémonique au code machine) à des adresses absolues de la mémoire.

JP NC, ETIQ1

ETIQ1 est un nom symbolique, se situant à un endroit précis du programme, auquel aura été associée, lors de la

compilation ou de l'assemblage, une adresse absolue. Le branchement (ici conditionnel à un *No Carry*) s'effectuera donc à l'adresse absolue associée à cette étiquette. La machine devra donc disposer d'une table des étiquettes associées à ce programme.

9.1.8 Adressage du 8086

Le 8086 est un processeur de la famille Intel, précurseur des 80486 et Pentium. Bien qu'il ne soit pour ainsi dire plus en service, le technique mise en œuvre pour gérer l'adressage est présentée ici car elle est relativement simple et utilise les notions de segments, déplacements, … que l'on retrouve parfois sur certaines de ses successeurs.

Les registres du 8086 peuvent être répartis en trois groupes (en dehors des registres spécialisés tels que le compteur ordinal ou le registre d'état) :

- les registres généraux,
- les registres d'index utilisés pour le transfert des données, pour accéder à plusieurs parties de la mémoire
- les registres spécialisés dans l'adressage.

Le microprocesseur 8086 dispose physiquement de 20 broches d'adresses ce qui lui autorise l'adressage de 1 Mo de données. Son bus de données présentant quand à lui une largeur de 16 bit, lui autorise la lecture ou l'écriture, en une seule opération, d'un mot mémoire de 8 ou 16 bits. La mémoire centrale associée au 8086 est, de plus, considérée par le microprocesseur comme un ensemble de paragraphes de 16 octets et non pas comme une succession « linéaire » d'octets.

Cette division de l'espace adressable par paquets de 16 permet ainsi de supprimer 4 des 20 bits d'adresse et de faire tenir dans un seul registre de 16 bits, l'adresse d'un paragraphe quelconque de la mémoire ; les 4 bits de poids faible de l'adresse réelle étant alors mis à 0. Afin de gérer les adresses de ces paragraphes, on utilise des registres dédiés (ou spécialisés), les registres d'adressage.

Chaque fois qu'une instruction fait référence à un registre d'adressage, un déplacement (ou *offset*), codé sur 8 ou 16 bits, est ajouté à l'adresse absolue du paragraphe pour déterminer l'adresse absolue de l'information.

Ainsi un espace de 64 Ko est-il accessible à partir de l'adresse de base du paragraphe ; cet espace de 64 Ko est appelé segment et le registre d'adressage, indiquant à quelle adresse absolue commence ce segment, est appelé registre de segment. Les quatre registres de segment ont chacun un rôle déterminé.

- Le premier registre – CS (*Code Segment*) ou segment de code, a pour but d'adresser un segment de programme écrit sous la forme de code.

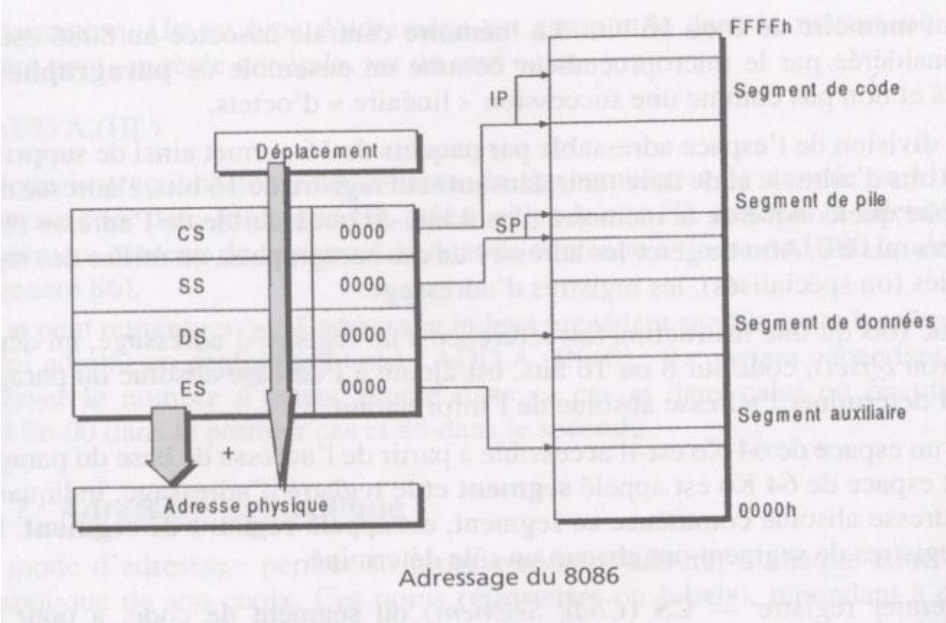
- Le second registre – SS (*Stack Segment*) ou segment de pile, délimite l'espace réservé à la pile (*Stack*), utilisée pour stocker les adresses de retour au programme principal lors des appels de sous-programme.

- Les deux autres registres – DS et ES (*Data Segment* et *Extra Segment*) ou segment de données et segment auxiliaire, permettent de faire référence à deux segments réservés aux variables et données du programme.

Cette spécialisation des registres n'empêche cependant pas les programmeurs de faire pointer, s'il le désire, deux registres de segment sur le même paragraphe mémoire. Ainsi 256 Ko d'espace mémoire sont directement adressables à un même instant par le programme, à condition toutefois que les segments ne se chevauchent pas.

Pour obtenir une adresse absolue de la mémoire, le registre de segment concerné ne suffit cependant pas, son rôle étant simplement lié à une utilisation rationnelle de l'espace mémoire. En effet, le registre de segment ne pointe que sur la première des adresses absolues du segment concerné. Il est donc nécessaire d'adjoindre un déplacement, à la valeur contenue par le registre de segment pour obtenir l'adresse absolue recherchée.

Le déplacement (ou *offset*) peut être explicitement donné dans l'instruction sous la forme d'une valeur immédiate de 8 ou 16 bits, ou spécifié par rapport à une valeur d'adresse contenue dans un registre quelconque, auquel cas l'adresse absolue est obtenue en faisant la somme de la valeur contenue dans le registre de segment (multipliée par 16 c'est-à-dire « prolongée » de quatre bits à 0), de la valeur contenue dans le registre désigné, et du déplacement spécifié dans l'instruction (On peut également faire intervenir trois registres et une valeur de déplacement.).



Adressage du 8086

9.2 INTERRUPTIONS

9.2.1 Généralités

Une interruption permet d'arrêter un programme, en cours d'exécution sur le processeur, pour que celui-ci traite une tâche considérée comme plus urgente. Quand cette tâche est terminée, le processus interrompu doit alors être repris en l'état où il avait été laissé.

Les interruptions permettent donc à des événements, en général externes au microprocesseur (coupures d'alimentation, alarmes, périphériques prêts à émettre ou à recevoir des données, …), d'attirer immédiatement l'attention de l'unité centrale.

Dans la mesure ou elle est acceptée par le processeur, l'interruption permet ainsi au circuit périphérique ou au logiciel de suspendre le fonctionnement de ce microprocesseur d'une manière rationnelle et de lui demander l'exécution d'un sous-programme de service, dit également sous-programme d'interruption.

9.2.2 Types d'interruptions

Une interruption peut être provoquée de diverses manières :

- par un périphériques, l'interruption est alors dite externe et matérielles,
- par un programme, l'interruption est alors externe et logicielle,
- par le processeur lui-même lors de certains évènements exceptionnels, l'interruption est alors dite interne et appelée exception.

Ces évènements exceptionnels sont désignés par le terme anglais de *traps* ou exceptions en français. Les exceptions les plus courantes sont la division par zéro, le dépassement de capacité, un accès anormal à une zone mémoire, … Certaines interruptions peuvent être plus importantes que d'autres et se doivent donc d'être prioritaires, il existe ainsi une certaine hiérarchisation des interruptions.

Les processeurs disposent d'instructions autorisant ou interdisant les interruptions dans certains cas, c'est ainsi que, si le programme ne doit absolument pas être interrompu (processus système prioritaire en cours de traitement par exemple), on interdira aux interruptions qui pourraient se produire de venir en perturber le déroulement. Cependant, certaines interruptions ne sauraient être interdites, soit du fait de leur nécessité, soit du fait de leur niveau de priorité. L'exemple le plus flagrant est l'interruption pour coupure de courant ! Ces interruptions sont dites non masquables.

Par opposition une interruption est dite masquable quand on peut demander à l'unité centrale de l'ignorer. On peut ainsi masquer, à un moment donné, certaines interruptions afin de préserver le déroulement du programme en cours de toute interruption intempestive (sauf bien évidemment des interruptions non masquables).

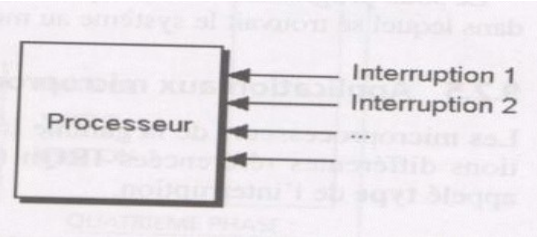
Le parallèle peut être fait avec une personne en train de travailler, qui répond, ou non, au coup de sonnette, selon l'importance de la tâche qu'elle est en train d'accomplir.

9.2.3 Reconnaissance des interruptions

Il existe divers moyens physiques pour déterminer la source d'une interruption – aussi notée IRQ (*Interruption ReQuest*) – et donc y répondre de manière appropriée.

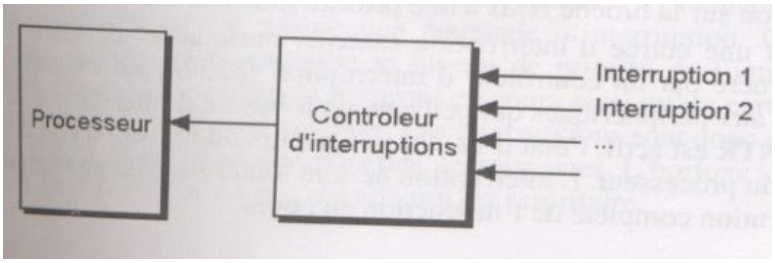
a) Interruption multi niveau

Chaque équipement susceptible d'émettre une interruption est relié à une entrée d'interruption particulière. Cette solution, techniquement la plus simple, est cependant coûteuse en broches d'entrées du processeur et de ce fait peu utilisée.



b) Interruption ligne unique

Dans cette technique, une seule entrée est réservée au niveau de l'unité centrale, lui indiquant si une interruption est demandée. Si plusieurs équipements sont reliés à cette ligne, quand l'UC reçoit la demande d'interruption, elle doit alors scruter tous les équipements pour en déterminer l'émetteur ; cette technique est appelée scrutation.



c) Interruption vectorisée

Ce type d'interruption ne consiste pas seulement en un signal de demande, mais comporte également un identificateur qui permet de se brancher directement sur le sous-programme de service approprié. Cet identificateur est un « numéro », ou vecteur, identifiant le périphérique à l'origine de la demande d'interruption. Ce vecteur déposé sur le bus de données peut être fourni par un contrôleur d'interruptions, ou par le périphérique lui-même, mais il est alors nécessaire de gérer une hiérarchisation des priorités afin de ne pas déposer simultanément deux vecteurs sur le bus de données.

9.2.4 Traitement des interruptions

Le traitement d'une interruption se déroule généralement de la manière suivante :

- réception par l'unité centrale d'une demande d'interruption interne ou externe,
-acceptation (ou rejet) de cette demande par l'unité centrale,
- fin du traitement de l'instruction en cours,
-sauvegarde de l'état du système, c'est-à-dire du contenu des divers registres (compteur ordinal, registre d'état, …), de manière à pouvoir reprendre l'exécution du programme interrompu en l'état où il se trouvait au moment de l'interruption.

Le sous-programme d'interruption une fois terminé provoque la restauration de l'état dans le quel se trouvait le système au moment de la prise en compte de l'interruption.

9.2.5 Application aux microprocesseurs Intel i86

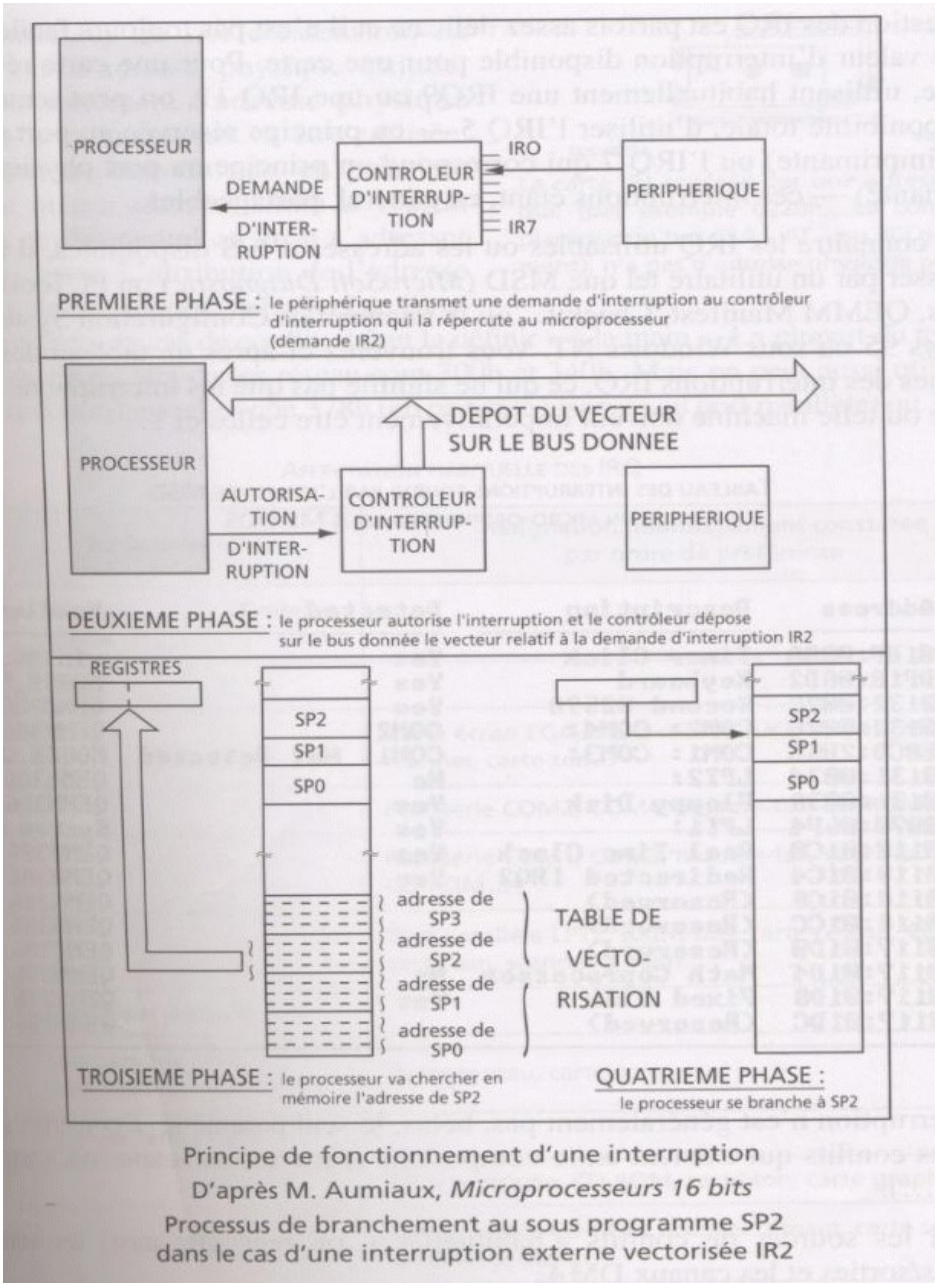
Les microprocesseurs de la gamme Intel i86 peuvent recevoir jusqu'à 256 interruptions différentes référencées IRQn (par exemple IRQ1), repérées par un vecteur appelé type de l'interruption.

a) Les interruptions externes matérielles

Le microprocesseur possède deux broches susceptibles de recevoir les interruptions externes matérielles NMI et INTR.

- NMI est une broche destinée aux interruptions externes non masquables, utilisable pour faire face à un évènement « catastrophique » (défaillance d'alimentation, … sortir le microprocesseur de l'exécution d'une boucle infinie …). Une interruption sur la broche NMI a une priorité plus haute que sur INTR.

- INTR est une entrée d'interruption externe, masquable, destinée à recevoir le signal généré par un contrôleur d'interruption (8259A par exemple), lui-même connecté aux périphériques qui peuvent avoir besoin d'interrompre le processeur. Quand INTR est actif, l'état d'un des indicateurs du registre d'état conditionne la réponse du processeur. L'interruption ne sera toutefois prise en compte qu'à la fin de l'exécution complète de l'instruction en cours.



Principe de fonctionnement d'une interruption
D'après M. Aumiaux, *Microprocesseurs 16 bits*
Processus de branchement au sous programme SP2
dans le cas d'une interruption externe vectorisée IR2

Si un périphérique (carte réseau, carte graphique, clavier, …) souhaite communiquer avec le processeur, il lui envoie une demande d'interruption. Quand cette demande arrive, le processeur examine le niveau de priorité de l'interruption et éventuellement termine et sauvegarde le travail en cours ainsi qu'un certain nombre d'informations relatives à l'état du système. Les interruptions sont donc repérées par un numéro de 0 à 15 dans l'ordre des priorités décroissantes. L'horloge système dispose ainsi de l'IRQ de valeur 0 car c'est elle qui est prioritaire.

La gestion des IRQ est parfois assez délicate et il n'est pas toujours facile de trouver une valeur d'interruption disponible pour une carte. Pour une carte réseau, par exemple, utilisant habituellement une IRQ 9 ou une IRQ 11, on peut tenter en cas d'indisponibilité totale, d'utiliser l'IRQ 5 – en principe réservée au port physique LPT2 (imprimante) ou l'IRQ 7 qui correspond en principe au port physique LPT1 (imprimante) – ces interruptions étant, en général, partageables.

Pour connaître les IRQ utilisables ou les adresses d'E/S disponibles, il faut souvent passer par un utilitaire tel que MSD (*MicroSoft Diagnostic*), msinfo32.exe ou PCTools, Norton Utilities, QEMM Manifest, Checkit … ou le Panneau de Configuration Système sous Windows 95 ou sous NT.

Vous trouverez ci-après un tableau des valeurs classiques des interruptions IRQ, ce qui ne signifie pas que les interruptions utilisées sur telles ou telle machine doivent impérativement être celles-ci !

TABLEAU DES INTERRUPTIONS FOURNI PAR L'UTILITAIRE MSD POUR UN MICRO-ORDINATEUR SOUS MS-DOS

IRQ	Address	Description	Detected	Handled By
0	01EF:0000	Timer Click	Yes	win386.exe
1	DF1B:08D2	Keyboard	Yes	MOUSE.COM
2	0132:0028	Second 8259A	Yes	QEMM386
3	0132:002C	COM2: COM4:	COM2:	QEMM386
4	E0CD:2B5C	COM1: COM3:	COM1: Not Detected	MOUSE.COM
5	0131:0034	LPT2:	No	QEMM386
6	0131:0038	Floppy Disk	Yes	QEMM386
7	0070:06F4	LPT1:	Yes	System Area
8	0118:01C0	Real-Time Clock	Yes	QEMM386
9	0118:01C4	Redirected IRQ2	Yes	QEMM386
10	0118:01C8	(Reserved)		QEMM386
11	0118:01CC	(Reserved)		QEMM386
12	0117:01D0	(Reserved)		QEMM386
13	0117:01D4	Math Coprocessor	No	QEMM386
14	0117:01D8	Fixed Disk	Yes	QEMM386
15	0117:01DC	(Reserved)		

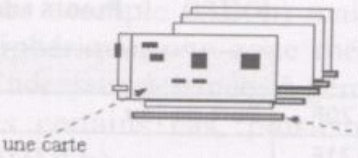
L'interruption n'est généralement pas, hélas, le seul paramètre à considérer pour régler les conflits qui existent entre composants (carte réseau, carte son, carte graphique, …).

Parmi les sources de conflits « habituelles », on rencontre aussi les adresses d'entrée/sorties et les canaux DMA.

> Adresse du port d'Entrée Sortie (E/S) ou également appelé port I/O (Input Output)

Dans un micro-ordinateur, pour situer physiquement une carte (réseau, son, carte graphique, …) enfichée sur un connecteur (ou *slot*) de la carte mère, on utilise une adresse de base d'Entrée/Sortie, qui s'exprime en hexadécimal et permet d'envoyer des informations vers la carte – ou de lire des informations en provenance de cette carte.

Le connecteur (le *slot* d'extension) ne possède pas d'adresse physique attitrée, c'est donc seulement l'adresse physique attribuée à la carte qui va être utilisée. Deux cartes ne doivent pas, en principe, utiliser la même adresse, sinon il y a un risque de conflit quand on croit s'adresser l'une des cartes. L'attribution de l'adresse peut être faite automatiquement lors de l'installation ou bien, en cas de conflit, il faut la définir « à la main ». la plupart du temps les adresses destinées aux cartes réseau sont 300h et 340h. Mais on peut aussi utiliser des adresses non standard telles que 378h (en principe réservée au port parallèle) ou 3BCh …



La carte est repérée par une adresse physique (par exemple 0220h). Le connecteur, placé sur un bus (ISA – AT – ou PCI généralement), n'a pas d'adresse physique propre.

AFFECTATION HABITUELLE DES IRQ

	Assignation fixe	Assignation habituellement constatée par ordre de préférence
IRQ 0	Horloge système *(Timer)*	
IRQ 1	Clavier	
IRQ 2		Carte écran EGA, VGA, contrôleur d'interruptions, scanner, carte son…
IRQ 3		Port série COM2, COM4, modem-fax, CD-ROM…
IRQ 4		Port série COM1, COM3, modem-fax, souris-bus, CD-ROM…
IRQ 5		Port parallèle LPT2, souris-bus, carte réseau, CD-ROM, carte son, scanner à main…
IRQ 6	Contrôleur disquette	
IRQ 7	Port parallèle LPT1 mais « partageable »	Carte réseau, carte son…
IRQ 8	Horloge temps réel	
IRQ 9		IRQ2 redirigée, CD-ROM, carte son, carte graphique
IRQ 10		Carte réseau, CD-ROM, scanner à main, carte son, contrôleur SCSI…
IRQ 11		Carte réseau, CD-ROM, scanner à main, carte son, contrôleur SCSI…
IRQ 12		Carte réseau, CD-ROM, port souris…
IRQ 13	Coprocesseur	
IRQ 14	1° Contrôleur disque dur	
IRQ 15		Carte réseau, CD-ROM , 2° contrôleur disque dur…

PLAGES MÉMOIRES RÉSERVÉES AUX PILOTES

		Usage habituellement constaté
200	20F	Port de jeu
210	21F	
220	22F	Carte son
230	23F	Souris-bus, carte son…
240	24F	Carte son
250	25F	Carte son
260	26F	Carte son
270	27F	Modem-fax, carte son, scanner à main…
280	28F	Modem-fax, carte son…
290	29F	Carte son
2A0	2AF	
2B0	2BF	
2C0	2CF	
2D0	2DF	
2E0	2EF	Modem-fax, carte réseau, carte graphique, scanner à main…
2F0	2FF	Modem-fax
300	30F	Carte réseau, CD-ROM, carte capture vidéo, interface MIDI…
310	31F	CD-ROM, carte capture vidéo…
320	32F	Carte réseau, CD-ROM, carte capture vidéo…
330	33F	CD-ROM, carte capture vidéo, interface MIDI…
340	34F	Carte réseau, CD-ROM, carte capture vidéo…
350	35F	CD-ROM, carte capture vidéo…
360	36F	Carte réseau, CD-ROM, carte capture vidéo…
370	37F	Modem-fax, contrôleur disque-dur, CD-ROM, scanner à main…
380	38F	Modem-fax, CD-ROM, carte capture vidéo…
390	39F	CD-ROM, carte capture vidéo…
3A0	3AF	CD-ROM, carte capture vidéo…
3B0	3BF	CD-ROM, carte capture vidéo…
3C0	3CF	CD-ROM, carte capture vidéo…
3D0	3DF	CD-ROM, carte capture vidéo…
3E0	3EF	Modem-fax, CD-ROM, scanner à main, carte capture vidéo…
3F0	3FF	Modem-fax, CD-ROM, carte capture vidéo…
530	53F	Carte son
600	60F	Carte son
E80	E8F	Carte son
F40	F4F	Carte son

On trouve souvent la seule adresse de base (par exemple 03B0h) mais dans la réalité on utilise pour communiquer avec le périphérique, une zone mémoire de quelques dizaines d'octets et donc une « plage » d'adresses destinées à gérer la carte (par exemple 03Bh-03BBh) voire même, dans certains cas, plusieurs plages d'adresses (par exemple 03B0h-03BBh et 03COh-03DFh).

Pour « piloter » la carte, on va utiliser des programmes écrits spécifiquement pour cette carte. Ces programmes portent le nom de pilotes ou *drivers*. Ces programmes sont souvent suffixés .drv (comme *driver*), .vxd ou encore .dll. Par exemple cirrusmm.drv, cirrus.vxd, cmmdd16.dll et cmmdd32.dll sont des drivers utilisés pour la gestion de la carte graphique CIRRUS 5430 PCI.

Ces pilotes utilisent également des plages mémoires ainsi que l'indique le tableau précédent. Ici également les adresses utilisées peuvent varier d'un système à un autre.

> Canaux DMA

Les canaux DMA (*Direct Memory Access*), en général au nombre 8 (numérotés 0 à 7 ou 1 à 8 … ce qui ne facilite pas les choses !), sont gérés par un contrôleur intégré à la carte mère (le *chipset*).

Ils permettent aux cartes contrôleur de communiquer directement avec la mémoire, sans monopoliser le processeur, ce qui améliore les performances. Vous trouverez ci-après un tableau des valeurs classiques des canaux DMA, ce qui ne signifie pas, ici encore, que les canaux utilisés sur telle ou telle machine doivent impérativement être ceux-ci !

LES CANAUX DMA

	État	Usage habituellement constaté
Canal 0	Libre	Carte réseau, carte graphique, scanner à main...
Canal 1	Libre	Cartes son – son 8 bits
Canal 2	Réservé	Lecteur de disquettes
Canal 3	Libre	Port imprimante
Canal 4	Libre	Contrôleur mémoire, scanner à main...
Canal 5	Libre	CD-ROM, scanner à main, Cartes son – son 16 bits...
Canal 6	Libre	CD-ROM, carte son...
Canal 7	Libre	CD-ROM, carte son...
Canal 8	Libre	

b) Exemple du déroulement du traitement d'une interruption sur un PC

a) **on reçoit un vecteur d'interruption (le type de l'interruption) dont la valeur est par exemple 14h,**

b) **on multiplie cette valeur par 4 pour obtenir l'adresse mémoire où trouver le sous-programme d'interruptions (*Interrupt Service Routine – ISR*) dans la table des vecteurs d'interruption (14h * 4 = 50h),**

c) à partir de cette adresse 50h on peut lire l'adresse ISR dans la table des vecteurs d'interruption (ici 2000:3456), le sous-programme d'interruption recherché se trouve donc ici à l'adresse mémoire 23456h,

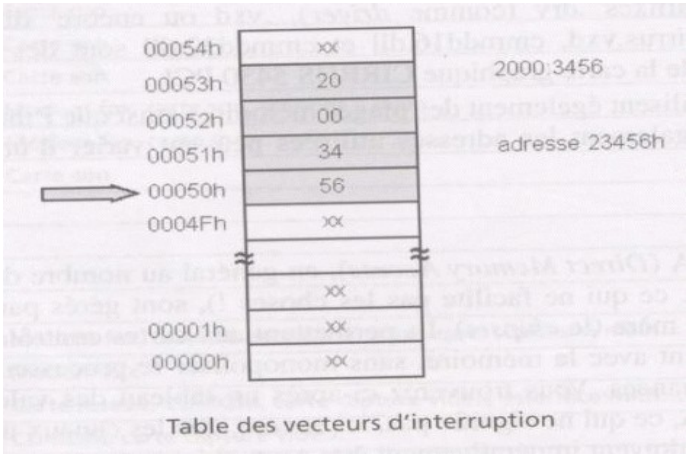
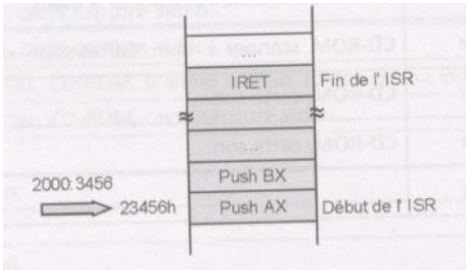


Table des vecteurs d'interruption

d) **on range le contenu du registre d'état, du segment de code (*Code Segment*) et du pointeur d'instructions (*Instruction Pointer*) au sommet de la pile,**

e) **on initialise ensuite le drapeau d'autorisation d'interruption (*Interrupt Flag*) et on charge le compteur ordinal avec l'adresse du sous-programme d'interruption trouvée précédemment,**

f) **on recherche le sous-programme d'interruption (*Interrupt Service Routine*) correspondant à la demande, et on l'exécute. Ce sous-programme d'interruption se termine par l'instruction IRET (*Interrupt Return*).**



g) l'instruction IRET provoque la restauration du pointeur d'instructions, du segment de code et du registre d'état depuis la pile où ils avaient été rangés. On peut donc continuer maintenant l'exécution du programme en cours.

c) Les interruptions logicielles

Une interruption logicielle est provoquée par l'instruction INT. Le type de l'interruption est alors placé dans la zone opérande de l'instruction et indique ainsi au processeur la procédure à exécuter.

Dans le sytème d'exploitation MS-DOS, les interruptions sont appelées par une instruction INT suivie d'un numéro d'interruption. Parmi celles couramment utilisées on trouve l'interruption 21.

d) Les exceptions

Il arrive que parfois le processeur ne puisse réaliser l'opération demandée, par exemple une division par 0. Dans ce cas, le processeur génère une exception qui est une interruption d'un type prédéterminé.

Le tableau ci-après vous présente quelques-unes des exceptions générées par un processeur de la gamme i86.

LES EXCEPTIONS D'UN PROCESSEUR I86

Exception	vecteur	8088/86	i286/386...
Erreur de division	00h	oui	oui
Code opération invalide	06h	oui	oui
Périphérique non disponible	07h	non	oui
Segment non présent	0Bh	non	oui
Segment de pile dépassé	0Ch	non	oui
Erreur de page	0Eh	non	non/oui
Erreur coprocesseur	10h	non	oui

Chapitre 10

Les différents bus

10.1 GENERALITES

Un bus est, d'une manière simpliste, un ensemble de « fils » chargés de relier les divers composants de l'ordinateur. Nous avons déjà vu succinctement cette notion de bus lors de l'étude de l'unité centrale de traitement où nous avons distingué les trois bus fondamentaux du processeur : bus de donnée, bus d'adresses, bus de commandes.

Cependant, les informations doivent non seulement circuler dans le microprocesseur, mais également à l'extérieur de celui-ci, de manière à communiquer avec la mémoire, les périphériques, …

On parle alors, dans le cas des micro-ordinateurs, du bus d'extension. Un bus, d'une manière globale peut donc être caractériser par :

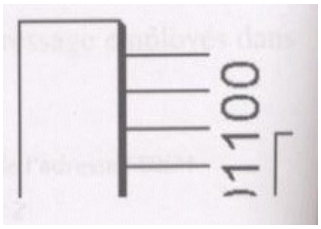
- le nombre de fils employés : 8, 16, 32 bits, … (largeur du bus),
- la nature des informations véhiculées : données, adresses, commandes,
- le mode de fonctionnement : synchrone avec le processeur ou de manière asynchrone,
- le fait qu'il soit « intelligent » (*bus master*) ou non,
- la manière dont sont transmises les informations (en parallèle ou en série).

10.1.1 Bus parallèle

La solution la plus simple que l'on puisse envisager, pour faire circuler un certain nombre de bits à la fois (8, 16, 32 ou 64 bits), consiste à utiliser autant de « fils » qu'il y a de bits.

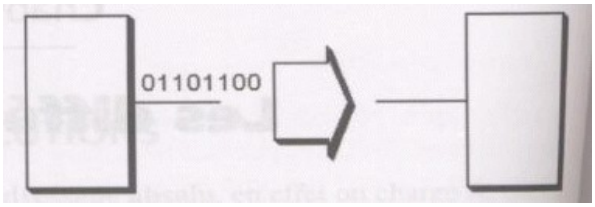
Un tel mode de transmission est dit parallèle, mais n'est utilisable que pour des transmissions à courte distance, car coûteux et peu fiable sur des distances importantes.

C'est le mode de transmission utilisé au sein de l'unité centrale entre le processeur, la mémoire, les contrôleurs…



10.1.2 Bus série

Pour les transmissions à plus grande distance, on utilisera alors une seule voie où les bits qui constituent les caractères sont transmis les uns après les autres, c'est la transmission série.



Dans une transmission série, chaque bit est envoyé à tour de rôle. Le principe de base consiste à appliquer une tension +V pendant un intervalle pour représenter un bit 1, et une tension nulle pour représenter un bit 0. Côté récepteur, on doit alors observer les valeurs de la tension aux instants convenables. Une synchronisation est nécessaire, entre émetteur et récepteur, pour que ce dernier fasse ses observations aux instants corrects.

Dans les tous premiers systèmes, les informations circulaient sur un ensemble de fils uniques mettant le processeur en relation avec la mémoire ou les entrées-sorties. Ainsi, un programme faisant de nombreux appels à la mémoire monopolisait ce bus unique au détriment des autres demandeurs. Un premier palliatif a consisté à prévoir pour le processeur des accès directs à la mémoire au travers d'un canal DMA (*Direct Memory Access*).
Cette technique est toujours en vigueur. On a ensuite réfléchi à une « séparation » des bus selon leur fonction de manière à obtenir des bus « spécialisés ». On peut ainsi distinguer entre bus processeur, bus local, bus global et bus d'entrées-sorties. Il faut cependant considérer ces terminologies comme n'étant pas restrictives :

- Le bus processeur, bus privé ou FSB (*Front Side Bus*) est le bus de données spécifiques au microprocesseur.

- Le bus local, dit aussi bus d'extension prolonge le bus privé, permettant de relier directement certains composants du système tels que la mémoire… au microprocesseur. C'est une notion assez ancienne, mais qui trouve un regain d'intérêt dans le monde des PC depuis quelques années.

- Le bus global qui correspond également à un bus d'extension, a pour rôle de relier entre elles les différentes cartes processeur dans une machine multiprocesseur. Il est maintenant souvent confondu avec le bus local.

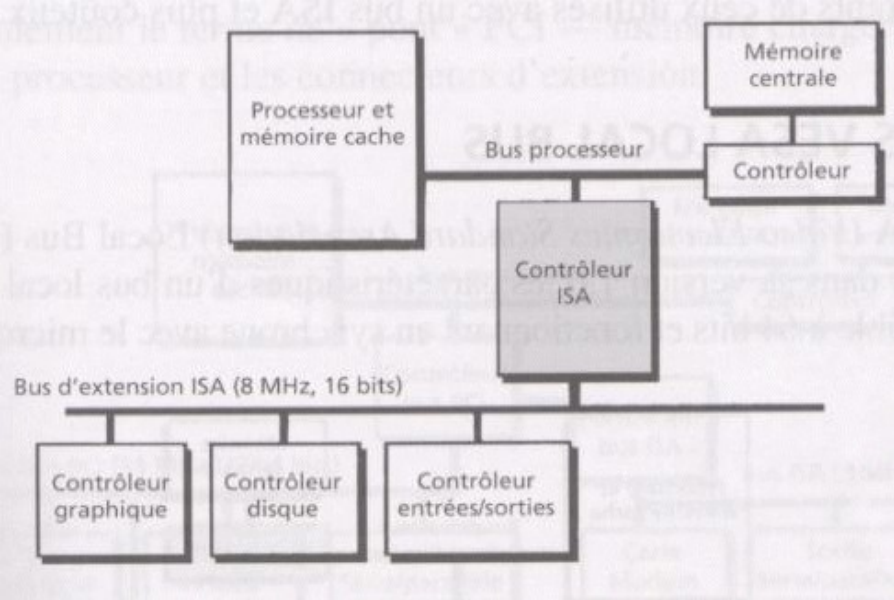
- Le bus d'entrées-sorties (E/S ou I/O « Input/Output ») sert aux communications avec des périphériques lents. Ils correspondent aux sorties séries ou parallèles et aux nouveaux bus USB.

Le bus, comme tous les autres composants a également suivi une évolution historique, passant ainsi du bus ISA PC AT aux bus EISA, MCA, VESA, PCI, USB…

Pour l'étude des différents contrôleur disques – également dit « bus » -- IDE, EIDE, ATA, Fast-ATA, Ultra-DMA ou encore SCSI reportez vous au chapitre sur les Disques durs et contrôleurs.

10.2 LE BUS ISA OU PC-AT

Le bus ISA (*Industry Standard Architecture*) est un standard de bus encore très répandu. Il est apparu en 1984 avec le micro-ordinateur IBM PC-AT d'où son surnom de bus AT ou AT-Bus. Le processeur est alors un Intel 80286 à 8 MHz, et le bus est synchronisé avec le processeur – c'est-à-dire que les informations circulent à la même vitesse sur le bus extérieur au processeur et dans le processeur.



Avec le bus ISA, les cartes d'extension doivent être configurées matériellement ce qui se fait souvent en ajustant des micro-switchs ou en plaçant des cavaliers. Ce bus, d'une largeur de 16 bits, autorise des taux de transfert de l'ordre de 8 Mo/s. Les processeurs qui ont succédés au 80286 sont des processeurs 32 bits, plus rapides, ce qui pose problème et oblige les constructeurs à concevoir un bus d'extension pouvant fonctionner à des vitesses différentes de celle du processeur. Se développent alors de manière concurrente, le bus MCA et le bus EISA. Il se visualise sous forme de connecteurs noirs sur la carte mère.

10.3 LE BUS MCA

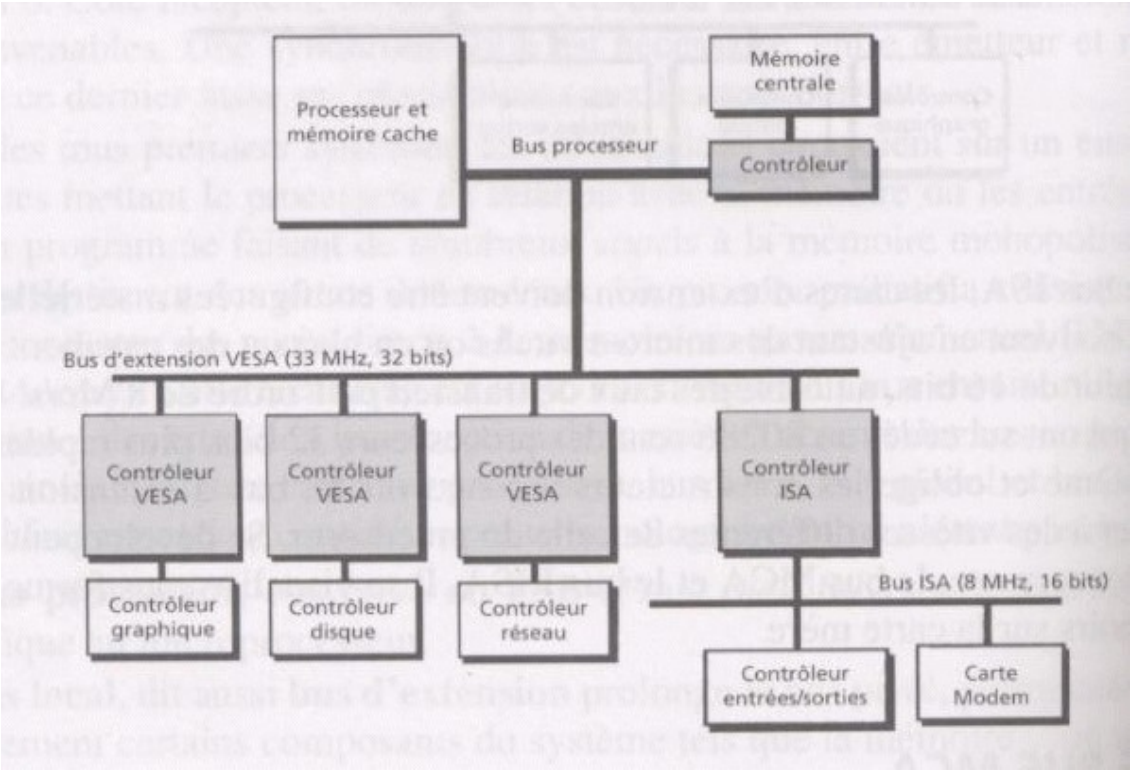
Le bus MCA (*Micro Channel Architecture*) développé en 1987 par IBM pour ses PS/2 a marqué une réelle évolution. Bus 32 bits, asynchrone, fonctionnant à 10 Mhz, dit bus « intelligent » ou *bus master*. MCA est capable d'exploiter des cartes munies de leur propre processeur et gérant leurs entrées-sorties sans que n'intervienne le processeur de la carte mère, ainsi libéré pour d'autres tâches. L'architecture MCA étant indépendante du processeur, il peut être utilisé avec des processeurs Intel sur les PS/2 ou des processeurs RISC sur les RS-6000. Il offre un taux de transfert de 20 à 50 Mo/s et supporte quinze contrôleurs « masterisés ».
Chaque carte d'extension est configurable par logiciel. Toutefois MCA ne reconnaît pas les cartes au format ISA et son architecture complexe le rend coûteux à fabriquer.

10.4 LE BUS EISA

Le bus EISA (*Extented Industry Standard Architecture*) est apparu en 1988 pour concurrencer MCA. C'est un bus 32 bits, destiné à fonctionner avec les processeurs 32 bits et prévu pour maintenir une certaine compatibilité avec le bus ISA, ce qui l'oblige à fonctionner à 8 Mhz comme le bus ISA. Son taux de transfert est de 33 Mo/s. EISA reprend certaines caractéristiques du bus MCA telles que la configuration logicielle des cartes d'extension et la notion de *bus mastering*. Les contrôleurs sont différents de ceux utilisés avec un bus ISA et plus coûteux.

10.5 LE BUS VESA LOCAL BUS

La norme VESA (*Video Electronics Standard Association*) Local Bus (VLB), apparue en 1993, définit dans sa version 1.0 les caractéristiques d'un bus local 32 bits, théoriquement extensible à 64 bits et fonctionnant en synchrone avec le microprocesseur.

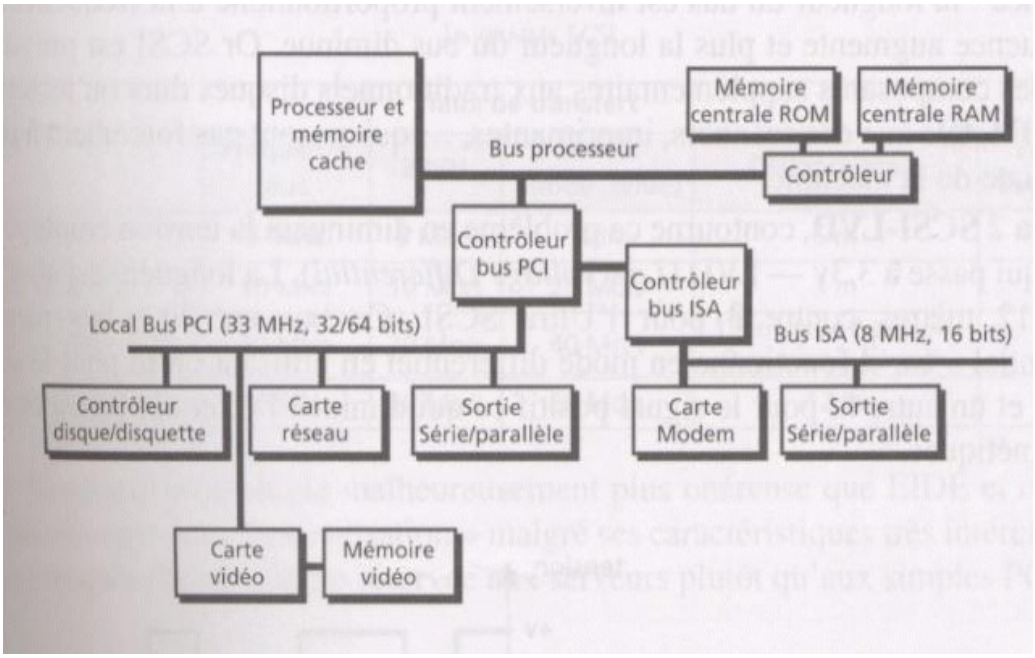


VLB autorise l'utilisation de DMA (*Direct Memory Access*) et le *bus mastering*. En fait, son architecture est simple car il s'agit ni plus ni moins d'une extension du bus du processeur. De conception peu coûteuse, il fonctionne donc en synchrone avec le processeur – ainsi un processeur à 33 MHz fonctionnera avec un bus VESA 33 MHz. Ce bus permet de piloter trois connecteurs. Le taux de transfert potentiel est alors de 130 Mo/s. Avec un bus à 40 MHz on atteindrait un taux de transfert de 148 Mo/s.

Malheureusement VLB a été conçu au départ pour des processeurs 486 et reste donc lié aux caractéristiques de ce processeur. Bien que la version VLB 2.0 offre un bus 64 bits avec un débit atteignant en principe 264 Mo/s, VESA semble être actuellement en « perte de vitesse » au détriment du bus PCI, plus performant et d'une plus grande adaptabilité aux différents processeurs.

10.6 LE BUS PCI

Le bus PCI (*Peripheral Component Interconnect*) a été développé par Intel en 1993, concurremment à la norme VESA. Il offre, dans sa version 1.0, un bus de 32 bits fonctionnant à 33 MHz ce qui permet d'atteindre un taux de transfert de 132 Mo/s comme avec un bus VESA. Le bus PCI présente toutefois le gros avantage d'être totalement indépendant du processeur, ce qui n'est pas le cas du VESA Local Bus. En effet, PCI dispose de sa propre mémoire tampon (*buffer*) – c'est pourquoi on emploie également le terme de « pont » PCI – mémoire chargée de faire le lien entre le bus du processeur et les connecteurs d'extension.



PCI est une architecture de bus qui peut être combinée avec ISA ou EISA. Il offre de plus l'avantage d'être auto configurable, les cartes connectées étant automatiquement détectées et exploitées au mieux. C'est le *Plug and Play* qui évite d'avoir à déplacer des cavaliers sur la cartes ou encore d'avoir à configurer les numéros d'interruptions IRQ ou les canaux DMA utilisés par la carte. Dans sa spécification 2.0, PCI présente de nouveaux connecteurs courts et surtout autorise l'accès 64 bits nécessaire à l'exploitation des Pentium.

CARACTÉRISTIQUES DES BUS

Type	Largeur	Fréquence	Nombre max. de connecteurs	Taux de transfert
ISA	16 bits	8-12.5 MHz	8	8 Mo/s
EISA	32 bits	8-12.5 MHz	18	50 Mo/s
MCA	32 bits	8-12.5 MHz	8	50 Mo/s
VESA	32 bits	33 MHz	3	132 Mo/s
PCI	32 bits	33 MHz	10	132 Mo/s

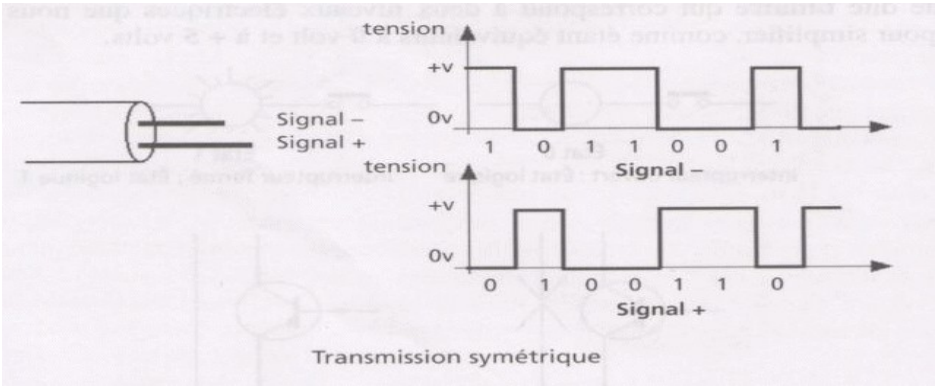
Pour avoir 132 Mo/s : dans 32 bits il y a 32 / 8 = 4 octets * 33 MHz (la fréquence) = 132 Mo/s

10.7 LE BUS SCSI

L'interface SCSI (*Small Computer System Interface*) supporte divers périphériques, et est de plus en plus adoptée par les constructeurs. Sa vitesse de transfert varie de l'ordre de 4 Mo/s à 80 Mo/s selon la largeur du bus et le standard SCSI employé (SCSI-1 à 4 Mo/s, SCSI-2, SCSI-3, Wide (Fast) SCSI à 20 Mo/s, Ultra 2 Wide SCSI à 80 Mo/s, …).

Ce débit dépend directement de la fréquence employée sur le bus : 10 MHz pour le Fast SCSI, 20 MHz pour l'ultra SCSI et 40 MHz pour l'ultra 2 SCSI. Malheureusement, un inconvénient majeur est directement lié à cette augmentation de fréquence : la longueur du bus est inversement proportionnelle à la fréquence. Plus la fréquence augmente et plus la longueur du bus diminue. Or SCSI est prévu pour relier des composants supplémentaires aux traditionnels disques durs ou lecteurs de CD-ROM, tels que des scanners, imprimantes, … qui ne sont pas forcément à porter immédiate de la machine.

Ultra 2 SCSI-LVD, contourne ce problème en diminuant la tension employée sur le bus qui passe à 3.3v – LVD (*Low Voltage Differential*). La longueur est ainsi portée à 12 mètres contre 3 pour l'Ultra SCSI. Ce bus est dit « bus parallèle différentiel » car il fonctionne en mode différentiel en utilisant un fil pour le signal négatif et un autre pour le signal positif ce qui diminue l'effet des parasites électromagnétiques.



A contrario les autres bus sont du type « bus asymétrique » (*Single Ended*). L'interface Ultra 2 SCSI peut gérer jusqu'à 31 unités physiques différentes ce qui permet de piloter disques durs ou optiques, streamer, scanner, imprimante… Couplée à une interface série SSA (*Serial Storage Architecture*) elle permet d'atteindre
un taux de transfert de 80 Mo/s et peut monter à 200 Mo/s avec une interface FC-AL (*Fiber Channel Arbitrated Loop*). C'est un contrôleur intelligent (*Bus Master*) pouvant fonctionner en autonome (transfert entre deux unités SCSI sans faire intervenir la mémoire centrale, gestion optimisée des transferts entre le périphérique et l'unité centrale limitant les états d'attente du microprocesseur, …).

L'interface SCSI utilise trois principes de fonctionnement :

- Disconnect-Reconnect : toute commande de lecture-écriture nécessitant un déplacement et donc sollicitant entre autre, la mécanique de déplacement des têtes. On peut faire se chevaucher les temps d'exécution en déconnectant temporairement l'unité qui a reçu la première commande ce qui permet au contrôleur d'exécuter une autre commande sur une seconde unité.

- Tagged Queuing : ou réagencement des commandes reçues de manière à optimiser les temps pour tous déplacements ou sollicitations de l'unité SCSI.

- Scatter Gather : ou regroupement des blocs mémoire à transférer en utilisant des pointeurs de manière à minimiser le nombre d'accès aux unités SCSI.

LA GAMME SCSI

		Taux de transfert			
	Fréquence Bus	8 bits	16 bits (mode *Wide*)	Distance max.	Périph. Supportés
SCSI 1	5 MHz	5 Mo/s	Non	6 m	7
Fast SCSI, SCSI 2	10 MHz	10 Mo/s	20 Mo/s	3 m	7
Fast 20, Ultra SCSI	20 MHz	20 Mo/s	40 Mo/s	1.5 m avec 7 périph. 3 m avec 3 périph.	7
Fast 40, Ultra 2 SCSI	40 MHz	40 Mo/s	80 Mo/s	12 m	31

SCSI est une technologie malheureusement plus onéreuse que EIDE et qui a eu du mal à trouver une « normalisation » malgré ses caractéristiques très intéressantes, c'est pourquoi elle est encore réservé aux serveurs plutôt qu'aux simples PC.

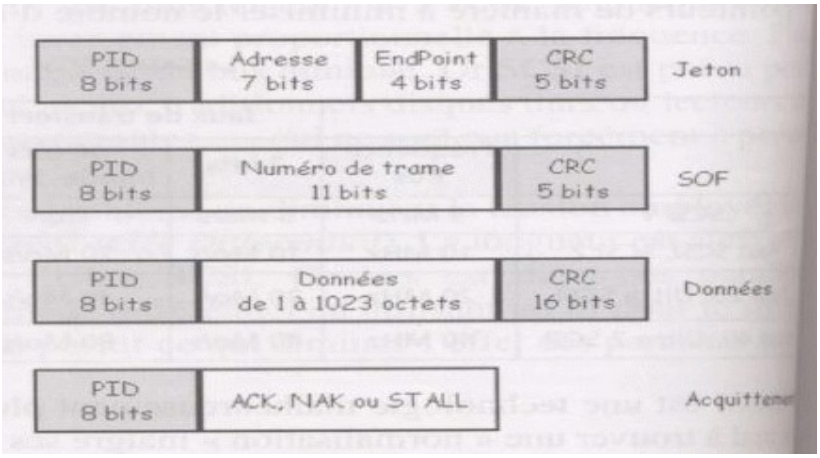
10.8 LE BUS USB

Le bus USB (*Universal Serial Bus*) est un bus série récent qui se veut le successeur des traditionnels bus séries et parallèles. Il permet d'exploiter 127 périphériques – souris, clavier, imprimante, scanner, … chaînés sur un canal. De plus, de technologie *Plug and Play*, il permet de reconnaître automatiquement le pilote nécessaire au fonctionnement de ce dernier.

Sur un tel bus, les informations codées en NRZI, peuvent circuler à un débit adapté au périphérique et variant de 1.5 à 12 MBps sur des câbles en paire torsadée n'excédant pas 5 mètres entre chaque périphérique. Le port USB se présente généralement sous la forme d'un petit connecteur rectangulaire qui comporte 4 broches.

USB utilise des principes similaires à ceux employés dans les réseaux locaux, autorisant à plusieurs périphériques un dialogue simultané sur le même bus. Par exemple impression d'un document tout en téléchargeant un fichier par le modem et en utilisant le clavier. Chaque transaction sur le bus nécessite l'envoi de un à trois paquets. Chaque paquet diffusé sur le bus peut être de données, jeton, d'acquittement ou spécial et toutes les transactions commencent par un jeton qui décrit le type et le sens de la transmission, contient des informations d'adressage de manière à repérer le périphérique de destination. Chaque jeton contient un identificateur de paquet PID (*Packet Identificator*) de 8 bits qui peut avoir l'une des significations suivantes :

- IN indiquant la lecture d'un périphérique,
-OUT indiquant l'écriture vers un périphérique,
-SOF (*Start Of Frame*) indiquant le début d'une trame USB,
SETUP indiquant qu'un paquet de commandes va suivre et ne peut être ignoré.



L'adresse est codée sur 7 bits, limitant l'emploi du bus USB à 127 périphériques. Une sous-adresse (*End point*) permet d'indiquer l'emplacement d'un sous-ensemble du périphérique. Enfin un code de contrôle CRC termine la trame.

Les trames peuvent être émises, entre l'ordinateur et le périphérique, de manière asynchrone – sans garantie du débit – ou synchrone. Il existe également des trames de transaction par interruption et des trames de contrôle gérant les transmissions.

Considérons un exemple de transaction asynchrone entre l'UC et une imprimante : la carte mère va envoyer un jeton OUT pour indiquer au périphérique une opération d'écriture. Le jeton va aussitôt être suivi d'un paquet de données DATA0. Le périphérique va répondre par un ACK si la donnée est bien reçue, par un NAK s'il ne peut recevoir de données (occupé) ou un STALL (défaut de papier, d'encre, …) nécessitant une intervention de l'utilisateur. Si le paquet contient une erreur de CRC le périphérique ne le traite pas et la carte mère va conctater au bout d'un laps de temps (*time out*) qu'elle n'a pas reçu d'acquittement. Elle recommencera la transmission.

Voici un autre exemple de transmission synchrone entre une UC et une carte son : la carte mère envoie un jeton OUT pour indiquer au périphérique une opération d'écriture. Le jeton va aussitôt être suivi d'un paquet de données DATA0 qui peut comporter jusqu'à 1023 octets. La transaction ne va pas donner lieu à acquittement mais pourra simplement être contrôlée au moyen du CRC. Ces trames sont prioritaires sur les trames asynchrones.

10.9 LE BUS IEEE 1394 – FIREWIRE OU ILINK

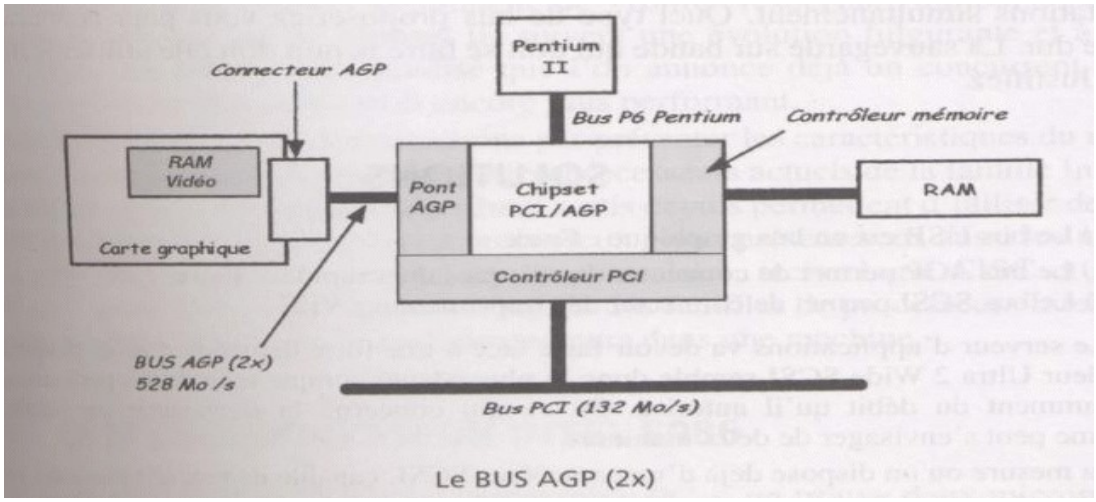
Le bus FireWire ou iLink, normalisé IEEE 1394, dit également SCSI série, est actuellement dédié aux périphériques rapides tels que des périphériques d'imagerie, PAO (Publication Assistée par Ordinateur) … En général on ne le rencontre pas sur les cartes mères mais il se présente sous la forme d'une carte d'extension.

Ce bus présente de nombreuses similitudes avec USB telles que le *Plug and Play*, l'utilisation de trames, … mais il permet d'obtenir actuellement des débits de l'ordre de 50 Mo/s soit 10 à 20 fois supérieurs à ceux de l'USB. Bâti sur le modèle OSI en 7 couches (voir le chapitre Notions de base – Téléinformatiques), il fonctionne en mode bidirectionnel simultané et transporte les données en mode différentiel – c'est-à-dire par le biais de deux signaux complémentaires sur chacun des fils d'une paire.

Il devrait être généralisé pour les disques durs aux environs de 2001 et offrir à ce moment là des débits de l'ordre de 100 à 200 Mo/s.

10.10 LE BUS GRAPHIQUE AGP

Le bus AGP (*Accelerated Graphics Port*) est un bus récent (1997) spécialisé dans l'affichage. Il relie directement – au travers du *chipset* – le processeur de la carte graphique avec le processeur de l'UC et avec la mémoire vive. Il offre un bus de 32 bits, un fonctionnement en mode pipeline ce qui autorise des lectures et écritures simultanés en mémoire, des débits atteignant 528 Mo/s (32 bits à 66 MHz) dans la version AGP 2x et la possibilité d'accéder également à la mémoire centrale en sus de la mémoire de la carte graphique. On peut ainsi manipuler des images « lourdes », affichage tridimensionnel 3D, sans saturer la mémoire de la carte graphique, puisqu'on peut placer une partie de l'image en mémoire centrale.



Le BUS AGP (2x)

La version de base AGP offre un débit de 264 Mo/s, deux fois supérieur à celui du bus PCI (132 Mo/s). AGP 2x offre donc un débit de 528 Mo/s. Il existe également l'AGP 4x — destiné à tirer au maximum des instructions des processeurs MMX. L'AGP 8x a fait son apparition récemment.

Toutefois seules les cartes graphiques équipées de processeurs réellement compatibles AGP (toutes aujourd'hui) peuvent actuellement tirer partie d'un tel bus.

10.11 FIBRE CHANNEL

Fibre Channel a été lancé en 1988 par l'ANSI (*American National Standard Institute*).

Aujourd'hui il est soutenu par la FCLC (*Fibre Channel Loop Community*) et la FCA (*Fiber Channel Association*). Cette technologie connaît en effet deux orientations d'une part en mode canal – ce qui correspond à la notion de bus – et d'autre part en mode réseau où il est chargé de gérer les boucles FDDI. L'architecture de Fibre Channel prévoit cinq couches dont trois seulement sont actuellement normalisées.

Chapitre 11

Microprocesseurs

A l'heure actuelle, le microprocesseur regroupe, sur une puce de silicium de quelques mm^2, les diverses fonctionnalités – unité de commande, unité de calcul, mémoire, … qu'offraient jadis des systèmes bien plus complexe. Leur puissance et leur densité d'intégration continuent de croître, respectant toujours, pour le moment, la fameuse loi de Moore. Ils suivent une évolution fulgurante et à peine l'un d'entre eux est-il commercialisé que l'on annonce déjà un concurrent ou un successeur encore plus puissant et encore plus performant.

Dans ce chapitre, nous commencerons par présenter les caractéristiques du microprocesseur Intel 8086, le « père » des microprocesseurs actuels de la famille Intel. Sa structure est simple et les processeurs Intel sortis depuis permettent d'utiliser des programmes conçus à l'origine pour ce processeur. Nous présenterons aussi les notions plus générales de pipeline, architecture superscalaire, technologie CISC et RISC, puis nous ferons un « tour d'horizon » rapide des familles de processeurs Intel avant de terminer par l'utilisation de multiprocesseurs dans une machine.

11.1 LE MICROPROCESSEUR INTEL 8086

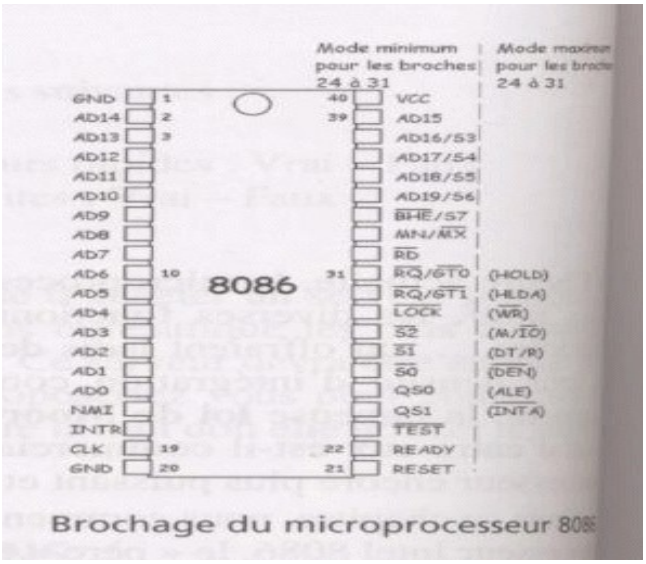
A l'origine des micro-ordinateurs « compatible PC », on trouve deux microprocesseurs i8086 et 8088, développés par Intel. C'est le point d'entrée d'une vaste famille de processeurs repérés sous le nom générique d'iAPX.

Les microprocesseurs i8086 et 8088, sont entièrement compatibles du point de vue logiciel, un programme écrit pour l'un pouvant être exécuté par l'autre. La différence essentielle entre ces deux microprocesseurs provient de la largeur du bus de données qui est de 8 bits pour le 8088 et de 16 bits pour le 8086.

Dans le cas du 8086, il s'agit donc d'un vrai 16 bits c'est-à-dire d'un microprocesseur équipé d'un bus de données interne et externe de 16 bits, alors que le 8088 est un faux 16 bits ; en effet, son bus de données interne est sur 16 bits, mais son bus de données externe n'est que sur 8 bits ; il faut donc faire deux accès en mémoire pour pouvoir traiter un mot de 16 bits.

11.1.1 Etudes des signaux

Les signaux dont nous allons traiter dans ce chapitre ne sont pas systématiquement les mêmes selon les processeurs. Il n'est pas impératif de les connaître « par cœur » mais la compréhension de certaines de ces caractéristiques vous permettra de mieux appréhender les règles qui président au fonctionnement du processeur.



Brochage du microprocesseur 808

- Masse et Vcc. Assurent l'alimentation électrique du microprocesseur.
- CLK (*Clock*). Entrée destinée à recevoir les signaux de l'horloge système.

- INTR (*Interrupt Request*). Entrée de demande d'interruption en provenance du processeur spécialisé dans la gestion des entrées sorties.
- NMI (*No Masquable Interrupt*). Lorsqu'elle est utilisée, cette entrée d'interruption non masquable, est généralement branchée sur une détection de coupure d'alimentation.
- RESET. Cette entrée permet d'initialiser le microprocesseur, c'est-à-dire de mettre à 0 les divers registres de segment – exception faite toutefois du registre CS – et le mot d'état, d'aller chercher le système d'exploitation et de lui passer le contrôle.
- READY. Dès qu'un périphérique lent est adressé – imprimante par exemple, et qu'il n'a pas la possibilité d'exécuter le transfert demandé à la vitesse du processeur, il indique au générateur de signaux d'horloge qui remet à zéro cette entrée en synchronisation avec le signal d'horloge. Le CPU attend alors la remontée de ce signal pour continuer l'exécution du programme.
- TEST/. Permet de synchroniser l'unité centrale sur une information en provenance de l'extérieur. Elle est ainsi utilisée par la broche BUSY (occupé) du coprocesseur arithmétique 8087, mettent le processeur en attente s'il a besoin du résultat d'un calcul en cours d'exécution dans le 8087. Elle peut également servir à vérifier la fin de l'exécution d'une opération lente telle que démarrage du lecteur de disquette, lecture ou écriture sur le disque, …
- RD/ (*Read Data*). Ce signal, actif à l'état bas, indique à l'environnement que l'unité de traitement effectue un cycle de lecture.
AD0 à AD7. Ces broches qui peuvent présenter les trois états logiques 0, 1 ou haute impédance, correspondent à la partie basse du bus d'adresses et du bus de données, multiplexées. En effet sur les 8088 et 8086, afin de limiter le nombre de broches à 40, bus de données et d'adresses sont multiplexés, les mêmes broches servant tantôt à gérer les adresses, tantôt à recevoir ou émettre des données. L'état de haute impédance autorise un périphérique à utiliser le bus, sans contrôle du CPU.
- AD8 à AD15 pour le 8086 ou A8 à A15 pour le 8088. Même rôle que ci-dessus sauf pour le 8088 où ces broches ne sont utilisées que comme sorties d'adresses.
- A16 (S3) à A19 (S6). Ces broches, également multiplexées, sont utilisées, soit pour la sortie d'adresses des quatre bits de poids forts, soit S3 et S4 indiquent le registre de segment (voir modes d'adressage) ayant servi à générer l'adresse physique.
- BHE/ (S7) (*Bus High Enable*). Durant la sortie de l'adresse, BHE et l'adresse A0 valident les données respectivement sur la moitié haute et basse du bus de données.
- MN (MX/) (Minimum/Maximum). Cette entrée est soit câblée à la masse pour faire fonctionner le processeur en mode maximum, soit au +5V pour le mode minimum.
- S2/, S1/, S0. Ces broches, actives au début d'un cycle d'opération, indiquent au contrôleur de bus la nature du cycle en cours – lecture ou écriture mémoire, lecture ou écriture externe, …, lui permettant ainsi de générer les signaux correspondants.
- RQ/ (GT0/), RQ/ (GT1/) (*Request/Grant*).Chacune des deux broches permet la réception des demandes d'utilisation du bus interne (*request*) envoyées par les coprocesseurs et émet un acquittement (*grant*) à la fin du cycle en cours. Le coprocesseur indiquera en fin d'utilisation du bus, grâce à la même broche, que le processeur peut reprendre l'usage du bus.
- LOCK/. Ce signal contrôlé par le logiciel grâce à une instruction précédée du suffixe LOCK, interdit l'accès du bus à tout autre circuit que celui qui en a déjà le contrôle.
- QS0, QS1 (*Queue*). Ces broches permettent au coprocesseur de calcul ou à d'autres circuits de savoir ce que le processeur fait de sa file d'attente d'instructions.
- M (IO/) (*Memory ou Input Output*). Ce signal permet de faire la distinction entre un accès mémoire et un accès à un périphérique d'entrées sorties.
- DT (R/) (*Direction Transmission*). Cette broche permet la direction des transmetteurs du bus de données (1 = émission, 0 = réception).

- WR/ (*Write*). Ce signal provoque l'exécution d'une écriture par le processeur.
- INTA/ (*Interrupt Acknowledge*). Ce signal joue le rôle du RD/ (Read Data) durant la reconnaissance d'une interruption. Le processeur lisant le numéro de l'interruption placée sur le bus de données par le contrôleur d'interruptions.
- ALE (*Address Latch Enable*). Permet de « capturer » l'adresse présente sur le bus dans des bascules « latchées » avant le passage du bus en bus de données.
- HOLD, HLDA (*Hold Acknowledge*). Hold indique au processeur une demande d'usage des bus. Le processeur répond à la fin du cycle en cours, en mettant HLDA à l'état haut et en mettant ses propres accès au bus en état de haute impédance.
- DEN/ (*Data Enable*). Ce signal autorise les transferts de données en entrées ou en sorties en agissant auprès des transmetteurs bidirectionnels.

11.1.2 Les registres

a) Les registres de données

Les registres de données AX, BX, CX et DX servent tout à la fois d'accumulateurs et de registres opérandes 16 bits. Chacun de ces registres peut être séparé en deux registres 8 bits. La lettre X est alors remplacée par H (*high*) pour la partie haute et par L (*Low*) pour la partie basse. Ainsi AH et AL associés nous donnent AX.

Bien que généraux, ces registres présentent en plus certaines spécificités :

- AX est utilisé pour les opérations d'entrées sorties, les multiplications et divisions.

- BX sert de registre de base lors de l'adressage indirect par registre de base.
- CX sert de compteur de données dans les opérations sur les chaînes de caractères.
- DX est utilisé avec AX pour les multiplications et divisions, ou comme registre d'adressage indirect.

> Les registres de segment

Les registres de segment CS, DS, SS et ES font partie de l'unité de gestion mémoire intégrée au 8086. Chacun de ces registres contient l'adresse de base physique d'une page de 64 Ko. (Voir chapitre sur les modes d'adressages).

> Les registres pointeurs

Les registres SP (*Stack Pointer*), BP, SI et DI sont les registres utilisés lors d'opérations arithmétiques ou logiques ; les deux premiers sont également utilisés pour indiquer un déplacement dans le segment de pile alors que les deux derniers sont utilisés pour repérer un déplacement dans le segment de données.

Le registre IP (*Instruction Pointer*), correspondant au compteur ordinal, contient le déplacement, à l'intérieur du segment de programme, par rapport à l'adresse de base.

> Le registre d'état

Ce registre offre 16 bits dont seulement 9 sont utilisés.

*	*	*	*	O	D	I	T	S	Z	*	A	*	P	*	C

Le registre d'état

- AF (*Auxiliary Carry Flag*) est la retenue de poids 2^4 utilisée lors d'opérations arithmétiques décimales.
- CF (*Carry Flag*) est l'indicateur de report, et est positionné, entre autre, lors d'une opération ayant engendré une retenue.
- PF (*Parity Flag*) est l'indicateur de parité.
- SF (*Sign Flag*) est l'indicateur du signe, considérant que l'on travaille alors en arithmétiques signée (0 positif, 1 négatif).
- ZF (*Zero Flag*) est l'indicateur zéro qui indique que le résultat de la dernière opération (soustraction ou comparaison) est nul.
- OF (*Overflow Flag*) est l'indicateur de dépassement de capacité.
- DF (*Direction Flag*) est l'indicateur utilisé lors de la manipulation de chaînes de caractères (0 décroissantes, 1 croissantes).
- IF (*Interrupt Flag*) autorise ou non la prise en compte des interruptions externes masquables (0 non autorisées, 1 autorisées).
- TF (Trace Flag) permet d'utiliser le mode trace, assure la visualisation du contenu des registres et un fonctionnement en pas à pas.

11.1.3 Architecture interne du 8086

L'architecture interne du 8086 est constituée de deux parties :

- l'unité d'exécution – EU (*Execution Unit*) – exécute les fonctions arithmétiques et logiques.

- l'unité d'interface bus – BIU (*Bus Interface Unit*) – stocke par anticipation 6 octets d'instructions dans une file d'attente de 6 octets de mémoire, interne au processeur.

Ainsi, pendant que l'unité d'exécution traite une instruction, la BIU recherche dans le segment de programme une partie des octets composant la prochaine instruction à exécuter. Ce mode de fonctionnement, dit pipeline accélère les traitements et est très utilisé en informatique. Le 8086 a été le premier microprocesseur à utiliser ce mode.

11.2 NOTIONS D'HORLOGE, PIPELINE, SUPERSCALAIRE, ...

11.2.1 Le rôle de l'horloge

Le microprocesseur est chargé d'exécuter les diverses instructions d'un programme le plus rapidement possible. Afin d'augmenter ces performances une première solution consiste à augmenter la fréquence du microprocesseur. C'est ainsi que l'on est passé de 4,77 MHz sur les premiers microprocesseurs à 800 MHz sur le processeur Alpha de Digital (3.06 GHz pour le Pentium 4).
Cette évolution n'est pas sans inconvénients car l'accélération des fréquences provoque un surcroît de consommation (de quelques watts on peut passer à plus de trente watts) et entraîne une élévation de température. On est alors amené à équiper ces processeurs de systèmes de refroidissement (radiateurs, ventilateurs,

watercooling, …) ou on tente de baisser la tension d'alimentation qui est ainsi passée de 5 volts à 3.3v et 2.8 volts actuellement. Cette baisse de tension va de pair avec une diminution de la largeur des pistes de silicium, c'est ainsi que l'on est passé d'une technologie 0.60 µ à une technologie 0.25 µ puis 0.18 µ, 0.13 µ. Afin d'améliorer les performances des microprocesseurs, d'autres techniques ont été mises en œuvre, parmi lesquelles le pipeline et l'architecture superscalaire.

11.2.2 Pipeline et superpipeline

La technique du pipeline – ou anticipation dans le processeur – repose sur le « découpage » de l'instruction en sous-ensemble logiques élémentaires ou micro opérations de longueur fixe, de type chargement, décodage, exécution, rangement, tels que nous avons fait apparaître lors de l'étude du fonctionnement de l'unité centrale. Ainsi, en considérant, par exemple, un microprocesseur Intel 486DX ou avec un Intel Pentium, nous pouvons distinguer 5 phases :

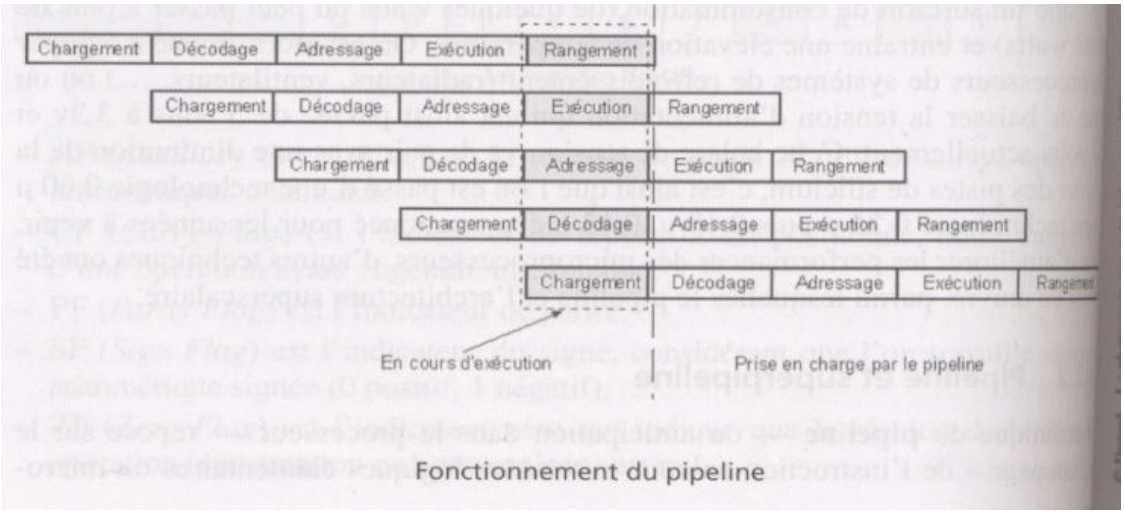
- chargement de l'instruction (*prefetch*),
- décodage de l'instruction (*decode*),
- génération des adresses (*address generate*),
- exécution (*execute*),
- réécriture différée du résultat (*result write back*).

Ce microprocesseur dispose donc d'un pipeline à 5 étages. Dans un tel pipeline on peut en fait, « traiter » cinq instructions simultanément. Ainsi, pendant que l'on traite la phase d'exécution, on peut réaliser en même temps la phase de génération des adresses de l'instruction suivante, la phase de décodage d'une troisième instruction et la phase de chargement d'une quatrième… A chaque cycle d'horloge, le processeur fait ainsi avancer l'instruction en cours d'une action élémentaire et commence une nouvelle instruction. Ce principe présente cependant des limites, car il arrive qu'une instruction doive attendre pour être prise en charge qu'une précédente ait fini de s'exécuter.

Considérons – pour comprendre le principe du pipeline – une station de lav age de voitures comprenant plusieurs sous-stations (les étages du pipeline) assurant savonnage, lavage, rinçage, séchage, lustrage. On peut savonner la cinquième voiture qui se présente tandis que la quatrième est au lavage, la troisième au rinçage, la seconde au séchage et la première à s'être présentée au lustrage.

Pour fonctionner en mode pipeline, il est nécessaire que l'unité de traitement soit composée des deux sous-ensembles :

- l'unité d'instruction qui gère la file d'attente du chargement des instructions,
- l'unité d'exécution qui s'occupe du traitement de l'instruction.



Fonctionnement du pipeline

Quand on dispose de plusieurs unités d'instructions ou si le processeur est capable d'assurer un découpage encore plus fin des instructions, on parle alors de superpipeline. Le pipeline présente cependant des limites : en effet, il se peut que pour être exécutée, une instruction doive attendre le résultat d'une instruction précédente. Dans ce cas, le processus est évidemment plus lent que si toutes les instructions étaient traitées de manière indépendante. Un mécanisme de « prédiction » des instructions à exécuter est mis en œuvre sur certain processeurs afin d'optimiser ces performances.

11.2.3 Scalaire et superscalaire

La technologie superscalaire consiste à faire travailler plusieurs unités d'exécution en parallèle dans le processeur. Ainsi, avec un processeur disposant d'une unité de calcul pour les entiers – CPU (*Central Processor Unit*) et d'une unité de calcul pour les nombres flottants ou FPU (*Floating Processor Unit*), trois instructions

vont pouvoir être traitées en parallèle ; une sur les entiers, une sur les flottants et une instruction de branchement, cette dernière n'utilisant pas d'unité de calcul. On peut bien entendu multiplier le nombre d'unités de traitement. C'est la cas des Pentium et Pentium Pro qui disposent chacun de deux unités de traitement des entiers et d'une unité de traitement des flottants. Ils sont donc superscalaires.

A l'inverse, un processeur ne disposant que d'une seule unité de traitement pour les entiers et les flottants, comme le processeur Intel 386DX, est dit scalaire.

11.3 EVOLUTION DE LA GAMME INTEL

En 1982, Intel développe un processeur 80286, vrai 16 bits, offrant une architecture interne 16 bits – taille des registres de données – et un bus de données externe de 16 bits également, mais travaillant, à vitesse d'horloge égale, 4 fois plus vite que le 8086. La vitesse d'horloge sera poussée de 8 à 20 MHz. Le bus d'adresse porté à 24 bits permet d'adresser physiquement 16 Mo. De plus une gestion mémoire intégrée permet d'adresser une mémoire virtuelle de 1 Giga-octet.

En 1985, sort le 80386DX, vrai 32 bits sur une puce intégrant 270 000 transistors. Il est cadencé à 16 MHz, puis 20, 25 et 33 MHz. Avec un bus d'adresses 32 bits, l'adressage physique atteint 4 Go. Grâce à la gestion de mémoire virtuelle, il peut adresser 64 téra-octets. Pour améliorer les performances, le 386 charge par anticipation les 16 octets suivant l'instruction en cours de traitement (pré-*fetch*). Il offre une totale compatibilité avec le 286 et supporte un mode virtuel 8086 permettant l'utilisation de logiciels écrits pour le 8086. Il travaille alors comme un ou plusieurs 8086 associés.

En 1988, Intel présente une version réduite, le 80386SX, possédant un bus externe de 16 bits – c'est un faux 32 bits – cadencé de 16 à 33 MHz. Cette version est développée pour réduire les coûts de fabrication des machines utilisant les nombreux périphériques 16 bits qui existent dans le commerce. Son bus d'adresses est limité à 24 bits. En 1990, sort le 80386SL (faux 32 bits) qui est un 386SX, cadencé à 16, 20 puis 25 MHz, intégrant un gestionnaire de mémoire virtuelle, un contrôleur de mémoire principale et surtout un mécanisme d'économie d'énergie, car il est destiné aux portables.

En 1989, est commercialisé le 80486DX – vrai 32 bits – intégrant, sur une puce de 168 broches, 1.2 millions de transistors. Le 80486DX offre sur le même composant une unité de calcul des entiers, une unité de calcul en virgule flottante – FPU (*Floating Processor Unit*) compatible avec le coprocesseur mathématique 80387, 8 Ko de mémoire cache en SRAM rapide, commune aux données et aux instructions, un contrôleur de mémoire cache et de mémoire virtuelle – MMU (*Memory Management Unit*). A vitesse d'horloge égale il multiplie par 4 les performances d'un 386DX. L'horloge interne est cadencée de 20 à 100 MHz. La version à 33 MHz offre une puissance de 20 à 25 Mips, soit 100 fois la puissance des PC de 1982 ! Afin de

réduire les coûts des machines, est également produit un 80486SX qui est en fait un 486DX dont le coprocesseur est inhibé.

En 1992, Intel sort les 80486DX2 25/50 MHz et 33/66 MHz qui, en doublant la fréquence d'horloge interne

(50 MHz interne pour 25 MHz externe) permettent d'augmenter la puissance des machines de 30 à 70 % ! Ces doubleurs de fréquence également appelés OverDrive peuvent venir en complément du i486 existant ou le remplacer sur la carte mère. Un 486DX4 est également produit, qui, en fait, est un tripleur de fréquence. On peut alors cadencer l'unité d'exécution à 100 MHz en interne tandis que la carte ne fonctionne qu'à 33 MHz.

En 1993, sort un nouveau processeur, dont le nom n'est plus i586 mais Pentium. Bien qu'il s'agisse toujours d'un processeur CISC, il intègre certaines caractéristiques des RISC. Le Pentium possède un bus de données externe de 64 bits, mais des registres de 32 bits. Il dispose de 2 unités d'exécution indépendantes de 32 bits, fonctionnant simultanément (architecture superscalaire). On peut considérer qu'il s'agit d'un vrai-faux 64 bits. Il possède 2 caches séparés (instructions – données) de 8 Ko chaque, une unité de calcul en virgule flottante optimisée et deux pipelines à 5 étages. Il est cadencé à 60 MHz puis progressivement porté à 200 MHz.

En 1995 sort le Pentium Pro (ex P6) cadencé de 150 à 200 MHz. Il intègre 256 Ko de cache secondaire, puis 512 Ko. Le cache de niveau 1 est de 8 Ko pour les données et de 8 Ko pour les instructions. Ils est conçu selon la même architecture que les Pentium (64 bits, superscalaire, …) en technologie 0.35 µ et fonctionne en 3.1 volts. En revanche, le Pentium Pro n'utilise plus la technique pure du pipeline mais une démarche d'anticipation du traitement des instructions (voir le chapitre ci-après – Etude *complémentaire d'un processeur* – le *Pentium Pro*).

Intel produit également des processeurs MMX (*MultiMedia eXtensions*) disposant de fonctions de gestion multimédia. Ils intègrent une soixantaine d'instructions implémentées dans le silicium qui permettent de traiter plusieurs données simultanément au sein d'une même instruction. Cette technique porte le nom de SIMD (*Single Instruction Multiple Data*) et permet d'améliorer le traitement des sons ou des images.

En 1997 Intel sort le Pentium II. Disponible en 233, 266, 300 et 333 MHz, il constitue une avancée technologique par rapport au Pentium, en associant les performances de l'architecture Pentium Pro à la technologie MMX. Le Pentium II renferme à la fois le processeur et la mémoire cache de niveau 2. Il communique avec le reste du PC au moyen d'un bus DIB (*Dual Independent Bus*). Cette nouvelle architecture de bus permet aux données de circuler dans le processeur sur plusieurs flux et non plus sur un seul, offrant ainsi de meilleures performances multimédia, notamment pour les graphiques en 3D.

Une version allégée Celeron (un Pentium II privé de sa mémoire cache intégrée de 2e niveau) est proposée pour l'entrée de gamme. Au printemps 1998 le Pentium II est proposé dans des versions à 350 et 400 MHz.

En 1999 sort le Pentium III disponible en 450, 500, 600 ou 667 MHz qui reprend en grande partie l'architecture du Pentium II (cœur « P6 », 7.5 millions de transistors, 512 Ko de cache L2, gravure 0.25 µ puis 0.18 µ, bus à 100 MHz, 133 MHz, …). Il intègre 70 nouvelles instructions MMX, de type SIMD et de nouveaux algorithmes optimisent l'usage de la mémoire cache. Il ne s'avère, cependant, que légèrement supérieur au Pentium II au niveau des performances. Les fréquences « externes » au processeur sont dorénavant portées à 100 MHz (voire 133 MHz), alors qu'elles n'étaient que de 66 MHz auparavant. Toutefois la carte mère devra répondre à un certain nombre de caractéristiques telles que la présence d'un chipset performant car seules certaines mémoires SDRAM peuvent supporter 100 MHz.

L'avenir de la famille Intel est tracé avec le processeur Itanium (Merced – McKinley), qui doit voir le jour en 2000. Il s'agit d'un processeur 64 bits (IA-64) fonctionnant en technologie massivement parallèle EPIC (*Explicitly Parallel Instruction Computing*). Alors que le Pentium II dispose de 2 CPU (*Central Processor Unit*) accompagnés de 8 registres et d'une unité FPU (*Floating Processor Unit*) également accompagnée de 8 registres, le Merced devrait disposer selon Intel de « *… plein d'unités CPU associées à 128 registres et plusieurs unités FPU utilisant également 128 registres…* ». La gravure de ce processeur doit être de 0.18 µ puis descendre à 0.13 µ dès que la technologie le permettra. La fréquence devrait avoisiner 700 MHz et évoluer vers le GHz.

L'évolution du processeur entraîne une amélioration de la mémoire et des autres composants et inversement. Cette évolution est pour l'instant peu sensible dans la mesure où la vitesse du bus de données, si elle influence bien le fonctionnement du processeur, est d'un effet moindre que l'augmentation de fréquence du bus reliant le processeur à sa mémoire cache. Les futures générations de cartes mères et de processeurs devraient donc axer les évolutions sur ces deux domaines – d'une part augmentation de la fréquence externe passant à 100-133 MHz au lieu de 66 MHz, et peut être plus ultérieurement ; d'autre part augmentation de la fréquence du bus liant la cache au processeur.

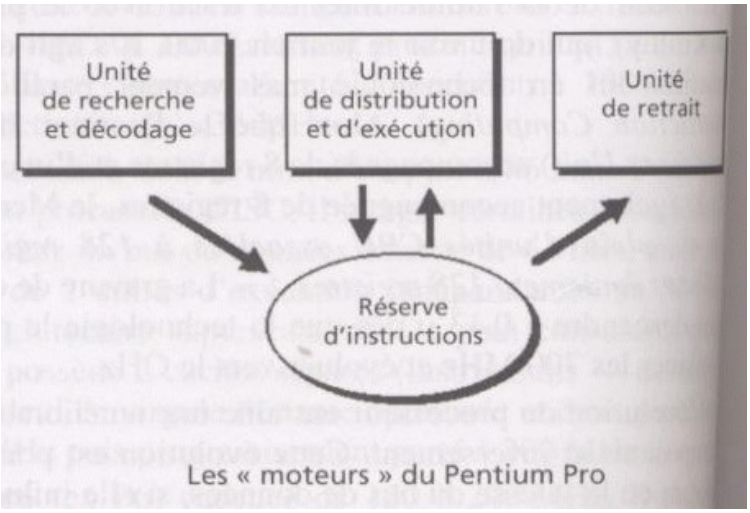
11.3.1 Etude complémentaire du processeur Pentium Pro

a) Introduction

Le Pentium Pro a été conçu avec pour objectif d'accroître de manière significative les performances des Pentium. La combinaison des techniques mises en œuvre dans ce processeur et améliorée chez les suivants, est appelée, par Intel, l'exécution dynamique.

Les Pentium utilisent une architecture pipeline, et superscalaire. Le pipeline du Pentium utilise ainsi 5 étages. Le Pentium Pro évolue avec un superpipeline à 12 étages, qui permet de réduire le travail affecté à chaque étage. Le temps de passage dans le pipeline est ainsi réduit de 33 %. Cela signifie qu'il peut avoir une vitesse d'horloge de 33 % supérieure à celle du Pentium.
L'architecture superscalaire utilisée ici a pour but d'éliminer le séquencement linéaire des instructions entre les traditionnelles phases de recherche (*fetch*) et de traitement de l'instruction (*execute*), en autorisant l'accès à une réserve d'instructions (*instruction pool*). L'emploi de cette réserve permet à la phase de traitement d'avoir une meilleure visibilité dans le flot des futures instructions à traiter et d'en assurer une meilleure planification. Mais ceci implique que la phase de recherche et décodage (*fetch-decode*) des instructions soit optimisée.

Cette optimisation est obtenue en remplaçant la phase fondamentale d'exécution par un ensemble séparé de phases de distribution-exécution (*dispatch/execute*) et de retrait (*retire*) des instructions traitées. Cette solution permet de démarrer le « traitement » des instructions dans n'importe quel ordre. Cependant leur achèvement doit d'être toujours fait dans l'ordre du programme.



Les « moteurs » du Pentium Pro

Cette approche basée sur l'emploi de trois « moteurs indépendants » a été choisie car le point faible des microprocesseurs actuels c'est que la plupart du temps les CPU (*Central Processor Unit*) ne sont pleinement utilisés. Le Pentium Pro est ainsi composé de trois « moteurs » indépendants puisant, selon les besoins, dans la réserve d'instructions comme le montre la figure ci-dessus.

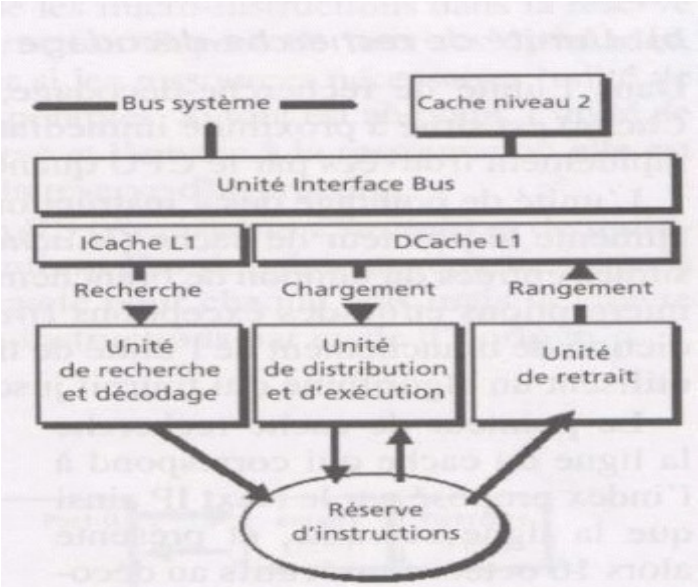
Considérons le fragment de code suivant :

1. r1 ← mem [r0]
2. r2 ← r1 + r2
3. r5 ← r5 + 1
4. r6 ← r6 – r3

La première instruction de cet exemple consiste à charger le registre r1 du processeur avec une donnée en mémoire. Le processeur va donc chercher cette donnée dans son cache interne de niveau 1 – L1 (*Level 1*) – ce qui va provoquer un défaut de chargement du cache si la donnée ne s'y trouve pas. Dans un processeur traditionnel le noyau attend que l'interface bus lise cette donnée dans le cache externe de niveau 2, voire en RAM – et la lui retourne avant de passer à l'instruction 2. Ce « blocage » du CPU provoque un temps d'attente et donc son sous-emploi.

L'accroissement des délais d'attente liés à la mémoire, est un problème important que le Pentium Pro tente de résoudre. Une première solution consisterait à déplacer le travail vers le chipset, mais un processeur haute performance, nécessitant pour fonctionner correctement l'emploi de composants spécialisés très rapides, est peu compatible avec une production en nombre. Une autre approche du problème serait d'augmenter la taille du cache L2 pour réduire la taux de défaut du cache. Quoique réaliste il s'agit encore d'une solution onéreuse, surtout si l'on considère les vitesses à atteindre par les composants SRAM du cache de niveau 2.

Pour limiter le temps d'attente le Pentium Pro recherchera, dans sa réserve d'instructions, celles qui sont consécutives et essaiera de gagner du temps. Ainsi, dans l'exemple, l'instruction 2 n'est en principe pas exécutable sans réponse préalable de l'instruction 1. Mais les instructions 3 et 4 sont, elles, exécutables sans délai. Le processeur va donc anticiper l'exécution de ces instructions. Comme il n'est pas possible de transmettre immédiatement le résultat de ces deux instructions aux registres utilisables par le programmeur si l'on veut maintenir l'ordre originel du programme, les résultats seront provisoirement stockés en réserve, en attendant d'en être extrait le moment venu.



Utilisation de la réserve d'instructions

Le CPU traite donc les instructions en fonction de leur aptitude à être exécutées et non en fonction de leur ordre originel dans le programme ; il s'agit là d'un système de gestion des flux de données. Les instructions d'un programme sont exécutées (en apparence tout du moins) dans le désordre. Revenons à l'instruction 1. Le défaut de cache peut monopoliser plusieurs cycles d'horloge, aussi le CPU va-t-il essayer d'anticiper sur les autres instructions qu'il peut exécuter. Il observera ainsi jusqu'à 20 ou 30 instructions au-delà de la valeur indiquée par le compteur ordinal. Sur cette fenêtre d'anticipation de 20 à 30 instructions il devrait y avoir, en moyenne, cinq branchements que l'unité de recherche-décodage (*fetch/decode*) pourra correctement prévoir si l'unité de répartition-exécution (*dispatch/execute*) fait son travail convenablement.

Les références au jeu de registres d'un processeur Intel (*Intel Architecture*) risquent de créer – lors du traitement anticipé – de multiples fausses références à ces registres, c'est pourquoi l'unité de répartition exécution

(*dispatch/execute unit*) renomme les registres pour améliorer les performances. L'unité de retrait simule ainsi le jeu de registres d'une architecture Intel et les résultats sont transmis aux registres réels de la machine quand on extrait de la réserve d'instructions une instruction intégralement traitée.

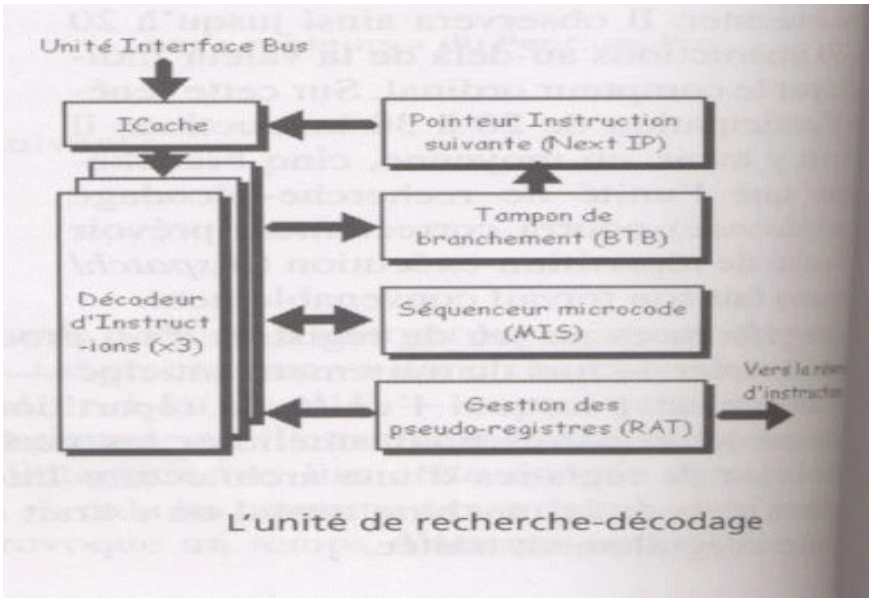
Observons l'intérieur du Pentium Pro pour comprendre comment il gère cette exécution dynamique et voyons le rôle de chaque unité :

- L'unité de recherche décodage (*fetch/decode unit*) reçoit, de manière ordonnée, les instructions issues du cache et les convertit en une série de micro-opérations (*uops*) représentant le flux de code correspondant aux instructions à traiter.
- L'unité de répartition exécution (*dispatch/execute unit*) reçoit, de manière désordonnée, le flux d'instructions, planifie l'exécution des micro-opérations nécessitant l'emploi de données et de ressources, et stocke temporairement les résultats des exécutions anticipées.
- L'unité de retrait (*retire unit*) détermine, de manière ordonnée, quand et comment retirer les résultats des instructions traitées par anticipation pour les remettre à la disposition du noyau.
- L'unité d'interface bus (*BUS interface unit*) met en relation les trois unités internes avec le monde extérieur. Elle communique directement avec le cache de niveau 2, supportant jusqu'à quatre accès concurrents au cache et elle pilote également un bus d'échange avec la mémoire centrale.

b) L'unité de recherche-décodage

Dans l'unité de recherche-décodage, le cache d'instructions ICache (*Instruction Cache*) est situé à proximité immédiate du noyau, les instructions peuvent ainsi être rapidement trouvées par le CPU quand le besoin s'en fait sentir.

L'unité de pointage des « instructions à venir » Next IP (*Next Instruction Pointer*) alimente le pointeur de cache (*ICache index*) du cache d'instructions, en se basant sur les entrées du tampon de branchement BTB (*Branch Target Buffer*), sur l'état des interruptions et/ou des exceptions (*trap/interrupt status*), et sur les défauts de prédiction de branchement de l'unité de traitement des entiers. Les 512 entrées du BTB utilisent un algorithme qui fournit jusqu'à plus de 90 % de prédictions exactes.



Le pointeur de cache recherche la ligne du cache qui correspond à l'index proposé par le Next IP ainsi que la ligne suivante, et présente alors 16 octets consécutifs au décodeur. Deux lignes sont lues en cache car les instructions Intel se présentent par paquets de deux octets consécutifs. Cette partie du pipeline monopolise trois cycles d'horloge, incluant le temps passé à décaler les octets prérecherchés de manière à ce qu'ils se présentent correctement au décodeur d'instruction ID (*Instruction Decoder*). On marque également le début et la fin de chaque instruction.

Trois décodeurs d'instruction, traitent en parallèle ce flot d'octets. La plupart des instructions sont converties directement en une seule micro-instruction, quelques-unes, plus élaborées, sont décodées et occupent de une à quatre mircro-instructions et les instructions encore plus complexes nécessitent l'usage de micro-code géré par le MIS (*Microcode Instruction Sequencer*). Ce micro-code consiste en un jeu précâblé de séquences de micro-instructions. Enfin, quelques instructions, appelées *prefix bytes*, interviennent carrément sur l'instruction suivante donnant alors au décodeur une importante surcharge de travail.

Les micro-instructions issues des trois décodeurs sont ordonnées et expédiées d'une part à la table des pseudo-registres RAT (*Register Alias Table*), où les références aux registres logiques sont converties en références aux registres physiques, et d'autre part à l'étage d'allocation (*Allocation stage*), qui ajoute des informations sur l'état des micro-instructions et va les envoyer vers la réserve d'instructions. Celle-ci est gérée comme un tableau de

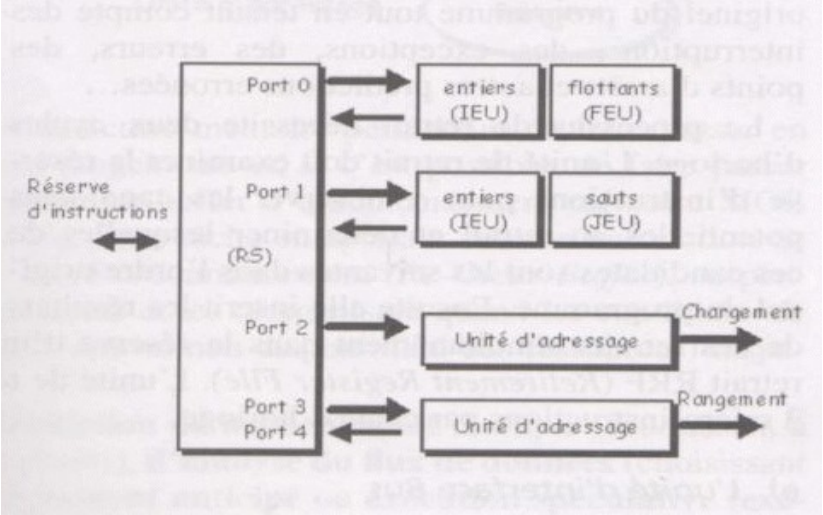
mémoire appelé tampon de ré-ordonnancement ROB (*ReOrder Buffer*).

c) L'unité de répartition-traitement

L'unité de répartition (*dispatch unit*) sélectionne les micro-instructions dans la réserve d'instructions, selon leur état. Si la micro-instruction dispose de tous ses opérandes, alors l'unité de répartition tentera de déterminer si les ressources nécessaires (unité de traitement des entiers, des flottants, …) sont disponibles. Si tout est au point, l'unité de répartition retire la micro-instruction de la réserve et l'envoie à la ressource où elle est exécutée. Les résultats sont ensuite retournés à la réserve d'instruction.

Il y a cinq ports sur la station de réservation RS (*Reservation Station*) et de multiples ressources y ont accès permettant au Pentium Pro de gérer et répartir jusqu'à 5 micro-instructions par cycle d'horloge, un cycle pour chaque port mais la vitesse moyenne est en général de seulement 3 micro-instructions par cycle d'horloge.

L'algorithme utilisé par le processus de planification-exécution est vital pour les performances. Si une seule ressource est disponible pour une micro-instruction lors d'un cycle d'horloge, il n'y a pas de choix à faire, mais si plusieurs sont disponibles laquelle choisir ? A priori on devrait choisir n'importe quelle micro-instruction optimisant le code du programme à exécuter. Comme il impossible de savoir ce qu'il en sera réellement à l'exécution, on l'estime à l'aide d'un algorithme spécial de planification.



Beaucoup de micro-instructions correspondent à des branchements. Le rôle du tampon de branchement (*Branch Target Buffer*) est donc de prédire, au mieux, la plupart d'entre eux mais il est impossible qu'il les prédise tous correctement. Par exemple, le BTB prédit correctement le branchement renvoyant à la première instruction d'une boucle, mais la boucle se termine et le branchement, à cet instant, sera mal prédit.

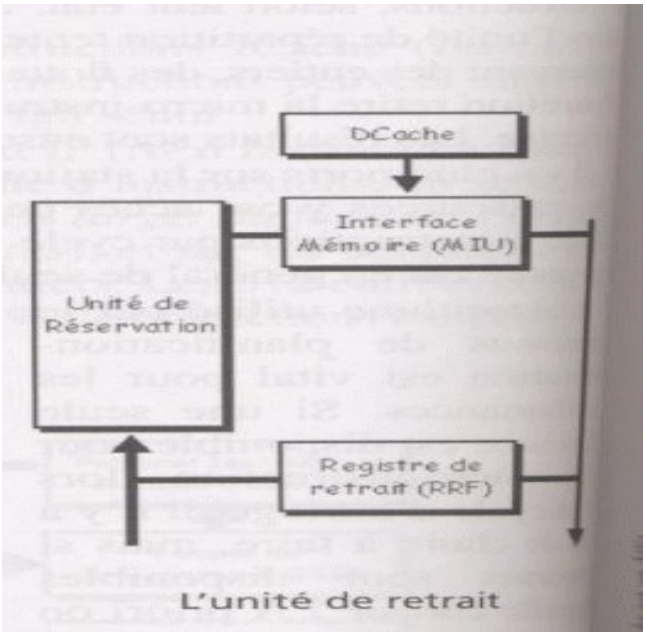
Les micro-instructions de branchement sont marquées avec leur adresse et la destination de branchement prévue. Quand le branchement s'exécute, il compare ce qu'il doit faire avec ce que la prédiction voudrait qu'il fasse. Si les deux coïncident la micro-instruction correspondant au branchement est retirée, et la plupart des travaux qui ont déjà été exécutés préventivement et mis en attente dans la réserve d'instructions seront bons.

Mais si cela ne coïncide pas (par exemple, il est prévu d'exécuter un branchement sur une boucle et la boucle se termine…) l'unité d'exécution de saut JEU (*Jump Execution Unit*) va changer l'état (*status*) des micro-instructions situées après celle correspondant au branchement pour les ôter de la réserve d'instructions. Dans ce cas la nouvelle destination de branchement est fournie au BTB qui redémarre le « *pipelining* » à partir de la nouvelle adresse cible.

d) L'unité de retrait

L'unité de retrait vérifie l'état des mircro-instructions dans la réserve d'instructions – et recherche celles qui ont été exécutées et peuvent être retirées de la réserve. Une fois retirées, ces micro-instructions sont remplacées par l'instruction d'origine. L'unité de retrait ne doit pas seulement repérer quelles micro-instructions disposent de tous leurs opérandes, mais également les replacer dans l'ordre originel du programme tout en tenant compte des interruptions, des exceptions, des erreurs, des points d'arrêts et autres prédictions erronées…

Le processus de retrait nécessite deux cycles d'horloge. L'unité de retrait doit examiner la réserve d'instructions pour y observer les candidates potentielles au retrait et déterminer lesquelles de ces candidates sont les suivantes dans l'ordre originel du programme. Ensuite elle inscrit les résultats de ces retraits simultanément dans la réserve d'instruction et dans le registre de retrait RRF (*Retirement Register File*). L'unité de retrait est ainsi capable de retirer 3 micro-instructions par cycle d'horloge.

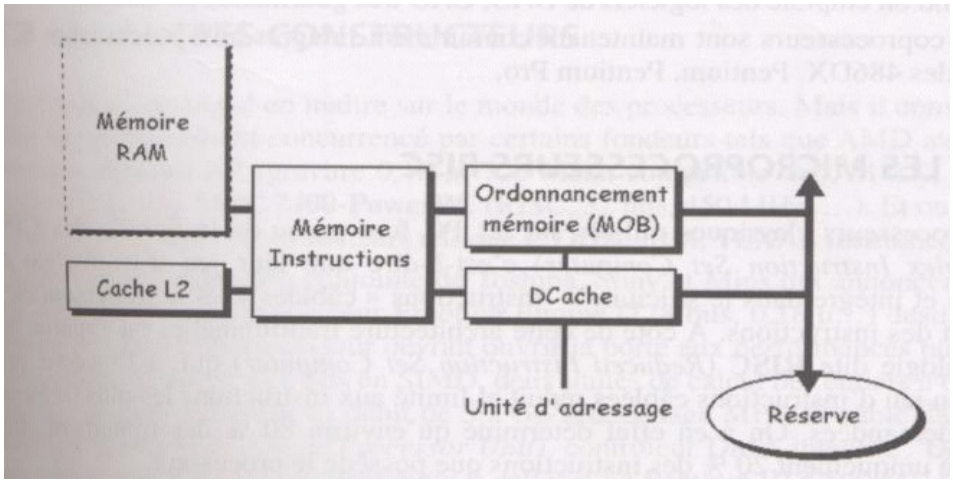


e) L'unité d'interface Bus

L'unité d'interface bus BIU (*Bus Interface Unit*) met en relation les trois unités internes avec le monde extérieur. Elle communique directement avec le cache de niveau 2, supporte jusqu'à quatre accès concurrents au cache et pilote également un bus d'échange avec la mémoire centrale.

Il y a deux types d'accès mémoire à gérer : chargements et rangements. Les chargement nécessitent seulement de spécifier l'adresse mémoire où accéder, la taille de la donnée à rechercher et le registre de destination. Ils sont codés sur une seule micro-instruction.

Les rangements imposent de fournir une adresse mémoire, une taille de donnée et la donnée à écrire. Ils nécessitent deux micro-instructions, une pour générer l'adresse et une pour générer la donnée. Ces micro-instructions sont planifiées séparément pour maximiser leur simultanéité mais doivent être recombinées dans le buffer de stockage pour que le rangement puisse être effectuée. Le buffer de rangement n'exécute le rangement que s'il possède à la fois l'adresse et la donnée et aucun rangement n'en attend un autre. S'ils étaient contraints à l'attente de chargements cela dégraderait un peu les performances. En revanche, forcer des chargements en priorité avant d'autres chargements joue de manière significative sur les performances.



Intel a donc recherché une architecture mémoire permettant de faire passer en priorité les chargements avant les rangements et, si c'est possible, de faire passer, certains chargements avant d'autres. Le buffer d'ordonnancement mémoire MOB (*Memory Order Buffer*) doit réaliser cette tâche en agissant comme une station de réservation et comme un buffer de ré-ordonnancement (*Re-Order Buffer*), suspendant les chargements et les rangements et les réorganisant quand les conditions de blocage (dépendance entre instructions ou non-disponibilité des ressources) disparaissent.

C'est cette combinaison de prédiction de branchement multiple (fournissant à la mémoire de nombreuses instructions), d'analyse de flux de données (choisissant le meilleur ordonnancement), traitement anticipé ou exécution spéculative (exécutant les instructions dans un ordre préférentiel) qui permet au Pentium Pro d'obtenir des performances supérieures à celles du Pentium.

11.4 LES COPROCESSEURS

Les coprocesseurs ou FPU (*Floating Processor Unit* ou *Floating Point Unit*) sont des processeurs spécialisés dans le traitement des calculs arithmétiques en virgule flottante. Ils ont suivi une évolution parallèle à celle des microprocesseurs, et c'est ainsi que l'on peut trouver des Intel 80387, 80487, Weitek 3167 et 4167, ou autres Cyrix EMC87… Spécialisé dans le traitement des opérations arithmétiques, trigonométriques, … ce composant permet des gains de temps de l'ordre de 100 sur ce type de calcul.

Les microprocesseurs ne disposant souvent dans leur jeu d'instructions que de très peu d'instructions mathématiques (addition, soustraction, multiplication et division sont à peu près les seules), aucun ne présentant, par exemple, d'instruction de calcul du sinus ou du cosinus ils sont amenés à faire un nombre important d'opérations élémentaires si l'on souhaite réaliser un tel calcul ce qui ralentit considérablement le processeur. Le coprocesseur a donc été conçu pour pallier ces insuffisances. Son intérêt se fait sentir dès lors que l'on utilise de gros tableaux de chiffres, des calculs scientifiques ou quand on emploie des logiciels de DAO, CAO très gourmands en calculs.

Les coprocesseurs sont maintenant couramment intégrés aux processeurs. C'est le cas des 486DX, Pentium, Pentium Pro, …

11.5 LES MICROPROCESSEURS RISC

Les processeurs classiques utilisés sur les PC font partie de la famille des CISC (*Complex Instruction Set Computer*) c'est-à-dire que leur jeu d'instruction est étendu et intègre dans le silicium – instructions « câblée » -- le traitement de la plupart des instructions. A coté de cette architecture traditionnelle, est apparue une technologie dite RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) qui, à l'inverse, propose un jeu d'instructions câblées réduit et limité aux instructions les plus fréquemment demandées. On a en effet déterminé qu'environ 80 % des traitements font appel à uniquement 20 % des instructions que possède le processeur.

Du fait de son très petit jeu d'instructions câblées, un processeur RISC n'occupe que de 5 à 10 % de la surface d'un circuit, contre plus de 50 % pour un CISC. La place ainsi gagnée permet alors d'intégrer sur une même puce des caches mémoires, de nombreux registres… Des processeurs tels que les R/4000 de Mips, Supersparc de SUN, RIOS d'IBM, Power PC d'IBM-Motorola, … sont de type RISC.

A titre d'exemple, présentons succinctement le processeur que commercialise la société Digital, le Risc ALPHA 21264, dont le nom à lui seul « annonce la couleur » : 21 pour 21^{e} siècle, 64 pour 64 bits. Il est actuellement cadencé à 625 MHz et 1 000 MHz sont annoncés pour l'année 2001 ! Ses caractéristiques sont révélatrices de ses possibilités :

- 30 000 000 transistors sur une seule puce de 431 broches,

- adressage mémoire virtuel sur 64 bits ce qui permet d'adresser plus de 18 milliards de milliards d'octets,

- sélection de la vitesse et de la largeur du bus de données à 64 ou 128 bits,

- 64 registres, dont 32 pour des entiers en mots longs de 32 bits ou en quadruples de 64 bits, et 32 registres pour des flottants 32 ou 64 à la norme IEEE et VAX,

- une unité de calcul en virgule flottant intégrée,

- une mémoire cache de niveau 1 – L1 – de 8 Ko pour les données,

- une mémoire cache 1 – L1 – de 8 Ko pour les instructions,

- cache intégré de niveau 2 – L2 – de 96 Ko,

- utilisation de pipeline à 7 niveaux pour les instructions mémoires et les opérations sur des entiers et à 10 niveaux pour les opérations en virgule flottante,

- mesure des performances intégré à la puce,

- fréquences d'horloge allant, pour la gamme, de 200 MHz à 800 MHz,

- une puissance de plus de 30 Specint et 50 Specfp (voir paragraphe sur la mesure des performances pour les explications de ces termes).

11.6 LES AUTRES CONSTRUCTEURS

Intel a longtemps régné en maître sur le monde des processeurs. Mais il commence à être très sérieusement

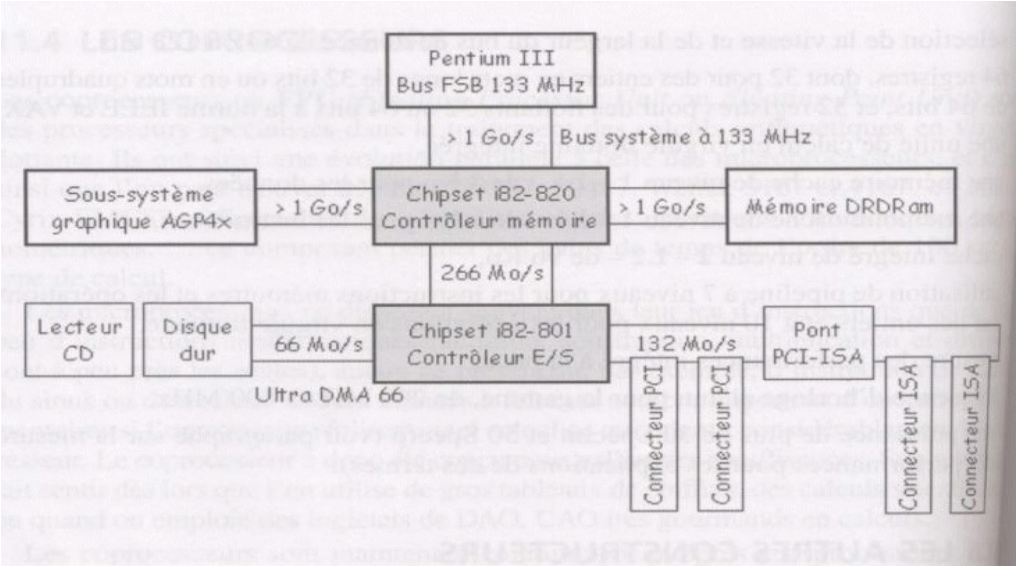
concurrencé par certains fondeurs tels que AMD avec son processeur Athlon K7 (gravure 0.18 µ, 700 MHz, compatible x86, MMX, …) ou Motorola avec son MPC 7400-PowerPC (RISC, 32 bits, 450 MHz, …). Et on trouve une multitude d'autres constructeurs tels que CYRIX, IBM, TEXAS Instruments, …

Signalons la production conjointe de Toshiba, Sony et Mips qui annoncent pour l'an 2000 l'arrivée du processeur Emotion Engine (128 bits, 0.18 µ …) destiné aux consoles de jeux ! Ce processeur devrait ouvrir la porte aux performances puisqu'il comporterait un noyau 128 bits en SIMD, deux unités de calcul des entiers à 64 bits, support d'un bus mémoire au débit de 3.2 Go/s, décodage MPEG2 câblé dans une unité spécialisée IPU (Image Processor Unit), contrôleur DMA intégré … Des performances annoncées 5 fois supérieures à celles d'un Pentium III à 500 MHz !

11.7 LE ROLE DES CHIPSETS

Le chipset est un composant important (souvent négligé lors du choix d'un micro-ordinateur) de la carte mère, chargé de gérer la coopération entre les divers autres composants que sont le processeur, les bus, la mémoire cache, la mémoire vive, … A l'heure actuelle ses chipsets permettent de piloter des bus système (reliant processeur et mémoire) à des fréquences atteignant 133 MHz (Intel 820).

Actuellement, les chipset les plus utilisés sur des Intel, sont le 430 HX connu sous le nom de Triton II et le 430 VX connu sous le nom de Triton III, le 430 TX et le 444LX, connu sous le nom de AGPS – capable de gérer les nouveaux bus graphiques AGP.



Le dernier chipset sorti à ce jour est le Intel 820, qui permet au bus de données processeur de fonctionner à 133 MHz. Il gère la mémoire DRDRam fonctionnant à 300 ou 400 MHz (mais pas la SDRam !) et l'AGP4x qui offre une bande passante de 1 Go/s. De plus, il gère l'architecture Accelerated Hub qui lui permet d'assurer un débit de 266 Mo/s entre le chipset et les contrôleurs IDE, USB ou PCI.

Le tableau suivant indique quelques-unes des caractéristiques de ces chipsets.

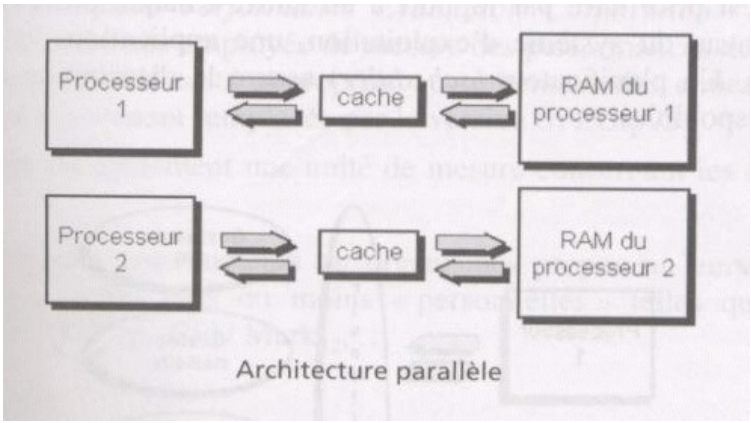
QUELQUES CHIPSETS ACTUELS

Prend en charge	Intel 430 HX	Intel 440 LX	Intel 440BX	Intel 450NX
	Triton II	AGPset		
Processeurs	2	1	2	4
Mémoire	512 Mo		1 Go	8 Go
Mémoire SDRam	Non	Oui	Oui	Oui
Mémoire Burst EDO	Non	Oui	Oui	Oui
Mémoire Parité ECC	Oui	Oui	Oui	Oui
Bus USB	Oui	Oui	Oui	Oui
Disques Ultra ATA-33	Non	Oui	Oui	Oui
Économie d'énergie ACPI		Oui	Oui	Oui
Hot Plug PCI	Non	Non	Non	Oui

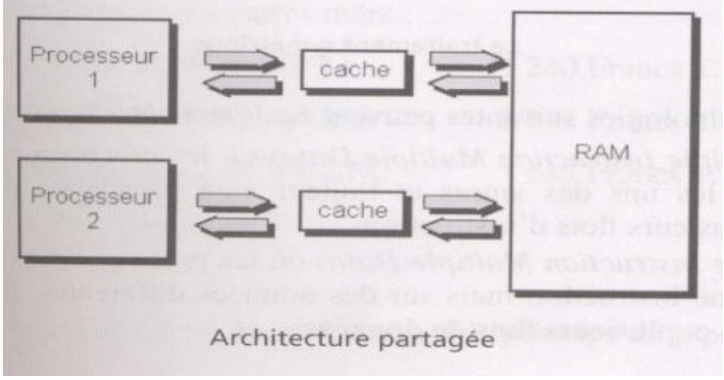
11.8 LE MULTI-PROCESSING

Afin d'accroître les performances des ordinateurs et notamment de ceux destinés à remplir le rôle de serveurs de réseaux, on a été amené à faire fonctionner ensemble plusieurs processeurs dans le même ordinateur. C'est le multi-processing qui repose sur deux approches différentes : architecture parallèle et architecture partagée.

Dans une architecture parallèle ou massivement parallèle (*clustering*) chaque processeur dispose de sa propre mémoire, son propre bus système et ses unités d'entrées sorties personnelles. On est alors obligé d'utiliser des connexions à haut débit pour relier les processeurs entre eux. De plus, comme ils ne partagent pas la même mémoire, certains traitements peuvent devenir incohérents, et on est donc obligé de gérer les traitements réalisés par ces processeurs au moyen de logiciels. Cette architecture est également dite à « mémoire distribuée » ou bien encore « massivement parallèle » MPP (*Massively Parallel Processor*).

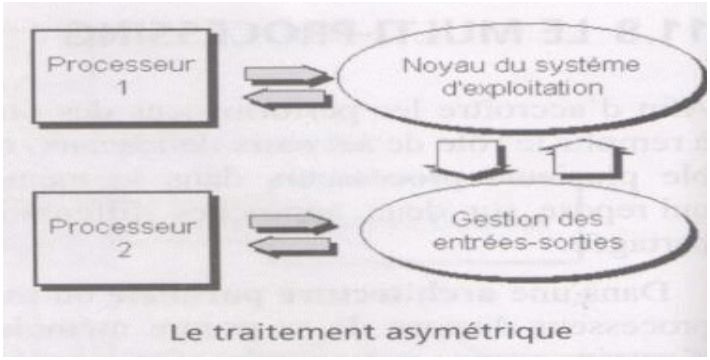


Dans la technique de l'architecture partagée ou « à mémoire partagée » les processeurs se partagent la mémoire, le bus système et les entrées sorties. Bien entendu, il faut également éviter les conflits, et on rencontre alors deux méthodes : traitement asymétrique ou traitement symétrique.



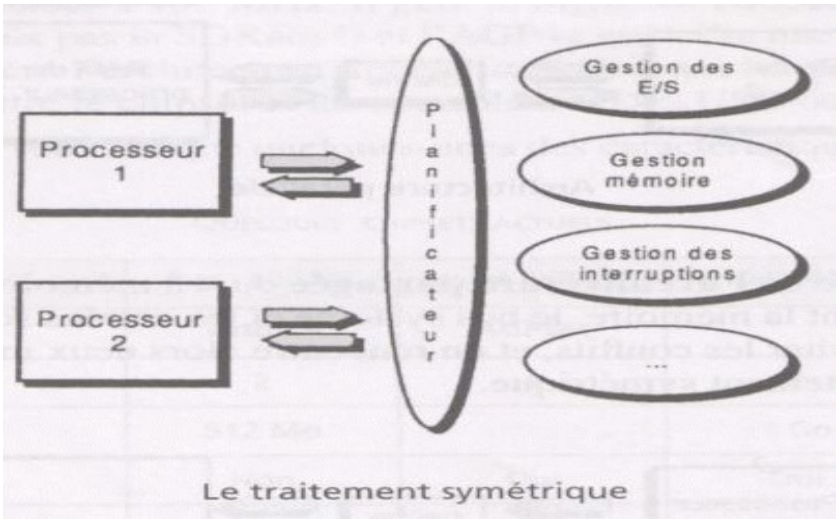
Dans le cas du traitement asymétrique, chaque processeur se voit confier une tâche particulière par le système. Des programmes spécifiques doivent donc être écrits pour chaque processeur. Ainsi, l'un sera chargé de gérer les entrées-sorties alors qu'un autre aura à charge la gestion du noyau du système d'exploitation. Ainsi, certaines tâches telles que les interruptions sont prises en charge par un processeur

spécialisé. Un processeur peut donc, selon les cas, être totalement « inactif » alors qu'un autre sera, quand à lui, saturé de travail.



Le traitement asymétrique

Dans le cas du traitement symétrique SMP (*Symetrical Multi-Processing*) qui est la méthode la plus employée actuellement, on répartit également les traitements entre les processeurs. Le terme de symétrique indiquant qu'aucun processeur n'est prioritaire par rapport à un autre. Chaque processeur peut donc exécuter le noyau du système d'exploitation, une application ou la gestion des entrées-sorties. Un planificateur (*scheduler*) assure la distribution des tâches aux processeurs disponibles.



Le traitement symétrique

Enfin les terminologies suivantes peuvent également être employées :

- MIMD (*Multiple Instruction Multiple Data*) où les processeurs travaillent indépendamment les uns des autres et traitent « en parallèle » plusieurs flots de données et plusieurs flots d'instructions.

- SIMD (*Single Instruction Multiple Data*) où les processeurs exécutent en même temps la même instruction mais sur des données différentes. Il y a un seul flot d'instructions et plusieurs flots de données.

11.9 MESURE DES PERFORMANCES

La mesure des performances est un point délicat de comparaison que l'on est tenté d'établir entre les divers microprocesseurs. Un certain nombre de tests (*bench-marks*) sont ainsi régulièrement proposés par les constructeurs de microprocesseurs (les fondeurs) ou par des organismes divers. Quelques termes sont intéressants à connaître.

- Le MIPS (*Millions of Instructions Per Second*) est une des unités de mesure de la puissance des ordinateurs. Toutefois, cette mesure n'est pas très significative si l'on considère que le traitement d'instructions de branchement, de calcul sur des nombres flottants ou sur des entiers est sensiblement différent.

- Le SPECint (*Standard Performance Evaluation Corporation / Integer*) est une unité de mesure des performances des processeurs – très employée – basée sur une série de tests appropriés au traitement des entiers. La version SPECint92 est maintenant remplacée par la version SPECint95.

- le SPECfp (*Standard Performance Evaluation Corporation / Floating*) est également une unité très employée de mesure des performances des processeurs, basée sur une série de tests appropriés au traitement des entiers. La version SPECfp92 est maintenant remplacée par la version SPECfp95.

- Le Dhrystone est également une unité de mesure concernant les calculs sur les entiers.

Enfin de nombreux constructeurs ou organismes proposent leurs propres tests (bench) avec des unités plus ou moins « personnelles » telles que WinBench, Winstone96, CPU Mark$_{16}$, CPU Mark$_{32}$, …

Chapitre 12

Mémoires.
Généralités et mémoires centrales

La mémoire est un dispositif capable d'enregistrer des informations, de les conserver aussi longtemps que nécessaire ou que possible, puis de les restituer à la demande. Il existe deux grands types de mémoire dans un système informatique :

- la mémoire centrale, qui est très rapide, physiquement peu encombrante mais coûteuse, c'est la mémoire « de travail » de l'ordinateur,

- la mémoire de masse ou mémoire auxiliaire, qui est plus lente, assez encombrante physiquement, mais meilleur marché, c'est la mémoire de « sauvegarde » des informations.

12.1 GENERALITES SUR LES MEMOIRES

Il est possible de déterminer certains critères communs, caractérisant les mémoires.
C'est ainsi que nous pourrons distinguer :

- La capacité qui indique la quantité d'informations que la mémoire peut stocker. Cette capacité se mesure en bits, en octets, en multiple de l'octet, parfois en mots… Ainsi on rencontrera des mémoires de 640 Ko, de 450 Mo, de 1,2 Go, …

Une mémoire centrale de 512 K-mots de 16 bits équivaut à :

512 * 1024 mots.
512 * 1024 * 2 octets.
512 * 1024 * 2 * 8 bits.

LES TAILLES MÉMOIRE

Terminologie	Abréviation		Taille en octets
kilo-octet	Ko	soit 1024 octets	soit 2^{10} octets
méga-octet	Mo	soit 1024 Ko	soit 2^{20} octets
giga-octet	Go	soit 1024 Mo	soit 2^{30} octets
téra-octet	To	soit 1024 Go	soit 2^{40} octets
péta-octet	Po	soit 1024 To	soit 2^{50} octets
exa-octet	Eo	soit 1024 Po	soit 2^{60} octets

Ainsi 1024 Go = 1024 * 1024 * 1024 = 1 073 741 824 octets soit aussi 2 ^ 30 octets soit également 1 milliard d'octets qui équivaut aussi à 1 Téra-octet.

- La volatilité qui représente le laps de temps pendant lequel elle est capable de retenir des informations de manière fiable, notamment si l'on supprime l'alimentation électrique. Ainsi une mémoire sur disquette magnétique sera dite non volatile, car l'information, une fois enregistrée, sera conservée même si on retire la disquette du lecteur, alors que la mémoire de travail de l'ordinateur est très souvent volatile et s'efface si on coupe le courant (volontairement ou non).

- Le temps d'accès est un critère essentiel. Il correspond au temps nécessaire pour accéder en mémoire à l'information. Ainsi, une mémoire centrale – constituée de composants électroniques – sera généralement d'un accès très rapide (mesuré en nano-secondes – ns – ou milliardième de seconde soit 10^{-9}s) alors qu'une mémoire auxiliaire sur support magnétique telle qu'une disquette ou un disque dur aura, comparativement, un temps d'accès important (se mesurant en millisecondes – ms – 10^{-3}s). Le rapport entre une mémoire centrale rapide (soit 10 nano-secondes) et un disque dur rapide (disons 10 millisecondes) est de 1 000 000 soit, pour ramener cela à une échelle plus habituelle, équivalent à un accès à l'information en 1 s (mémoire centrale) contre un accès à l'information en à peu près 12 jours (mémoire de masse) ! Ce rapport de 1/1 000 000 est essentiel à retenir pour comprendre le rôle fondamental de la mémoire centrale et ses relations avec la mémoire de masse.

- Une autre caractéristique, tendant à remplacer le critère temps d'accès, est la bande passante qui correspond au produit de la largeur du bus de données par le fréquence de ce dernier. Ainsi, avec un bus de données de 16 bits et une fréquence de bus de 800 MHz on atteint une bande passante de 1.6 Go/s soit (800 * 10^6) * 16/8 = 1 600 000 000 octets/s. Plus la bande passante est élevée et plus la mémoire est performante.

- Le type d'accès est la façon dont on accède à une information. Peut-on accéder directement à l'information ? Ainsi, une mémoire sur bande magnétique nécessitera, pour arriver à une information déterminée, de faire défiler tout ce qui précède (accès dit séquentiel) ; alors que, dans une mémoire électronique, on pourra accéder directement à l'information recherchée (accès direct).

- L'encombrement physique. Il est intéressant – et c'est ce qui a permis l'essor de l'informatique – d'avoir des systèmes informatiques, et donc des mémoires, occupant le volume physique le plus petit possible.

- Le prix de revient de l'information mémorisée. En règle générale, les mémoires électroniques ont un coût de stockage au bit relativement élevé ce qui explique leur faible capacité, alors que les mémoires magnétiques (bandes, disquettes…) sont proportionnellement moins onéreuses.

L'idéal serait donc d'avoir dans une machine des constituants alliant tous les avantages. Cette solution est actuellement encore trop coûteuse, ce qui amène les constructeurs à faire des choix technologiques regroupant au mieux les diverses caractéristiques des mémoires. On peut donc classer les mémoires en deux grands types :

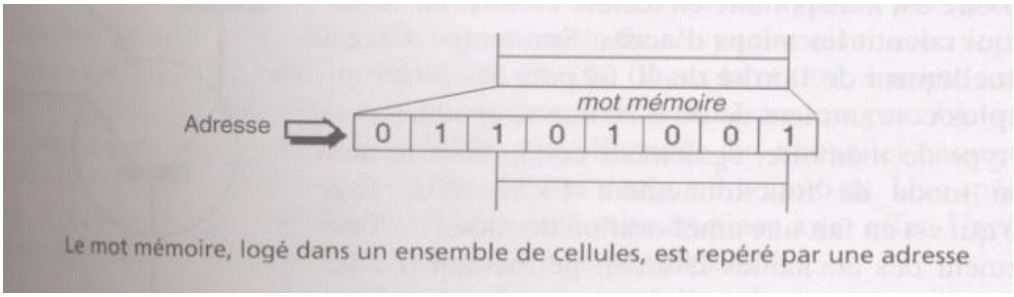
LES DEUX GRANDES FAMILLES DE MÉMOIRES

Mémoires centrales (électroniques)		Mémoires de masse (magnétiques ou optiques)	
Avantages	Inconvénients	Avantages	Inconvénients
très rapides	généralement volatiles	peu chères	assez volumineuses
peu volumineuses	chères	non volatiles	lentes
directement adressables	de faible capacité	de grande capacité	

Dans ce chapitre, nous traiterons principalement des mémoires centrales, classées en trois grandes catégories : les mémoires vives, mortes et spécialisées.

La mémoire centrale se présente comme un ensemble de « cases » ou cellules mémoire, destinées à stocker chacune un bit, un quartet, un octet, voire plus. On utilise le terme de mot mémoire pour désigner la quantité d'information contenue dans une cellule logique de la mémoire. Pourquoi « logique » ? simplement parce que, la plupart du temps, les composants physiques (la cellule élémentaire) à la base des mémoires centrales sont des transistors capables de stocker un bit et que le stockage physique d'un mot mémoire dont la taille est d'un octet nécessite huit transistors.

Afin de repérer dans l'ensemble des cellules logiques (cases mémoire) celle souhaitée (pour y lire ou écrire), cette cellule (le mot mémoire) est identifiée par son adresse.



Le mot mémoire, logé dans un ensemble de cellules, est repéré par une adresse

12.2 LES MEMOIRES VIVES

Les mémoires vives peuvent être lues ou écrites à volonté. Elles sont connues sous le terme générique de RAM (*Random Access Memory*) littéralement «mémoire à accès aléatoire » parce que l'on peut accéder à n'importe quel emplacement de la mémoire – et non pas parce qu'on y accède « au hasard » !

L'inconvénient de ces mémoires vives provient essentiellement de leur volatilité, la moindre micro-coupure de courant faisant disparaître l'information. En revanche, leur temps d'accès sont très rapides, elles ne consomment que peu d'énergie et peuvent être lues, effacées et réécrites à volonté. Elles servent donc surtout de mémoire de travail – mémoire centrale – et de mémoire cache. A l'intérieur de ces

mémoires vives, on peut distinguer deux catégories, dépendant du type de conception : les mémoires vives statiques et les mémoires vives dynamiques.

12.2.1 Les mémoires vives statiques SRAM

Dans la RAM statique ou SRAM (*Static Random Access Memory*), la cellule de base est constituée par une bascule de transistors. Si la tension est maintenue sans coupure, et selon le type de transistor employé, l'information peut se conserver jusqu'à une centaine d'heures sans dégradation. Ce type de mémoire est très rapide, entre 6 et 15 ns, mais assez chère car on a des difficultés à atteindre une bonne intégration. On l'utilisera donc essentiellement pour des mémoires de faible capacité comme dans la mémoire cache (voir chapitre sur la gestion de l'espace mémoire).

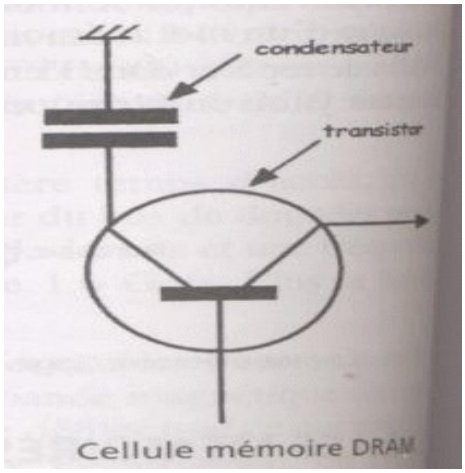
12.2.2 Les mémoires vives dynamiques DRAM

Dans la RAM dynamique ou DRAM (*Dynamic Random Access Memory*), la cellule de base est constituée non plus par une bascule à transistors, mais par la charge d'un « condensateur » (en réalité la capacité grille/source du transistor). Toutefois, comme tout condensateur présente des courants de fuite, peu à peu ce condensateur se décharge, ce qui risque de fausser les valeurs des informations contenues en mémoire. En fait, si un bit 1 est, par exemple, stocké dans la cellule, il « s'efface » peu à peu et risque de voir passer sa valeur à 0.

Pour y remédier, on procède régulièrement à la relecture et la réécriture des informations. C'est le rafraîchissement. Bien entendu, pendant le rafraîchissement, la mémoire est indisponible en lecture comme en écriture, ce qui ralentit les temps d'accès. Son temps d'accès est actuellement de l'ordre de 40 ns pour les plus rapides et plus couramment de 60 à 70 nano-secondes.

Ce type de mémoire, également connu sous le nom de son mode de fonctionnement FPM (*Fast Page Mode*) qui est en fait une amélioration du mode de fonctionnement des anciennes DRAM, permettant d'accéder à toute une rangée de cellules – le « page ». Ainsi, si la prochaine adresse mémoire recherchée concerne la méme page, le contrôleur mémoire n'a pas besoin de répéter la phase de recherche de cette rangée mais uniquement à indiquer la valeur de la colonne (voir dans ce même chapitre le paragraphe « organisation et brochage… »).

La DRAM classique et la RAM EDO sont actuellement en très forte régression au profit des SDRAM et DRDRAM.



12.2.3 Les autres mémoires vives

La mémoire est un composant qui évolue actuellement assez vite, en fonction des processeurs et des chipsets. Ainsi l'apparition récente des cartes mères à 100 MHz a pour effet de créer le besoin de mémoire encore plus rapide. Une assez large gamme de mémoires vives est donc présente sur le marché telles que EDO, BEDO, SDRAM, SDRAM II ou autre DRDRAM, …

a) Les mémoires EDO et BEDO

La mémoire EDO (*Extended Data Out*) – ou HPM DRAM (*Hyper Page Mode DRAM*) – est composée de la même manière que la traditionnel DRAM mais on a ajouté, aux entrées de rangées, des bascules qui autorisent le chargement d'une nouvelle adresse en mémoire sans avoir à attendre le signal de validation de la lecture. La période d'attente entre deux lectures (le cycle de latence) est ainsi minimisée et on peut donc la faire fonctionner à une fréquence de 50 MHz contre 25 MHz pour de la DRAM traditionnelle. Ces mémoires offrent des temps d'accès allant de 45 à 70 ns.

Le mode BEDO (*Burst* EDO) – non standardisé – permet d'atteindre 66 MHz mais il n'est supporté que par peu de chipsets et a quasiment disparu. La mémoire EDO qui a connu un bel essor est pourtant déjà détrônée par la SDRAM.
DRAM et RAM EDO existent aussi dans des versions plus performantes – mémoire ECC (*Error Checking Correction*) – intégrant des bits additionnels destinés à gérer les codes de correction d'erreurs. Elles nécessitent un BIOS et un *chipset* adaptés ce qui les rend plus onéreuses. Elles sont donc principalement utilisées sur les serveurs.

b) La mémoire SDRAM

La SDRAM (*Synchronous DRAM*), en forte évolution, échange ses données avec le processeur en se synchronisant avec lui ce qui permet d'éviter les états d'attente (*Wait State*). On atteint ainsi une fréquence de 500 MHz. Cette technologie de mémoire est très employée actuellement du fait des temps d'accès autorisés de l'ordre de 10 à 12 ns, allant de paire avec une baisse non négligeable des coûts.

Théoriquement la SDRAM à 10 ns est capable de se synchroniser avec un bus de données cadencé à 100 MHz – SDRAM PC100. Dans la réalité, compte tenu des temps de latence des composants, une réelle synchronisation n'est possible que sur des cartes mères supportant 75 à 82 MHz. Avec l'arrivée des nouvelles cartes mères
à 100 MHz il va donc falloir réduire les temps d'accès à 8 voire 6 ns. Une spécification – pseudo norme – SDRAM PC100 a été mise en place à cet effet. Une déclinaison 133 Mhz – SDRAM PC133 est également disponible.

c) La RDRAM

La RDRAM (*Rambus™ DRAM*) est une DRAM de conception originale développée par la société Rambus qui nécessite toutefois des contrôleurs mémoires spécifiques lui permettant d'être environ 10 fois plus rapide qu'une DRAM classique.

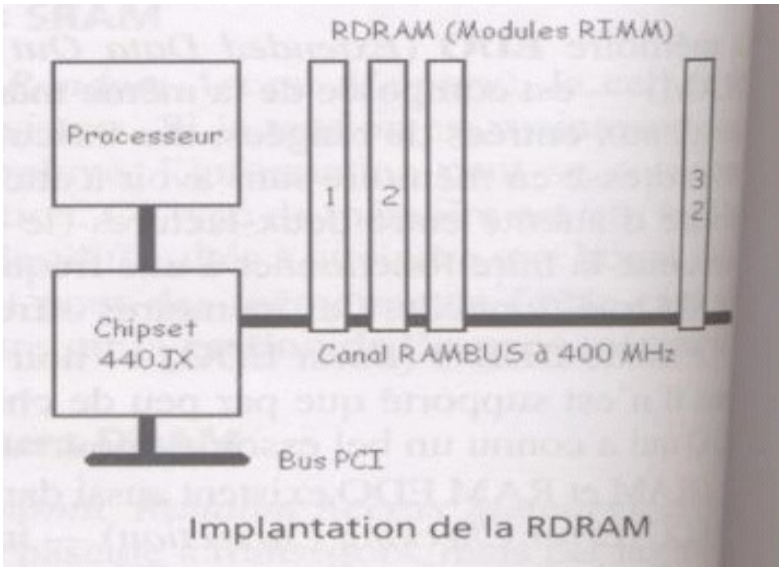
Cependant, du fait de l'usage de ces contrôleurs spécifiques, son emploi est limité actuellement à des ordinateurs de jeu ou quelques cartes graphiques.

d) Le futur des mémoires DRAM

Les fondeurs Samsung, Nec et Toshiba ont mis au point un nouveau standard dit DDR (*Double Data Rate*) qui double le taux de transfert des actuelles SDRAM. La SDRAM devient donc DDR SDRAM ou SDRAM II et offre – par le biais d'une architecture 64 bits travaillant à 100 MHz ou à 133 MHz (SDRAM PC133) des taux de transfert atteignant 1,6 Go/s. Elle est en effet capable de lire les données aussi bien sur le front montant que sur le front descendant du signal d'horloge ce qui permet de doubler son taux de transfert initial.

De son côté, Intel s'oriente vers la DRDRAM (*Direct Rambus™ DRAM*) qui permet d'atteindre actuellement 1,6 Go/s (6,4 Go/s prévus), supporte des fréquences de bus atteignant 133 MHz (800 MHz annoncés). Elle offre ainsi des temps d'accès inférieurs à 5 ns ! Toutefois, pour fonctionner à ces fréquences la RDRAM nécessite un *chipset* spécial (Intel 440 JX). Les barrettes employées sont des RIMM (*Rambus In-line Memory Module*) de 16 bits (18 bits si contrôle de parité) associées en 4 blocs et lues en série.

La SLDRAM (*SyncLink* DRAM) est le produit concurrent proposé par un groupe de fondeurs et de constructeurs qui ferait passer de 4 à 16 les bancs mémoires intégrés dans les puces mémoires.



Implantation de la RDRAM

e) Les mémoires VRAM, WRAM, SGRAM

La VRAM (*Video* RAM) est en fait de la DRAM réservée à l'affichage que l'on rencontre généralement sur les cartes graphiques chargées de piloter l'affichage du moniteur. La VRAM diffère de la DRAM en ce sens qu'elle comporte deux ports, l'un destiné à la lecture des données, en vue de leur affichage et du rafraîchissement de l'image sur le moniteur, et l'autre destiné à l'entrée des données à afficher, en provenance du microprocesseur ou du contrôleur graphique. Les deux ports peuvent donc travailler simultanément ce qui améliore les performances.

La WRAM (*Windows* RAM) est très similaire à la VRAM mais utilise les caractéristiques de la mémoire EDO. La VRAM possède un taux de transfert d'environ 625 Mo/s contre 960 Mo/s pour la WRAM.

La SGRAM (*Synchronous Graphics* RAM) est une extension de la SDRAM également destinée à équiper les cartes graphiques. Elles permet d'accéder aux données aussi bien par blocs qu'individuellement ce qui réduit le nombre d'accès en lecture écriture et améliore les performances.

f) Les autres mémoires

Passer de la DRAM FPM à la RAM EDO a permis d'accroître les performances d'environ 50 %, le passage de l'EDO à la SDRAM permet d'augmenter encore ces performances de 50 %. D'ores et déjà les fabricants préparent le futur immédiat qui se présente sous la forme des SDRAM II (DDR), DRDRAM et SLDRAM.

Les capacités des mémoires RAM évoluent de manière spectaculaire depuis quelques années, ainsi Samsung est en train de développer un circuit mémoire de 1 Go en gravure 0,18 µ dont la sortie est prévue aux alentour de l'an 2000. Les PC du futur devraient donc pouvoir disposer d'une mémoire de plusieurs Go – autant sinon plus que la capacité actuelle d'un disque dur !

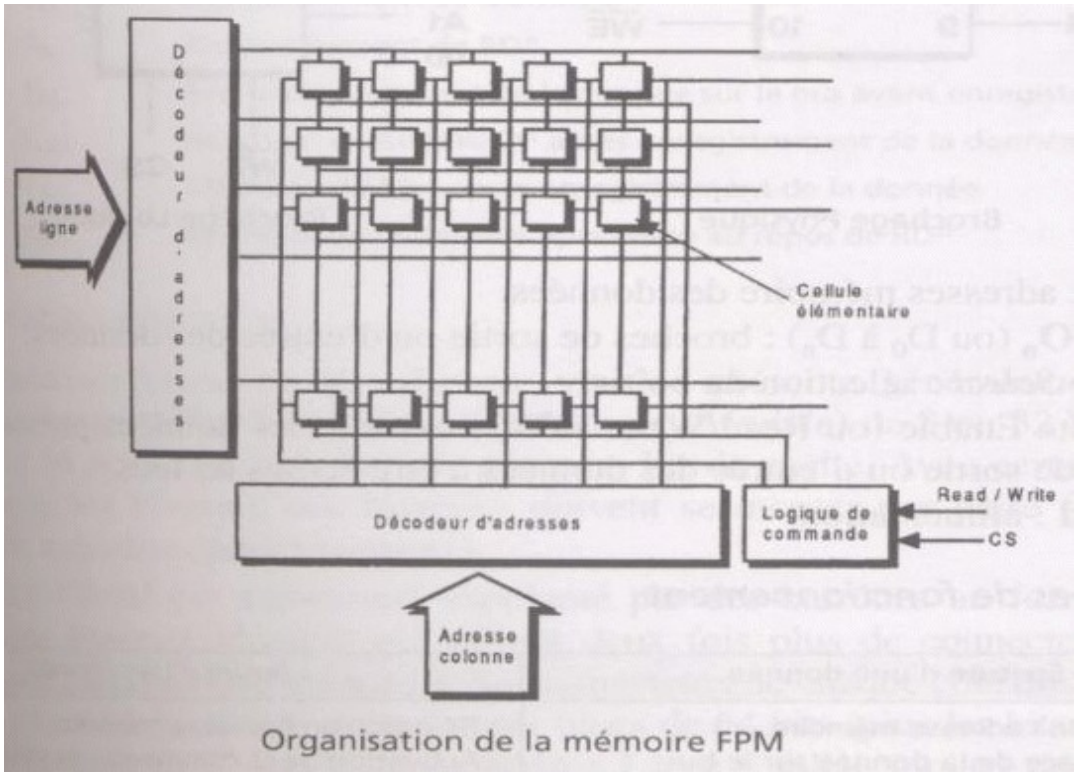
ÉVOLUTION DE LA RAM

Technologie	Fréquence du bus de données	Débit (bande passante)	Taille du bus mémoire
SDRAM	Jusqu'à 100 MHz	0.8 Go/s	64 bits
SLDRAM	Jusqu'à 800 MHz	400 Mo/s puis évolution vers 800 Mo/s 1.2 Go/s, 1.6 Go/s et 3.2 Go/s	64 bits
RDRAM	Jusqu'à 800 MHz	1.6 Go/s puis évolution vers 6.4 Go/s	128 bits

g) Organisation et brochage des mémoires vives

> Organisation

La mémoire est organisée en blocs de un ou plusieurs tableaux de bits de l lignes et c colonnes dont l'accès est piloté par un contrôleur qui sert d'interface entre le microprocesseur et la mémoire.



Organisation de la mémoire FPM

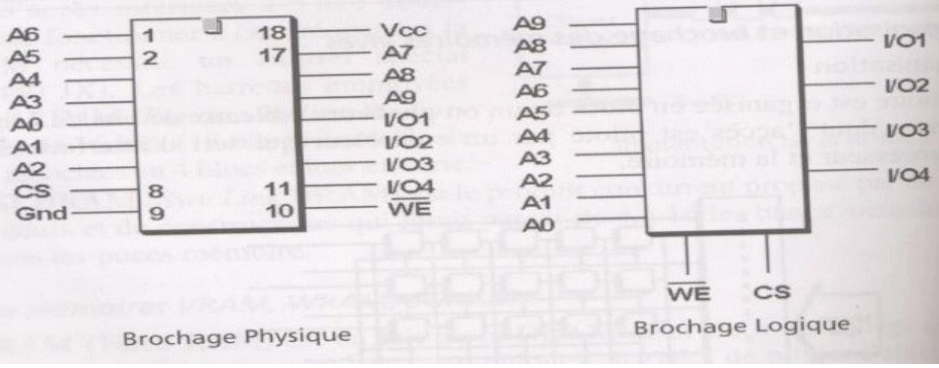
Dans les années 1980, a été mis au point le mode FPM (*Fast Page Mode*) qui permet de conserver l'adresse ligne (ou page) et de lire les bits en incrémentant la seule valeur de la colonne ce qui permet de gagner du temps sur l'adressage ligne. Ce mode est utilisé sur tous les micro-ordinateurs équipés de la traditionnelle DRAM.

En 1995, est apparu le mode EDO ou HFPM (*Hyper FPM*) qui, en ajoutant des bascules D sur les entrées d'adresses lignes, permet un gain de rapidité sur la lecture d'une ligne, en autorisant le chargement d'une nouvelle adresse en mémoire sans avoir à attendre le signal de validation de la lecture. Enfin les SDRAM ajoutent au brochage une entrée d'horloge permettant de se synchroniser avec le processeur.

TABLEAU DES CARACTÉRISTIQUES DES MÉMOIRES

	FPM (DRAM)	EDO (DRAM)	BEDO (DRAM)	SDRAM
Spécifications	–5, –6, –7	–5, –6, –7	–5, –6, –7	–10, –12, –15
Temps d'accès(ns)	50, 60, 70	50, 60, 70	52, 60, 70	50, 60, 70
Temps de cycle (ns)	30, 35, 40	20, 25, 30	15, 16.6, 20	10, 12, 15
Fréquence max. (MHz)	33, 28, 25	50, 40, 33	66, 60, 50	100, 80, 66

➤ Brochage

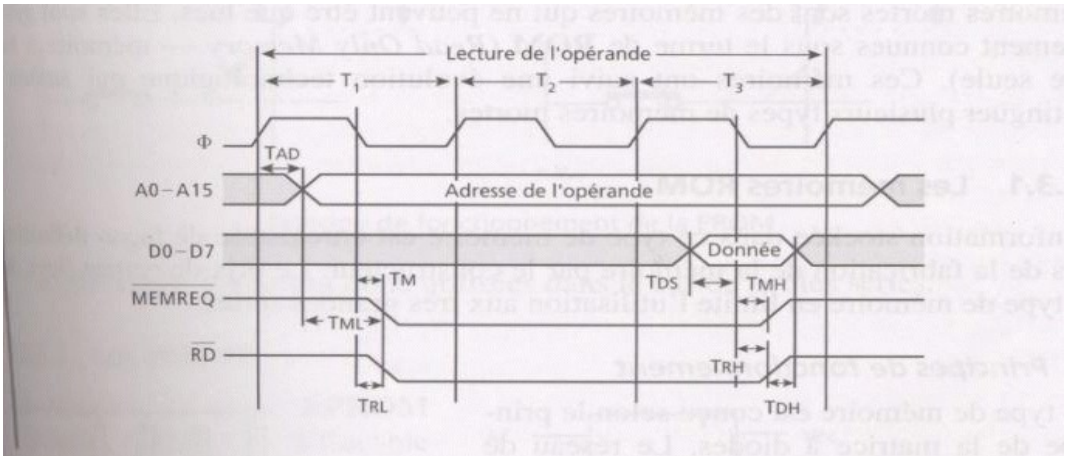


- A_0 à A_n : adresses mémoire des données.
- I/O_1 à I/O_n (ou D_0 à D_n) : broches de sortie ou d'entrée des données.
- CS *Chip Select* : sélection du boîtier.
- WE Write Enable (ou Read/Write R/W) : autorise les données présentes sur les broches de sortie ou d'entrée des données à être écrites ou lues.
- Vcc Gnd : alimentation.

h) *Principes de fonctionnement*

Écriture d'une donnée	Lecture d'une donnée
– Sélection de l'adresse mémoire. – Mise en place de la donnée sur le bus de données. – Sélection du circuit par activation de la broche CS (*Chip Select*). – Activation de la commande d'écriture (Write ou R/W).	– Sélection de l'adresse mémoire. – Activation de la commande de sélection du boîtier (CS). – Activation de la commande de lecture (*Read* ou R/W). – Lecture de l'information sur le bus de données.

On peut représenter le fonctionnement de la mémoire sous la forme d'un chronogramme tel que celui ci-après. Dans cet exemple le chronogramme est relatif à la lecture d'une donnée.



Symboles	Signification des temps
T_{AD}	Positionnement de l'adresse sur le bus
T_{ML}	Stabilisation de l'adresse
T_M	Positionnement de MEMREQ^
T_{RL}	Positionnement de RD^
T_{DS}	Pré-positionnement de la donnée sur le bus avant enregistrement
T_{MH}	Maintien de MEMREQ^ après enregistrement de la donnée
T_{RH}	Maintien de RD^ après enregistrement de la donnée
T_{DH}	Maintien de la donnée après mise au repos de RD^

i) Présentation physique

Dans les micro-ordinateurs, la mémoire vive se présente généralement sous la forme de barrettes SIMM (*Single Inline Memory Module*) de 8 ou 32 bits ou bien encore 9 ou 36 bits si la barrette doit gérer un bit de parité. Avec certains processeurs tels que les Pentium ces barrettes doivent se montrer par paire formant des « bancs » de mémoire (*banks memory*).

Le format SIMM est maintenant supplanté par des barrettes au format DIMM (*Dual In line Memory Module*) qui offrent deux fois plus de connecteurs que les SIMM en présentant en fait une rangée de connecteurs de chaque côté du module. On peut donc gérer des accès à la mémoire par blocs de 64 bits (plus les bits de contrôle on arrive à un total de 72 bits à lire ou écrire). Là où il faillait monter deux barrettes SIMM, une seule barrette DIMM suffit donc. C'est le format utilisé avec les SDRAM.

Ce format doit être remplacé par un format RIMM (*Rambus In line Memory Module*) où la lecture des bits ne se ferait plus en parallèle comme actuellement mais en série.

12.3 LES MEMOIRES MORTES

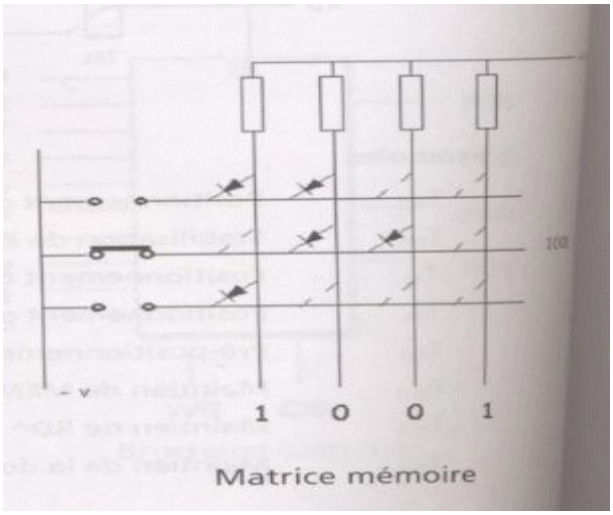
En opposition aux mémoires vives qui sont des mémoires à lecture écriture, les mémoires mortes sont des mémoires qui ne peuvent être que lues. Elles sont généralement connues sous le terme de ROM (*Read Only Memory*) – mémoire à lecture seule). Ces mémoires ont suivi une évolution technologique qui amène à distinguer plusieurs types de mémoires mortes.

12.3.1 Les mémoires ROM

L'information stockée dans ce type de mémoire est enregistrée de façon définitive lors de la fabrication de la mémoire par le constructeur. Le prix de revient élevé de ce type de mémoire en limite l'utilisation aux très grandes séries.

a) Principes de fonctionnement

Ce type de mémoire est conçu selon le principe de la matrice à diodes. Le réseau de diodes est constitué en fonction des mots mémoires que l'on désire stocker aux différentes adresses.



Matrice mémoire

Ici c'est le mot mémoire numéro 2 (adresse 2) qui a été sélectionné par fermeture du contact correspondant à ce mot (dans la réalité il s'agit d'un décodeur). Dans la colonne la plus à gauche de cette ligne d'adresse (bit de poids fort du mot) il n'y a pas de diode, ce qui ne permet pas au courant de s'écouler du +v vers la masse –v, par la ligne de mot 2, on peut donc détecter un 1 logique sur cette colonne.

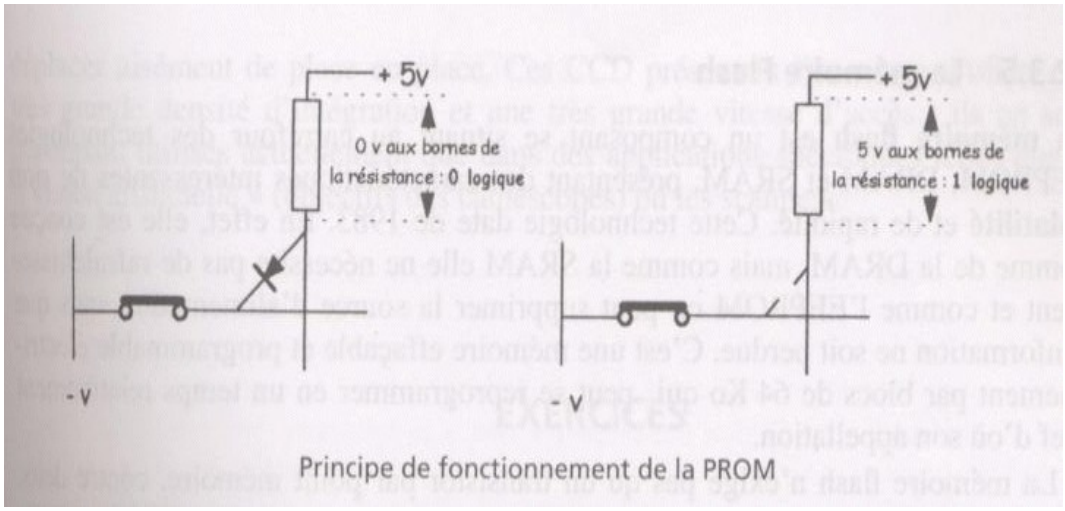
Sur la colonne suivante, le diode a été prévue à la conception, permettant au courant de s'écouler vers la masse, l'information recueillie sur cette colonne est donc un zéro logique. Compte tenu de la difficulté de conception et, partant, du prix de revient de telles mémoires, il a paru intéressant de fabriquer des mémoires mortes qui pourraient être programmées facilement, à la volonté de l'utilisateur.

12.3.2 Les mémoires PROM

La mémoire PROM (*Programmable ROM*) est une ROM dont l'écriture ne sera plus réalisée à la fabrication mais faite par l'utilisateur au moyen d'une machine appelée programmeur de PROM.

Au départ, on dispose donc d'une matrice complète de diodes. Le principe de la programmation de telles

PROM résidant souvent dans la fusion ou la non fusion d'un fusible (la diode), le fusible une fois coupé, il n'est bien évidemment plus possible de reprogrammer la PROM. Ces mémoires sont également connues sous les termes de PROM à fusibles.



Principe de fonctionnement de la PROM

De telles mémoires seront donc utilisées dans le cas de petites séries.

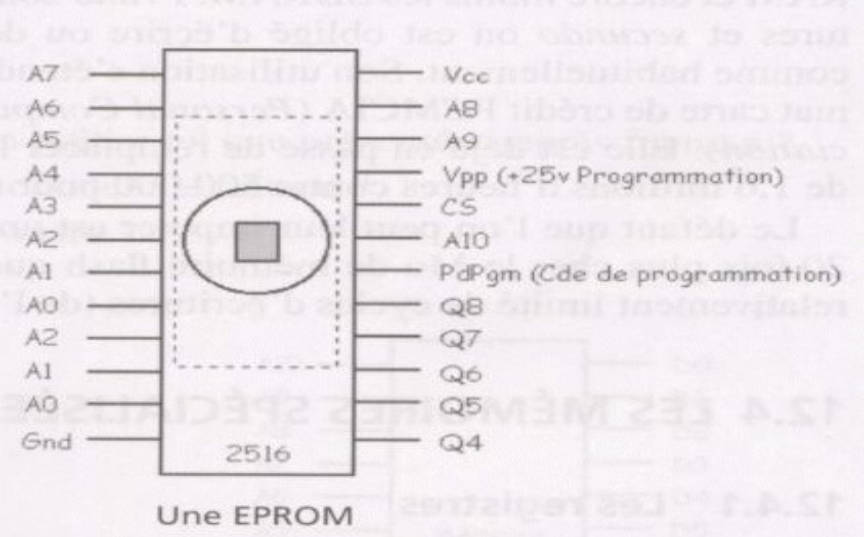
12.3.3 Les EPROM

La mémoire de type EPROM (*Erasable PROM* – Effaçable PROM), que l'on désigne aussi parfois sous le terme REPROM (*REprogrammable PRO*M) présente l'avantage de pouvoir être effacée une fois écrite.

L'effacement de l'EPROM se fait au moyen d'un effaceur d'EPROM qui n'est rien d'autre qu'un tube à rayons ultraviolets.

C'est pourquoi les EPROM se distinguent des autres mémoires par la présence sur leur face supérieure d'une petite fenêtre de quartz, souvent obturée par un adhésif de manière à ne pas être exposée aux ultraviolets naturels (soleil, néon, …) qui s'infiltreraient par les interstices du boîtier de l'unité centrale.

Ces mémoires sont couramment employées pour de petites séries et pour la mise au point des mémoires PROM.



Une EPROM

12.3.4 Les EEPROM

Les EPROM présentaient l'inconvénient de nécessiter une source d'ultraviolets pour être effacées, ce qui obligeait donc de les enlever de leur support – opération toujours délicate ; les constructeurs ont donc développé des EEPROM (*Electrically EPROM*) effaçables électriquement, octet par octet, que l'on trouve aussi sous l'appellation d'EAROM (*Electrically Alterable ROM*). Ces mémoires présentent l'avantage d'être non volatiles et cependant facilement réutilisables, toutefois leur prix de revient et leur capacité, limitée à 2 Mo, n'en autorisant pas encore une application courante.

12.3.5 La mémoire Flash

La mémoire flash est un composant se situant au carrefour des technologies EEPROM, DRAM et SRAM, présentant des caractéristiques intéressantes de non volatilité et de rapidité.

Cette technologie date de 1983. En effet, elle est conçue comme de la DRAM, mais comme la SRAM elle ne nécessite pas de rafraîchissement et comme l'EEPROM on peut supprimer la source d'alimentation sans que l'information ne soit perdue. C'est une mémoire effaçable et programmable électriquement par blocs de 64 Ko qui peut se reprogrammer en un temps relativement bref d'où son appellation.

La mémoire flash n'exige pas qu'un transistor par point mémoire, contre deux aux EEPROM classiques, ce qui permet d'en augmenter la capacité (40 Mo actuellement et 512 Mo prévus pour l'an 2000) et, de plus, elle est plus fiable et plus rapide. Elle présente deux inconvénients majeurs qui font qu'elle ne peut remplacer le RAM et encore moins les SDRAM. *Primo* son cycle de vie est limité à 100 000 écritures et *secundo* on est obligé d'écrire ou de lire par blocs et non plus bit à bit comme habituellement. Son utilisation s'étend actuellement grâce aux cartes au format carte de crédit PCMCIA (*Personal Computer Memory Card International Association*). Elle est déjà en passe de remplacer les disques durs des portables (MTBF de 1,6 millions d'heures contre 500 000 pour un disque dur).

Le défaut que l'on peut leur imputer est un prix de revient encore élevé (de 10 à 20 fois plus cher le Mo de mémoire flash que le Mo de disque dur) et un nombre relativement limité de cycles d'écriture (de l'ordre de 100 000 cycles).

12.4 LES MEMOIRES SPECIALISEES

12.4.1 Les registres

Les registres sont des dispositifs électroniques constitués de bascules de transistors qui servent au stockage provisoire d'informations dans l'unité centrale, ce qui permet un accès plus rapide à ces informations. Chaque système informatique comporte ainsi un certain nombre de registres plus ou moins spécialisés (compteur ordinal, accumulateur, registre d'état, …). Selon la technologie employée, l'accès aux

informations contenues dans de telles mémoires peut être très rapide et on constituera ainsi des mémoires tampon – mémoires caches – qui serviront à contenir les informations les plus utilisées où celles en attente de traitement, évitant ainsi des accès plus lents aux mémoires centrales classiques ou, pire, aux mémoires auxiliaires (voir à ce sujet le chapitre sur la gestion de la mémoire).

a) Les registres CCD

Les registres CCD (*Charge Coupled Device*) ou mémoires à propagation, sont des dispositifs mémoire électroniques dont l'utilisation se développe depuis 1970. Le principe de stockage de l'information binaire repose sur la présence ou non de charges électrostatiques (puis de charges) dans un substrat où elles peuvent se déplacer aisément de place en place. Ces CCD présentent l'avantage d'offrir une très grande densité d'intégration et une très grande vitesse d'accès ; ils ne sont cependant utilisés actuellement que dans des applications spécifiques telles que la « vision artificielle » (objectifs des caméscopes) ou les scanners.

EXERCICES

12.1 Quelle est la taille du mot mémoire, et combien peut-on loger de mots mémoire (capacité mémoire ou taille mémoire du boîtier), dans un boîtier tel que représenté ci-après figure b ?
De quel type de mémoire s'agit il ?

12.2 On repère sur une carte mère un boîtier tel que présenté ci-après figure a ?
De quel type de mémoire s'agit-il et comment le sait-on ?
À quoi sert cette mémoire sur la carte mère ?

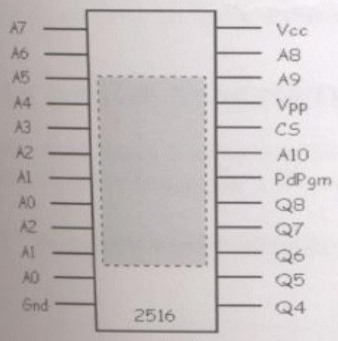


Figure a

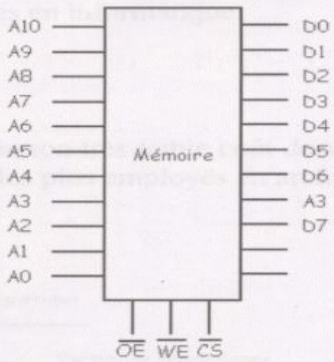


Figure b

12.1 La taille du mot mémoire se détermine facilement en observant le nombre de broches permettant les entrées ou les sorties de **données**, (*Data*) et donc repérées par la lettre D : ici 8 broches (notées D0 à D7), donc il s'agit de mots de 8 bits.

La capacité mémoire se calcule simplement en observant le nombre de broches destinées à recevoir les adresses des mots mémoire (*Address*) repérées par la lettre A. Ce boîtier présente 11 broches d'adresses (repérées de A0 à A10) ce qui permet de déterminer qu'il dispose de 2^{11} adresses différentes soit une capacité d'adressage de 2 Ko.

Enfin, on reconnaît qu'il s'agit d'une **mémoire vive**, à la présence d'une broche WE (*Write Enable*) dont on n'aurait que faire dans un boîtier correspondant à une mémoire morte qui ne pourrait être que lue.

12.2 Il est assez facile de repérer ici une mémoire de type EPROM car la face supérieure est recouverte d'un petit adhésif gris destiné à protéger la fenêtre d'effacement contre les ultra-violets auxquels il pourrait être soumis, soit lors de sa manipulation, soit par infiltration dans la machine ou lors d'une ouverture du capot… Éventuellement on peut passer le doigt à la surface du boîtier et on ressentira en arrière plan la fenêtre d'effacement.

Sur une carte mère ce type de boîtier contient en général le BIOS de la machine (moins vrai sur les nouvelles machines ou le BIOS est en RAM Flash la plupart du temps). Il peut contenir également les programmes nécessaires au tests de mise en route de la machine.

Chapitre 13

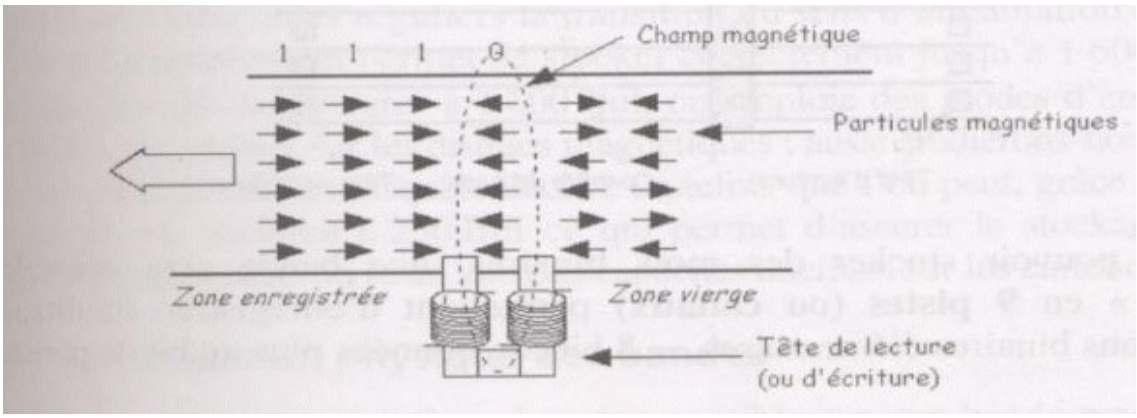
Bandes et cartouches magnétiques

Les mémoires de masse ou mémoires auxiliaires présentent l'avantage d'une grande capacité de stockage au détriment d'un temps d'accès lent. Compte tenu de leur grande capacité et d'un prix de revient bas, elles jouent, malgré ce temps d'accès lent, un rôle important dans les sauvegardes en informatique.

13.1 LA BANDE MAGNETIQUE

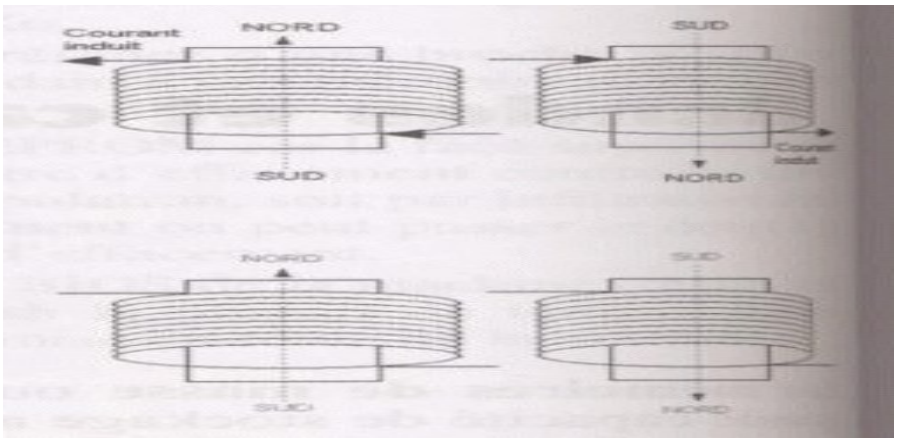
La bande magnétique traditionnelle, compte tenu de son très faible coût de stockage de l'information, a longtemps été un des supports les plus employés en archivage.

13.1.1 Principes technologiques



La bande traditionnelle utilisée en informatique se présente sous la forme d'un ruban de polyester d'environ
1,5 µ d'épaisseur. Ses dimensions sont en règle générale d'un demi pouce (*inch*) de large (12,7 mm) pour une longueur variant entre 183, 366 ou 732 m. Le ruban de polyester est recouvert de particules métalliques microscopiques qui agissent comme autant de petits aimants.

Si on soumet un barreau métallique au passage d'un courant continu dans une bobine l'entourant, il va s'aimanter dans un sens tel qu'il détermine à ses extrémités un pôle nord et un pôle sud.

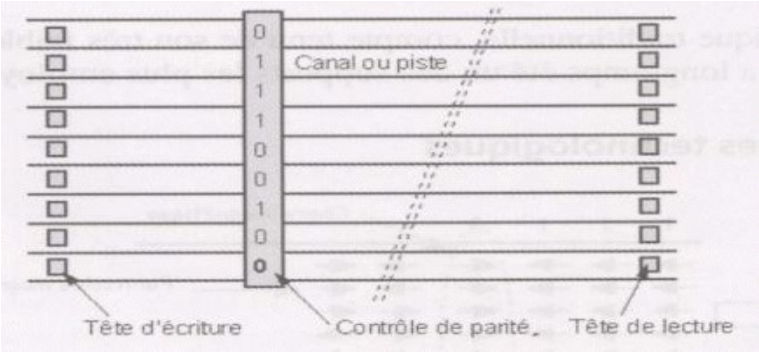


Si on soumet ce barreau métallique à un courant circulant en sens inverse dans la bobine, le sens d'aimantation s'inverse.

Les particules d'oxydes qui, à la construction, sont en général orientées dans le même sens, vont donc être soumises à un champ magnétique d'un sens ou d'un autre selon que l'on souhaite coder des 1 ou des 0 logiques. Les propriétés du magnétisme sont telles qu'une particule aimantée conservera son aimantation pendant un temps important, qui dépend de la qualité de l'oxyde, appelé rémanence.

Si l'on soumet un barreau métallique au champ magnétique crée par un électroaimant, ce barreau s'aimante. Inversement, si l'on approche un aimant d'une bobine, on va créer dans la bobine un courant induit, dont le sens dépend du sens du champ magnétique auquel il est soumis.

La lecture d'une bande magnétique se fera donc en faisant défiler, à vitesse constante, la bande sous la tête de lecture constituée d'un noyau métallique et d'une bobine. Suivant le sens d'aimantation des particules se trouvant sous la tête de lecture, on va créer un courant induit dont le sens va nous indiquer s'il s'agit de la codification d'un 0 ou d'un 1 logique.

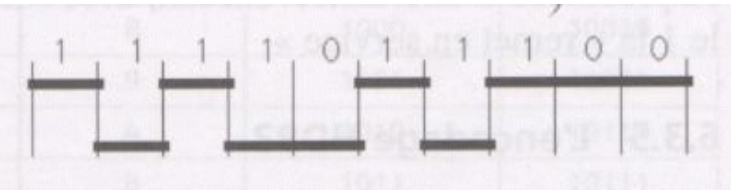


Afin de pouvoir stocker des mots binaires, une bande sera généralement « découpée » en 9 pistes (ou canaux) permettant d'enregistrer simultanément 9 informations binaires élémentaires – 8 bits de données plus un bit de parité.

13.1.2 Les divers modes d'enregistrement

Les principes de base du magnétisme ne sont pas utilisés tels pour coder des informations ; en fait, il existe plusieurs méthodes pour enregistrer des informations sur la bande. Ces méthodes ont évolué avec le développement de la technologie dans le but de stocker le maximum d'informations dans le minimum de place et ceci avec le maximum de fiabilité. Les plus classiques de ces modes d'enregistrements – que certains auteurs appellent aussi modes de codage – sont le mode NRZI et le mode PE.

a) Le mode NRZI (No Return to Zero Inversed)

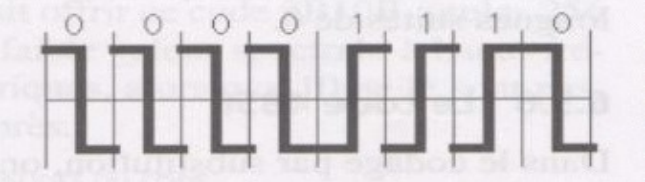


Dans ce mode d'enregistrement, que nous avons déjà présenté dans le chapitre traitant de l'encodage, la valeur du bit codé n'est pas associée à une polarisation donnée des particules.

L'enregistrement d'un bit 1 provoque l'aimantation dans un sens ou dans l'autre des particules d'oxyde ; l'enregistrement d'un bit 0 ne provoque pas de changement du sens d'aimantation, qui est maintenu. La lecture de l'enregistrement se fait en testant à intervalles réguliers le sens d'aimantation et en comparant le sens détecté à celui précédemment observé.

Si un changement de sens est détecté, l'information lue correspond à un 1 logique ; s'il n'y a pas de changement, l'information que l'on vient de lire est un 0 logique. Ce mode d'enregistrement est peu à peu délaissé car il ne permet pas de stocker plus de 800 BpI (*Byte per Inch* ou octet par pouce => 2,54 cm). Ceci est dû au fait que pour stocker un bit on doit disposer d'un intervalle de temps suffisamment « grand » pour que la tête de lecture ait le temps de détecter un sens de magnétisation ; il est donc préférable d'utiliser des techniques où le bit est repéré par une transition dont la durée est nettement inférieure.

b) Le mode PE (Phase Encoding)



Le mode PE utilise l'encodage Manchester qui associe à chaque valeur du bit une transition du sens d'aimantation du film magnétisable (le nombre de flux de transition se mesure en fpi « *flux change per inch* ») une transition de sens inverse représente un 1 logique. La lecture se fait en testant à intervalles réguliers la transition du sens d'aimantation de la bande. Ce mode d'enregistrement permet de stocker correctement jusqu'à 1 600 BpI.

Pour des densités supérieures à 1 600 BpI, on emploie des modes d'enregistrement identiques à ceux utilisés sur les disques magnétiques ; aussi étudierons-nous ces modes quand nous aborderons les disques. Sachez toutefois que l'on peut, grâce à ces modes d'enregistrement, atteindre 6 250 BpI ce qui permet d'assurer le stockage d'environ 180 Mo de données mais on reste loin des capacités atteintes sur les cartouches.

13.1.3 Organisation physique des bandes

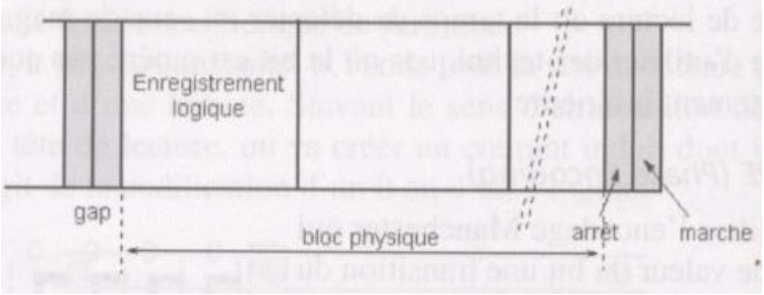
La lecture caractère par caractère n'est pas possible sur une bande magnétique car celui-ci n'occupe que quelques centièmes de millimètre. On est donc obligé de lire un ensemble suffisant de caractères à la fois (de quelques centaines à quelques milliers).

De plus, la qualité de la lecture ou de l'écriture exige un déplacement régulier de la bande devant les têtes, ce qui conduit également à prévoir la lecture ou l'écriture d'ensembles de caractères. Ces ensembles portent le nom de blocs physiques. Afin d'assurer l'arrêt de la bande après lecture d'un bloc, ou afin de permettre à la bande de retrouver sa vitesse de défilement lors d'un redémarrage, les blocs sont séparés entre eux par des « espaces » inter-enregistrement ou *gap* (un fossé en anglais) de 1,5 à 2 cm. Lors de la lecture de la bande, celle-ci prend de la vitesse et atteint sa vitesse de défilement ; un bloc est alors lu en une seule fois et son contenu transféré en mémoire dans une zone spécialisée dite *buffer* d'entrée/sorties ; puis la bande va s'arrêter sur un *gap* et éventuellement redémarrer pour la lecture d'un autre bloc physique.

13.1.4 Organisation logique des bandes

Un bloc peut contenir un article, c'est-à-dire l'ensemble des informations relatives à une même entité. Selon la taille de l'article, il peut être possible d'en regrouper plusieurs dans un même bloc.

Supposons une bande comportant des blocs stockant 5 000 caractères et un article du fichier d'une taille de 800 caractères ; il est aisé à comprendre qu'au lieu de mettre un seul article dans un bloc il est préférable d'en mettre le maximum soit ici 6 articles.



On distingue donc, à coté des enregistrements physiques ci-dessus, des enregistrements logiques – articles du fichier.

Le nombre d'enregistrement logique qu'il est possible de faire tenir dans un enregistrement physique constitue le facteur de blocage, ou facteur de groupage.

Il est intéressant d'utiliser un facteur de groupage important car plus le nombre des espaces arrêt-marche (*gap*), séparant les blocs, est réduit et plus la place destinée aux informations sera importante. Ce choix, déterminé par le programmeur ou par le système, définit ainsi la longueur de la bande nécessaire pour enregistrer un fichier, influant également sur le temps d'écriture ou de lecture.

13.1.5 Les contrôles

Pour éviter les erreurs, toujours possibles lors d'opérations de lecture ou d'écriture, il est vital d'adjoindre aux informations stockées sur la bande des informations de contrôle. Nous avons vu que, pour chaque octet, par exemple, on pouvait enregistrer un bit additionnel de parité – parité verticale ou VRC (*Vertical Redundancy Check*).

Mais ce simple contrôle de parité est insuffisant ainsi que nous l'avons déjà démontré. On est alors amené à utiliser des contrôles supplémentaires LRC (*Longitudinal Redundancy Check*) ou, plus souvent, à employer un code du type code de Hamming. D'autres techniques existent également, tel le codage GCR, dépassant le cadre de ce cours.

a) Début et fin de bande

Avant de pouvoir utiliser une bande magnétique, il faut la mettre en place, « monter un volume », sur un appareil appelé dérouleur. On aura donc une « amorce » de début de bande et une amorce de fin sur lesquelles il n'est pas possible d'écrire (comme sur une cassette de magnétophone). Afin de repérer à partir d'où on peut lire ou écrire sur la bande et à partir d'où ce n'est plus possible, on colle sur la bande un adhésif métallisé appelé *sticker* (*to stick* : coller). En passant devant des cellules photoélectriques ces *stickers* permettront de démarrer ou d'arrêter la lecture ou l'écriture de la bande.

13.2 LES CARTOUCHES MAGNETIQUES

Les bandes traditionnelles, volumineuses et peu aisées à mettre en œuvre, ont assez tôt été concurrencées par les cassettes et les cartouches magnétiques. On rencontre donc de nombreux types de cartouches, cassettes ou mini cartouches. Schématiquement on peut les classer en deux familles, selon leur procédé d'enregistrement :

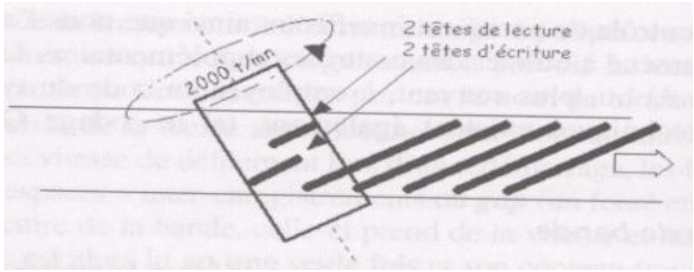
- les hélicoïdales,
- les linéaires ou longitudinales.

Issues des techniques utilisées essentiellement en vidéo, la technique hélicoïdale utilise une tête de lecture rotative qui inscrits les données de bas en haut. Cartouches DAT et EXABYTE utilisent ces techniques. L'autre technique, issue de la traditionnelle bande magnétique consiste à enregistrer l'information sur des pistes longitudinales. Les cartouches QIC, DLT, MLR ou LTO utilisent cette technologie.

13.2.1 Technologie hélicoïdales

Elles utilisent un principe d'enregistrement hélicoïdal (*Helical Scan*). A l'inverse d'une bande classique défilant devant les têtes qui, portées par un tambour, tournent à environ 2 000 tours/minute, tandis que la bande avance à une vitesse d'un peu plus d'un quart de pouce par seconde.

Le déplacement relatif de la bande est ainsi d'environ 3 mètres seconde et on évite les problèmes de tensions ou d'accélérations brutales sur la bande. Le tambour portant les quatre têtes (2 en lecture et 2 en écriture) étant incliné, les données sont enregistrées sur des « bouts » de piste d'environ 23 mm placées dans le travers de la bande.



La cassette DAT (*Digital Audio Tape*) s'inspire des techniques audio et utilise une bande magnétique de 4 mm de largeur sur laquelle on enregistre les données en appliquant l'un des deux formats d'enregistrement DDS ou DataDAT.

Le format DDS (*Digital Data Storage*), développé par HP, Sony et Seagate, s'est affirmé comme standard (DDS-2) et a évolué avec la version actuelle DDS-3 qui permet de sauvegarder 12 Go de données non compressées avec un taux de transfert de l'ordre de 1 Mo/s et un temps moyen d'accès de 80 s.

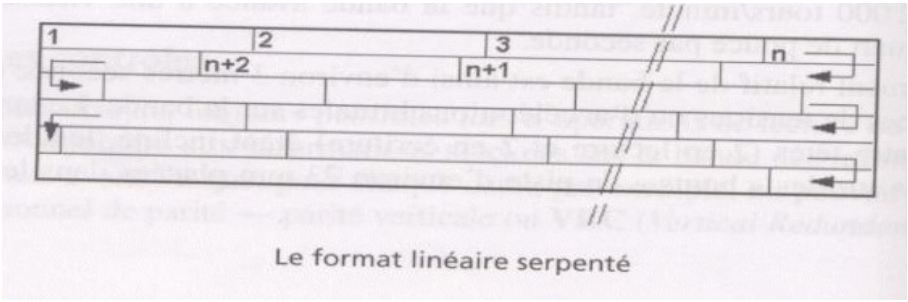
EXABYTE utilise cette technologie sur ses cartouches 8 mm. La cartouche Exabyte permet ainsi de stocker actuellement 20 Go sur une bande de 160 mètres avec un débit de 3 Mo/s. Le prix de revient se situe aux environs de 10 francs le Go. Une version « mammouth » (*Mammoth*) est actuellement proposée permettant de sauvegarder 40 Go avec compression – taux de transfert de 3 Mo/s – et la version 2 autorise 60 Go avec un débit de 12 Mo/s.

Sony propose une solution baptisé AIT (*Advanced Intelligent Tape*) actuellement en version AIT-2 qui offre une sauvegarde de 50 Go non compressés, avec un taux de transfert de 6 Mo/s. officiellement Sony annonce un doublement de ces performances tous les 2 ans. AIT-3 devrait donc voir le jour en 2000 avec une sauvegarde de 100 Mo et un taux de transfert de 12 Mo/s.

On trouve également des cassettes à bande 19 mm qui malgré une capacité de 98 à 165 Go ne sont utilisées que sur quelques systèmes particuliers.

13.2.2 Les technologie linéaires

Contrairement à la bande magnétique, sur laquelle les informations sont séparées par des gaps, la cartouche est enregistrée comme une succession de blocs sans espaces inter blocs, selon une technique dite linéaire serpentée, à haute vitesse et en plusieurs passages. C'est le *streaming-mode*, et les lecteurs de telles cartouches sont dit streamers. S'il y a un ralentissement ou une absence temporaire de sauvegarde, la bande est ralentie puis repositionnée à la fin du dernier enregistrement.

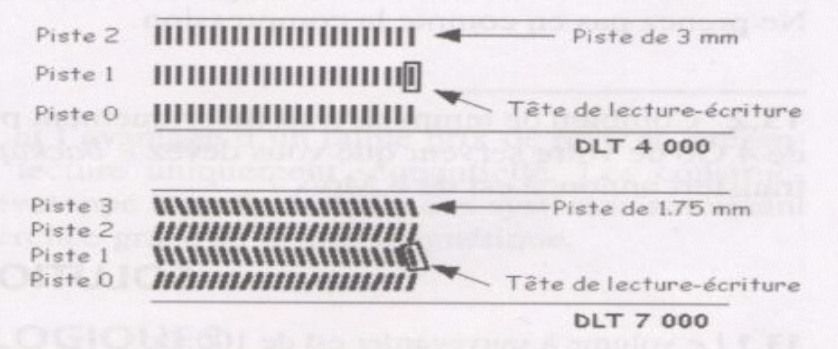


Le format linéaire serpenté

La cartouche 1/4" QIC (*Quarter Inch Cartridge*), ancêtre des sauvegardes en cartouches, se présente sous l'aspect d'un boîtier plastique dont la dimension varie de celle d'une grosse cassette audio à celle d'une cassette de magnétoscope. Progressivement abandonnées, les QIC vont du lecteur 3" ½ assurant la sauvegarde de 2 Go au lecteur 5" ¼ d'une capacité variant de 2,5 Go à 5 Go en mode compressé.

La cartouche DLT (*Digital Linear Tape*) travaille également en mode linéaire serpenté. Cette technologie est ainsi plus rapide que ses concurrentes et présente l'avantage d'une faible usure des bandes et des têtes de lecture écriture.

DLT 4000 permet de stocker 20 Go de données avec un taux de transfert de 1,5 Mo/s et un temps moyen d'accès de 68 s. Quant au nouveau format DLT 8000 il combine, comme le DLT 7000, l'enregistrement linéaire et l'enregistrement hélicoïdal avec plusieurs têtes de lecture angulaire, ce qui permet de diminuer la largeur des pistes. Il permet de stocker 40 Go avec un taux de transfert de 6 Mo/s. Le temps moyen d'accès est d'environ 102 s.



La relève des DLT est assurée avec l'arrivée du Super DLT qui devrait offrir une sauvegarde de 100 Go non compressés avec un taux de transfert de 10 Mo/s.

La technologie MagStar MP d'IBM utilise également des cartouches à enregistrement linéaire, offrant une capacité de 5 Go avec un taux de transfert de 2,2 Mo/s et un temps moyen d'accès de 23 s. Les nouvelles MagStar E, qui utilisent 256 pistes, offrent 20 Go hors compression, avec un taux de transfert de 14 Mo/s.

LTO (*Linear Tape Open*) est une nouvelle technologie linéaire développée par Seagate, HP et IBM, dont l'objectif est de concurrencer les DLT. Deux versions sont à l'étude : LTO Accelis, optimisant le temps moyen d'accès aux données – inférieur à 10 s et qui devrait descendre à 7 s ! – offrant une capacité de 50 Go avec un taux de transfert de 20 à 40 Mo/s ; LTO Ultrium qui offre 100 Go non compressés avec un taux de transfert de 10 à 20 Mo/s. A terme il est prévu qu'Ultrium stocke 800 Go !

Signalons aussi la technologie MLR développée par la société Tandberg. Elle permet, avec la version MLR3, d'atteindre 25 Go par cartouche en format non compressé.

13.2.3 Conclusions

La bande magnétique a été et reste encore un support privilégié de l'information ; ceci tient à diverses raisons :

- un très faible coût du caractère enregistré,
- un encombrement physique relativement faible en regard du volume stocké,
- la non volatilité des informations enregistrées.

En revanche, elle présente aussi certains inconvénients et notamment :

- une lecture uniquement séquentielle,
- un temps moyen d'accès à l'information long (10 s au mieux),
- une relative sensibilité à l'environnement (poussière, humidité, …).

C'est pourquoi, à l'heure actuelle les bandes magnétiques, les cartouches DAT, DLT, … servent essentiellement à l'archivage des informations en attendant, peut-être, d'être détrônées par d'autres médias tels que les disques optiques numériques.

EXERCICES

13.1 Vous devez assurer la sauvegarde des bases de données qui occupent près de 100 Go sur le *mainframe* de la société. En dehors de l'aspect financier, quelle(s) technique(s) de sauvegarde préconiseriez vous ? À partir des données fournies dans le texte, établissez un tableau comparatif des volumes et des temps de sauvegarde. Ne prenez pas en compte la compression.

13.2 Combien de temps devrait théoriquement prendre la sauvegarde des 2 disques de 4 Go de votre serveur que vous devez « *backuper* » sur un lecteur dont le taux de transfert annoncé est de 6 Mo/s ?

SOLUTIONS

13.1 Le volume à sauvegarder est de 100 Go.

Matériel	Volume cartouche	Taux de transfert	Nbre de cartouches	Temps de sauvegarde	
Exabyte	60 Go	12 Mo/s	100 / 60 = 2	100 × 1024 / 12 = 8 534s	2,23 heures
AIT	50 Go	6 Mo/s	100 / 50 = 2	100 × 1024 / 6 = 17 067s	4,45 heures
DLT 8000	40 Go	6 Mo/s	100 / 40 = 3	100 × 1024 / 6 = 17 067s	4,45 heures
Super DLT	100 Go	10 Mo/s	100 / 100 = 1	100 × 1024 / 10 = 10240s	2,51 heures
MagStar E	20 Go	14 Mo/s	100 / 20 = 5	100 × 1024 / 14 = 7 315s	2,12 heures
LCO Accelis	50 Go	20 Mo/s	100 / 50 = 2	100 × 1024 / 20 = 5 120s	1,26 heures
LCO Ultrium	100 Go	10 Mo/s	100 / 100 = 1	100 × 1024 / 10 = 10240s	2,51 heures

Les technologies présentant les meilleures caractéristiques sont ici Mammoth, Magstar E ou LCO. Les autres nécessitent trop de cartouches ou de temps. Des chargeurs automatiques de cartouches pourraient être envisagés.

13.2 Avec 2 disques de 4 Go on détermine donc un volume total de 8 Go soit : 8 × 1 024 Mo = 9 632 Mo.

À raison de 6 Mo/s la sauvegarde devrait mettre 9 632 Mo / 6 Mo/s, soit 1 605s, soit environ 27 minutes.

Chapitre 14

Disques durs et contrôleurs

Les bandes magnétiques, si elles ont l'avantage d'un faible prix de revient, présentent l'inconvénient majeur d'une lecture uniquement séquentielle. Les constructeurs, en l'occurrence IBM, ont développé à partir de 1956 des systèmes autorisant l'accès direct à l'information recherchée grâce au disque magnétiques.

14.1 PRINCIPES TECHNOLOGIQUES

L'information est enregistrée sur les disques magnétiques – disques durs – selon les principes du magnétisme exposés lors de l'étude des bandes magnétiques. L'élément de base du disque est un plateau circulaire, souvent en aluminium – métal amagnétique et léger – de 1", 1,8", 2,5", 3,5" ou 5,25 pouces de diamètre pour les disques durs des micro-ordinateurs et qui pouvait atteindre près de 30 cm pour les gros systèmes. Ce diamètre, appelé facteur de forme, tend à diminuer fortement puisqu'on en est rendu à des disques logeant sur un format carte de crédit (PCMCIA) avec une épaisseur de 6 mm ! La majorité des disques durs actuels utilise des facteurs de forme 3,5" ou 5"25.

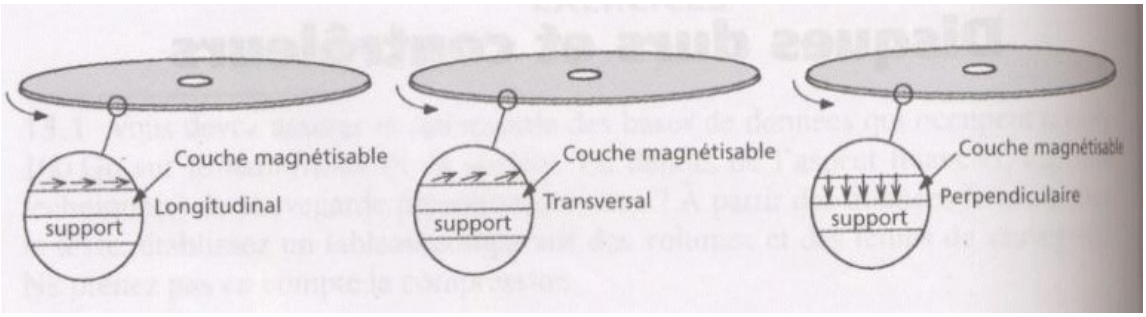
Dans la technologie à film mince ou TFI (*Thin Film Inductive*), généralement employée à l'heure actuelle, on utilise une unique tête de lecture écriture par plateau et chaque plateau est recouvert d'une couche très fine (0,05 à 1µ) de phosphore nickel ou phosphore cobalt, qui autorise une densité d'enregistrement d'environ 800 Mbits/pouce². Le plateau est parfois recouvert d'une couche de carbone le protégeant des phénomènes d'électricité statique et réduisant les risques de contact entre tête et plateau.

Sur le plateau l'aimantation de la zone peut se faire selon trois principes :

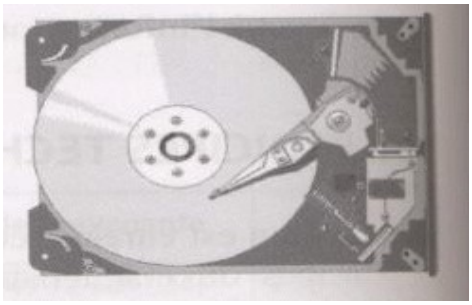
- enregistrement longitudinal : c'est le type le plus utilisé actuellement, l'aimantation a lieu dans le plan de la couche, tangentiellement à la piste.

- enregistrement transversal : l'aimantation se fait encore dans le plan de la couche mais perpendiculairement à la piste.

- enregistrement perpendiculaire : avec ce type d'enregistrement, qui se développe actuellement on atteint des densités d'enregistrement allant jusqu'à 20 milliards de bits par pouce carré. L'aimantation se fait perpendiculairement au plan de la couche.



Cette dernière technologie exploitée et développée par Seagate n'est pas sans rappeler celle employée sur les CD réinscriptibles. Connue sous le nom de OAW (*Optically Assisted Winchester*) elle est en effet utilisée conjointement (simultanément) avec un faisceau laser et nécessite une surface magnétisable d'un genre particulier.



Chaque tête de lecture-écriture est munie – en plus du solénoïde (fil métallique enroulé en hélice sur un cylindre, et qui, parcouru par un courant, crée un champ magnétique comparable à celui d'un aimant droit) permettant de magnétiser les particules – d'une fibre optique qui transporte le faisceau laser, concentré par une lentille d'un diamètre inférieur à 350 µ.

On utilise alors à la fois le principe d'enregistrement perpendiculaire (dans l'épaisseur de la couche) et les variations de puissance du laser pour lire ou écrire sur le disque dur. Dans le cas d'une écriture, le faisceau laser de plus forte intensité vient modifier les propriétés de la couche qui est alors magnétisée dans un sens ou dans l'autre selon qu'on enregistre un 0 ou un 1. En lecture le faisceau laser de faible intensité envoyé sur le plateau sera réfléchi différemment selon que la couche a été magnétisée d'un sens ou de l'autre. On n'utilise donc plus ici directement les propriétés classiques du magnétisme mais celles liant le magnétisme aux variations du sens de polarisation du faisceau laser.

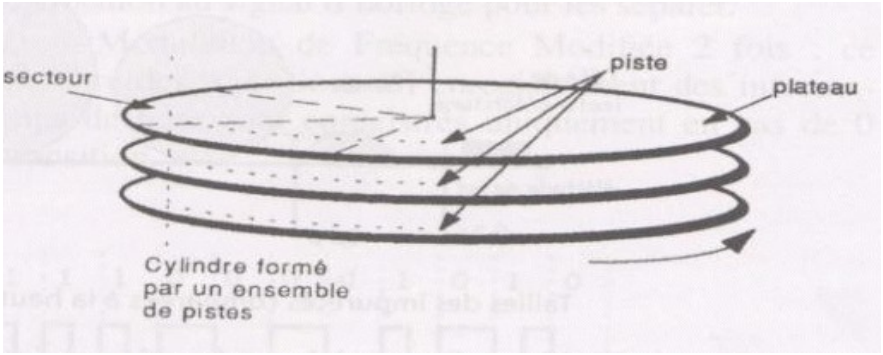
La technologie magnétorésistive ou MR (*MagnetoResistive*) plus récente sépare la tête de lecture de celle d'écriture ce qui autorise une densité de stockage sur le plateau de 1 Giga bits/pouce². La technologie GMR (*Giant MagnetoResistive* ou *spin valve*) permet d'atteindre, depuis 1997, une densité de 5 Gbits/inch². Cette technologie est encore assez chère et réservée pour l'instant aux disques dur « haut de gamme ».

Une technique de lecture PMRL (*Partial Response Maximum Likehood*) est également utilisée en complément de ces technologies car elle améliore la qualité du signal. La méthode PMRL autorise une lecture plus rapide que la méthode classique de détection de pics (*Peak Detection Read Channel*) en éliminant la plupart des parasites et bruits captés par la tête de lecture. Le signal est lu comme un signal analogique puis converti en numérique. Enfin la technique SMART (*Self Monitoring Analysis and Reporting Technology*) assure une gestion statistique des incidents, permettant d'avertir l'utilisateur de l'imminence d'une panne.

Signalons qu'IBM, a atteint en 1999 une densité de 35,3 Gbits/inch² en combinant à la fois les technologies GMR et TFI dans une technologie dite GMR optimisée. Afin de donner un ordre d'idée, cette densité autorise le stockage de plus de 2 180 000 pages dactylographiées par pouce carré d'espace disque !

Date	Densité en Giga bits/ pouce2	Épaisseur de la tête en µ	Largeur de la piste en µ
1993	2,6	0,08	1,35
1998	10	0,04	0,68
1999	35	0,02	0,34

Dans un disque dur, chaque face est divisée en pistes circulaires concentriques dont le nombre varie, selon les modèles, de 10 à plus de 1 000 pistes par face. Chaque piste est elle-même divisée en secteurs (de 8 à 34), qui sont en fait des portions de pistes limitées par deux rayons.



Toutes les pistes ont la même capacité ce qui implique une densité d'enregistrement accrue au fur et à mesure que l'on se rapproche du centre. Bien entendu pistes et secteurs ne sont pas visibles à l'œil nu. L'opération consistant, à partir d'un disque vierge à créer des pistes concentriques, divisées en secteurs et à y placer les informations nécessaires à la bonne gestion du disque s'appelle le formatage et dépend du système d'exploitation.

Plusieurs disques superposés sur un même axe (jusqu'à 20) constitue une pile de disques ou *dispack* (on dit également 20 plateaux). Ces disques sont séparés entre eux par un espace de quelques millimètres permettant le passage des têtes de lecture-écriture. Ainsi, plusieurs têtes, permettant un accès simultané à l'ensemble des informations situées sur les pistes d'une pile se trouvant à la verticale les unes des autres, déterminent un cylindre.

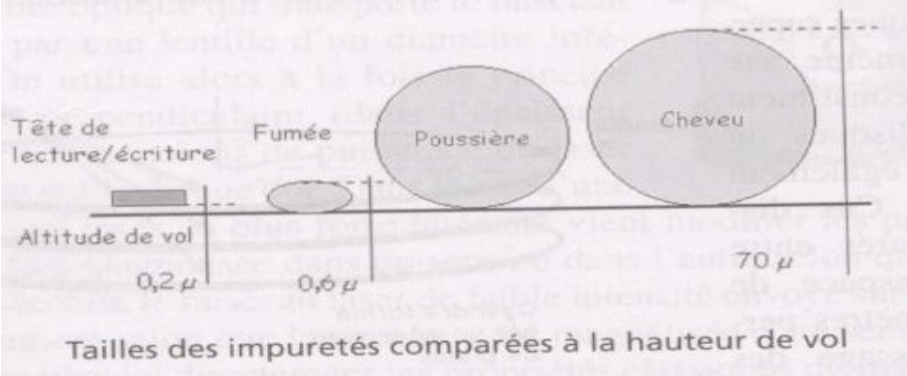
Sur une piste les bits sont enregistrés linéairement, les uns derrière les autres. Le nombre de bits que l'on peut ainsi aligner les uns à la suite des autres dépend de la densité linéaire et se mesure en BpI (*bits per inch*). Afin d'améliorer ces densités d'enregistrement et donc augmenter les capacités de stockage, il est nécessaire de réduire au maximum la taille de la zone d'aimantation associé à la codification d'un bit.

Afin de pouvoir détecter les variations de champs magnétiques les plateaux sont en rotation permanente.

Dans une unité de disques, les plateaux tournent à grande vitesse – de 3 600 à près de 15 000 tours par minute tpm (ou rpm *Rotate per Minute*). A l'heure actuelle la vitesse de rotation de la majorité des disques des micro-ordinateurs est de 7 200 tpm pour les disques IDE et de 10 000 tpm pour des disques SCSI.

Sur un disque dur, chaque secteur doit être lu ou écrit en conservant une vitesse angulaire constante CAV (*Constant Angular Velocity*). Cela impose que la densité d'enregistrement augmente quand on passe d'un secteur stocké sur une piste extérieure à un secteur situé sur une piste intérieure, proche de l'axe de rotation du plateau. La densité d'enregistrement linéaire varie donc au fur et à mesure que l'on se rapproche du centre du plateau. La taille attribuée à un secteur diminue au fur et à mesure que l'on approche du centre or la quantité d'information qu'on peut loger sur le secteur doit rester identique (512 octets par exemple). Il faut donc faire varier la densité linéaire en fonction de la position de la piste sur le plateau. La vitesse de rotation du plateau étant constante (vitesse angulaire constante CAV), la vitesse linéaire de défilement des particules magnétiques sous la tête de lecture augmente donc au fur et à mesure que la tête de lecture se déplace vers l'axe de rotation. Le système doit donc être en mesure de lire et d'écrire des densités d'enregistrement différentes.

Compte tenu de la vitesse de rotation des plateaux, les têtes ne doivent absolument pas entrer en contact avec le média car il en résulterait un fort échauffement qui les détruirait et provoquerait l'arrachage des particules magnétiques de la surface du média. Cet accident, souvent fatal aux données, s'appelle un atterrissage de tête.



Tailles des impuretés comparées à la hauteur de vol

Les têtes (de 2 à 10 par disque) doivent donc être maintenues à une certaine distance du plateau, dit hauteur de vol (de l'ordre de 0,25 à 1 micron), ce qui nécessite une surface absolument plane et d'une absolue propreté sous peine de provoquer un atterrissage de la tête. Le maintien des têtes de lecture-écriture à bonne distance des plateaux est obtenu par « flottage » de la tête sur le coussin d'air provoqué par la rotation du disque – phénomène physique dit « roulement de fluide ». Il est donc absolument nécessaire de disposer de têtes ultra-légères. De telles têtes ont été développées notamment dans les technologies Winchester et Whitney. Les plateaux sont également recouverts d'une couche de carbone lisse qui les protège de l'électricité statique.

La nécessité de maintenir les médias dans cet état de propreté absolu a conduit à enfermer les têtes et les plateaux dans un boîtier étanche. C'est la technologie dite Winchester qui tire son nom du premier disque de ce type – l'IBM 3030 – calibre de la célèbre carabine Winchester des westerns.

Compte tenu de la vitesse de rotation et de la fragilité des têtes il est préférable que ces têtes de lecture soit rétractées avant tout arrêt de la rotation du disque. Pour cela les têtes vont être carrément retirées dans des logements particuliers. Sur les anciens disques une piste spéciale (*landing track* ou *land zone*), est destinée à recevoir la tête quand elle se pose. En fait l'arrêt du disque n'étant jamais instantané, le film d'air va diminuer progressivement et la tête se pose en douceur sur la piste. Le problème vient surtout de ce que la tête se pose généralement toujours au même endroit sur le disque et qu'à la longue cette zone risque d'être endommagée.

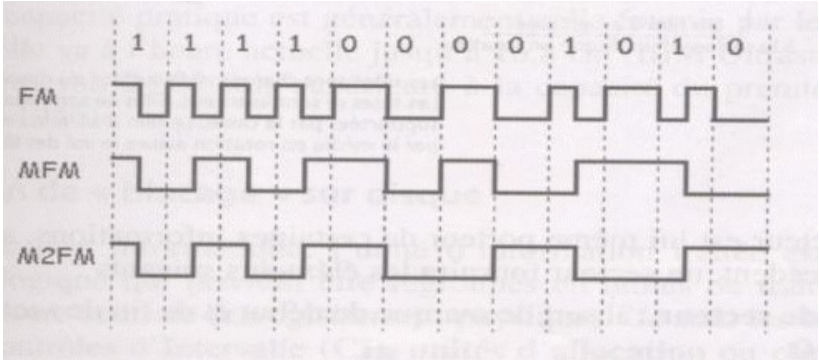
14.2 LES MODES D'ENREGISTREMENTS

Les modes d'enregistrement principalement utilisés sur disques magnétiques sont au nombre de quatre :

- FM (*Frequency Modulation*) – Modulation de Fréquence : cette technique d'enregistrement est plus connue sous l'appellation de simple densité et est la plus ancienne. Le principe en est simple, il y a polarisation dans un sens à chaque signal d'horloge et à chaque information de type 1 logique. A la lecture, il y aura donc apparition de deux signaux pour le 1 et d'un seul pour le zéro.

- MFM (*Modified Frequency Modulation*) – Modulation de Fréquence Modifiée : cette technique, plus récente est plus connue sous le nom de double densité.
Il y a polarisation au milieu du temps de base, à chaque information de type 1 et si deux 0 se suivent il y a polarisation au signal d'horloge pour les séparer.

- M2FM (*Modified MFM*) – Modulation de Fréquence Modifiée 2 fois : ce codage réduit encore le nombre des transitions à l'enregistrement des informations. Les débuts des temps de base sont enregistrés uniquement en cas de 0 suivant des cellules sans transition.



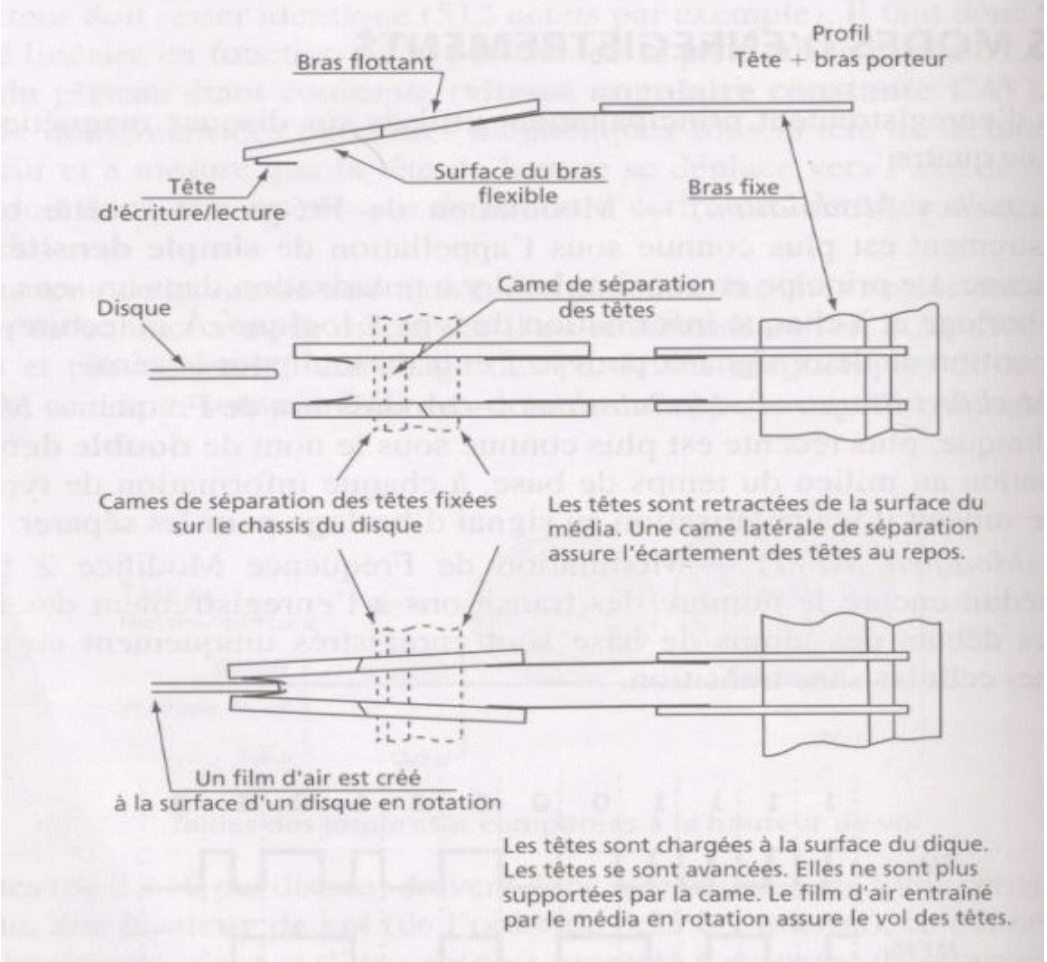
Les modes d'enregistrements

- RLL (*Run Lenght Limited*) – Code à longueur Limitée : c'est à ce jour le système de codage le plus efficace. Il permet d'augmenter de 50 %, par rapport au MFM, la densité d'informations sans augmenter

la densité des transitions. Il existe également un mode ARLL (*Advanced RLL*). Actuellement RLL est le plus répandu.

14.3 LES FORMATS D'ENREGISTREMENTS

En plus des données à mémoriser, les pistes et les secteurs d'un disque doivent contenir les informations nécessaires au système pour utiliser correctement ces données. Certaines pistes ou certains secteurs du disque sont ainsi réservés au système pour repérer quels sont les secteurs disponibles pouvant enregistrer des informations, quels fichiers sont présents sur le média et quelles sont leurs caractéristiques.



Chaque secteur est lui-même porteur de certaines informations, ainsi dans le cas du disque précédent, un secteur fournira les éléments suivants :

- Intervalle de secteur : il sert de marque de début et de fin de secteur et comporte 18 octets à 0.

- Marque de label : il annonce le label (équivalent au *tape mark* de la bande).

- Label de secteur : cette zone permet de reconnaître l'adresse de l'information recherchée. Le secteur désiré est ainsi parfaitement localisé sur le disque. Ce label contient notamment : le numéro de disque, le numéro de cylindre, le numéro de piste, le numéro de secteur, …

- Le code de détection d'erreur : produit par un algorithme particulier, il permet d'assurer le contrôle des labels et des données.

- Synchronisateur final : c'est une zone qui a pour rôle de permettre le passage de la fonction de lecture d'adresse à celle d'écriture d'informations et d'autre part d'envoyer à l'électronique de commande des informations permettant de synchroniser les tops horloges afin d'assurer un bon « découpage » de la zone enregistrée, permettant de reconnaître ainsi les données codées sur le disque.

- Intervalle 2 : comportant en principe exclusivement des 0, il peut être exceptionnellement utilisé comme zone de débordement après une mise à jour.

- Marqueur de données : il joue le rôle du *tape mark* des bandes.

- Zone de données : comportant 256 ou 512 octets de long, cette zone est remplie de zéros lors de l'opération de formatage.

Sur les disques fonctionnant sous système d'exploitation MS-DOS, lors d'une opération de reformatage dite de haut niveau, seuls quelques secteurs particuliers de la FAT (*File Allocation Table*) ou table d'allocation des fichiers (table réservée, accordée aux fichiers), sont effacés. Il est alors possible à l'aide d'utilitaires particuliers de récupérer un disque accidentellement reformaté. Mais rien ne remplace une bonne sauvegarde sur bande, disquette, … !

14.4 CAPACITES DE STOCKAGE

14.4.1 Généralités

Comme nous l'avons vu précédemment, à chaque secteur du disque sont associées des informations autres que les données. Il convient donc, à nouveau, de faire la distinction entre **capacité théorique** et **capacité pratique** (on parle aussi de capacité avant ou après formatage). La capacité théorique d'un disque est le produit de la capacité théorique d'une piste par le nombre de pistes par face, par le nombre de faces utiles. La capacité pratique est généralement celle fournie par le constructeur ou le vendeur. Elle va à l'heure actuelle jusqu'à 16,8 Go (IBM Ultrastar-2) dans un format 3,5 pouces soit 2 000 supérieure à la capacité du premier disque dur (IBM Ramac de 1956).

14.4.2 Notions de « blocage » sur disque

Dans une application informatique, l'unité d'information traitée est l'article ou enregistrement logique qui peuvent être regroupés en unités de transfert entre le média et la mémoire centrale (enregistrement physique). Ce sont les **blocs** pour les bandes et les **C**ontrôles d'**I**ntervalle (**CI**), **unités d'allocation** ou **cluster** pour les disques. L'unité minimum à laquelle on peut accéder sur un disque est le **secteur**.

Le CI va donc être composé de 1, 2, 4, … secteurs physiques. Les CI étant transférés en une opération de lecture écriture, leur taille détermine celle du ou des *buffers* d'entrées sorties associés en mémoire centrale. On accélère donc les accès disque en choisissant des CI de grande taille, au détriment toute fois de la place mémoire.

Ces choix sont, sur certains systèmes, des paramètres de l'ordre de création de fichier qui permet la réservation d'un espace disque ou bien des paramètres du formatage. On trouvera ainsi, par exemple, comme paramètres la longueur du CI, la taille initiale du fichier en nombre de CI… Il convient alors de na pas les négliger.

14.5 PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES DISQUES

La **capacité** ou **volume de stockage** : dépend directement de facteurs tels que la densité linaire, radiale ou surfacique. C'est cette capacité qui sera généralement mentionnée dans les documentations. Elle atteint 16,8 Go sur certains disques IBM d'un facteur de forme de 3,5 pouces (3,2 Go par plateau).

La **densité linéaire** ou densité d'enregistrement : c'est le nombre de bits par pouce sur une même piste. Elle s'exprime en **BpI** (*bit per inch*) et va jusqu'à 522 000 Bpi (IBM 1 999). Comme elle varie selon la position de la piste sur le plateau, la valeur fournie par les constructeurs est en général une valeur moyenne.

La **densité radiale** : c'est le nombre de pistes par pouce. Elle s'exprime en **Tpi** (*track per inch*) et peut aller jusqu'à 67 300 Tpi (IBM 1 999). On envisage d'atteindre 100 000 Tpi dans un avenir proche grâce à la technologie OAW.

La **densité surfacique** : c'est le rapport des deux densités linéaires et radiales. Actuellement nous trouvons de 5 à 10 Giga bits par *inch* carré (Gbpi²) dans le commerce et 35,3 Gbpi² (IBM 1 999) en laboratoire. Cette densité est en constante et forte évolution – environ 60 % par an. De 1991 à 1997 la capacité des disques durs a été multipliée par 18 et leur prix est passé d'environ 31 francs le Mo à moins de 1 franc par Mo. En terme d'études de laboratoire, signalons la technologie AFM (*Atomic Force Microscope*), utilisant deux faisceaux lasers de

longueur d'onde différente, qui permettrait d'atteindre des capacités de l'ordre de 1 000 Go.

La **vitesse de rotation** : c'est la vitesse à laquelle tourne le disque. Elle s'exprime en tours par minute **tpm**, ou en **rpm** (*rotate per minute*). Elle est couramment de l'ordre de 5 400 tpm, 7 200 tpm, voire 15 000 tpm pour certains disques. Cette augmentation de vitesse permet de diminuer sérieusement les temps moyens d'accès et les taux de transfert mais elle engendre échauffement, consommation d'énergie accrue pour les moteurs d'entraînement de vibrations qu'il faut donc parfaitement maîtriser…

Le **temps d'accès** : c'est le temps nécessaire pour positionner la tête de lecture sur le cylindre désiré. On peut distinguer :

- le *temps d'accès minimal* qui correspond au positionnement de la tête sur le cylindre adjacent (de 1,5 à 20 ms),

- le *temps d'accès maximal* correspondant à la traversée de l'ensemble des cylindres (de 100 à 200 ms),

- le *temps d'accès moyen* (de 6 à 15 ms) qui correspond en principe à la somme du délai de positionnement du bras sur la piste et du délai rotationnel.

C'est en principe le temps d'accès moyen qui est fourni par le constructeur. Il est de l'ordre de 7 à 12 ms pour les disques actuels. Attention : le temps d'accès donné par certains revendeurs tient compte de la présence d'une mémoire cache disque qui abaisse considérablement les temps d'accès.

Le délai rotationnel ou temps de latence : c'est le temps nécessaire pour que la donnée recherchée, une fois la piste atteinte, se trouve sous la tête de lecture. Ce temps peut être « nul » si le secteur recherché se présente immédiatement sous la tête de lecture, ou correspondre à une révolution complète du disque si le secteur recherché vient « juste de passer ». On considère donc en moyenne la durée d'une demi-révolution.

Sachant que le disque tourne, par exemple, à 3 600 tpm le temps moyen sera alors de (60"/3600 t) – soit un temps « incompressible » de l'ordre de 8 ms. On comprend facilement qu'en amenant la rotation à 7 200 tpm on divise ce temps d'accès par 2. Le temps de latence est donc inversement proportionnelle à la vitesse de rotation toutefois, de 7 200 tpm à 10 000 tpm on ne gagne plus que 1,18 ms. On ne pourra donc pas espérer améliorer sensiblement les temps d'accès des disques en augmentant la seule vitesse de rotation, d'ailleurs, compte tenu des progrès réalisés sur les densités surfaciques, on assiste à une diminution des vitesse de rotation qui repassent à 5 400 tpm pour de nombreux disques. A haute vitesse on doit en effet lutter contre l'échauffement des roulements assurant la rotation des plateaux, les vibrations, …

La vitesse de transfert ou taux de transfert : c'est la vitesse à laquelle les informations transitent du média à l'ordinateur ou inversement. Mesurée en MBps, en Ko ou parfois en Mo par seconde, elle dépend du mode d'enregistrement et du type de contrôleur. Elle est bien entendu influencée par la vitesse de rotation du plateau, car plus le disque tourne vite et plus les informations défilent rapidement sous les têtes de lecture. L'amélioration des technologies permet d'atteindre, actuellement, le 16 Mo/s et on envisage déjà de porter aux alentour de l'an 2 000, ce taux de transfert à 32 Mo/s.

Le facteur d'entrelacement (*interleave*) : les disques durs sont parfois trop rapides pour les possibilités de certains ordinateurs. Il est alors nécessaire de ralentir la vitesse de transfert entre média et ordinateur. C'est pourquoi les données ne sont pas toujours écrites de manière continue mais avec un facteur d'entrelacement. En effet, si on lit le secteur 1 et que le système doive attendre un peu avant de lire le secteur 2 – alors que le disque tourne – il est préférable de ne pas placer ce secteur immédiatement après le 1 mais à une certaine distance (3 à 9 secteurs), variant en fonction du système.

Le MTBF (*Middle Time Between Failure*) : correspond au temps moyen entre deux pannes, c'est donc un critère à ne pas négliger lors de l'acquisition d'un disque dur. Il est actuellement courant d'avoir des MTBF de 200 000 heures et plus on peut aller jusqu'à 800 000 heures sous tension.

14.6 LES CONTROLEURS OU INTERFACES DISQUES

Le rôle de l'interface disque – contrôleur disque ou BUS – est de gérer les échanges de données et leur encodage entre disque et le système. Les interfaces les plus utilisées actuellement avec les disques durs sont les EIDE et SCSI mais l'interface Fiber Channel fait également son apparition pour le très haut de gamme.

CARACTÉRISTIQUES D'UN DISQUE DUR

Capacité formatée – 512o/secteur (*Formatted Gbytes*)	18,2 Go
Nombre de plateaux (*Disks*)	10
Nombre de têtes (*Heads*)	20
Temps d'accès moyen (Average seek)	8,3 ms
Temps moyen d'attente (Average latency)	4,17 ms
Temps d'accès piste à piste (Track-to-track seek)	1,5 ms
Taux de transfert (en Ultra 2 SCSI *Fiber Channel*)	200 Mo/s
Taille du buffer (*Cache*)	4 096 Ko
Poids	930 grammes
Facteur de forme (*Form factor*)	3,5 ''
Puissance d'alimentation	15 Watts / 12v
Durée de vie garantie	5 ans

Le premier contrôleur ST506 (*Seagate Technology*) a été développé en 1980 par le constructeur de disques durs Seagate, pour des disques de 5 Mo ! Il est ensuite devenu ST 506/412 et a évolué avec l'ajout d'un tampon de recherche des informations. Il permet de gérer des disques de 20 à 100 Mo et travaille avec des taux de transfert de l'ordre de 5 Mbits par seconde en encodage MFM et de 8 MBps en encodage RLL.

L'interface ESDI (*Enhanced Small Device Interface*) est une révolution du ST 506 – câblages et connecteurs identiques qui peut gérer des disques de 100 Mo à théoriquement 137 Go. L'intelligence du contrôleur est décentralisée sur l'unité de disque. Ce contrôleur assure des débits de l'ordre de 24 MBps et peut également gérer des unités de bandes ou de cartouches magnétiques.

Le contrôleur IDE (*Integrated Drive Electronic*), BUS-AT ou ATA (*Advanced Technology Attachment*) est apparu en 1986. Ce contrôleur, encore relativement répandu, permet de gérer des disques de 20 à 528 Mo avec des taux de transfert de l'ordre de 8,3 Mo/s.

Le contrôleur IDE est cependant désormais délaissé au profit du mode EIDE (*Enhanced* : « augmenter » IDE), dit également ATA-2 ou Fast-ATA-2, plus performant et qui permet de gérer des disques de grande capacité (500 Mo et plus) ainsi que les CD-ROM à la norme ATAPI (ATA *Packet Interface*).

Les contrôleurs EIDE - ATA-2 utilisent actuellement deux protocoles de transmission :

- soit PIO (*Programmed Input Output*) où le taux de transfert varie de 3,33 Mo/s pour le PIO Mode 0 à 16,67 Mo/s pour le PIO Mode 4. Le mode PIO 4, très répandu, à tendance à monopoliser le processeur ce qui n'est pas le cas du mode DMA,

- soit DMA (*Direct Memory Access*) qui permet de transférer les informations directement vers le mémoire centrale sans transiter par le processeur et offre des taux de transfert allant de 4,17 Mo à 16,67 Mo/s.

Le contrôleur Ultra-ATA/33 (EIDE DMA-33 ou plus couramment Ultra DMA/33) développé par les sociétés Quantum et Intel est apparu en mai 1997. Utilisé avec des disques IDE, il autorise des taux de transfert théoriques de 33,3 Mo/s, soit le double du PIO mode 4, car il permet l'émission de paquets de données lors de la phase montante du signal d'impulsion mais également lors de la phase descendante. Ultra ATA/33 offre, une meilleure sécurité en vérifiant l'intégrité des données grâce aux contrôles de redondance cyclique (CRC). Ultra-ATA semble donc en passe de devenir le standard.

La version Ultra-ATA/66 ou Ultra DMA/66 autorise des taux de transfert théorique de 66,6 Mo/s mais la nappe passe à 80 fils car pour fiabiliser le transfert des paquets de données et assurer leur bonne transmission – ce qui permet de doubler le taux de transfert – chaque fil d'origine de la nappe est doublé d'un fil de masse. Le connecteur reste cependant un connecteur 40 broches (*pins*) classique.

INTERFACES ATA — DMA

	Taux de transfert	Connecteur	nappe	CRC
DMA	11.1 Mo/s	40 broches IDE	40 fils	Non
Multiword DMA	13.3 Mo/s	40 broches IDE	40 fils	Non
Fast ATA	16.6 Mo/s	40 broches IDE	40 fils	Non
Ultra ATA/33 ou Ultra DMA/33	33.3 Mo/s	40 broches IDE	40 fils	Oui
Ultra ATA/66 ou Ultra DMA/66	66.6 Mo/s	40 broches IDE	80 fils	Oui

L'interface SCSI (*Small Computer System Interface*), ou contrôleur SCSI, est de plus en plus adoptée par les constructeurs comme moyen de piloter les disques durs des machines haut de gamme. Sa vitesse de transfert est de l'ordre de 4 à 40 Mo/s selon la largeur du bus et le standard SCSI employé (SCSI-1 à 4 Mo/s, SCSI-2, SCSI-3, Wide (Fast) SCSI à 20 Mo/s, Ultra Wide SCSI à 40 Mo/s, …).

Ultra Wide SCSI permet également de piloter disques durs optiques … Couplée à une interface série SSA (*Serial Storage Architecture*) elle permet d'atteindre un taux de transfert de 80 Mo/s (Ultra 2 Wide SCSI), 160 Mo/s (Ultra 3 Wide SCSI) et peut atteindre 200 Mo/s avec une interface FC-AL (*Fiber Channel Arbitrated Loop*).

L'interface disque Ultra SCSI est un contrôleur intelligent pouvant fonctionner sans faire intervenir le mémoire centrale, en optimisant les transferts entre le périphérique et l'unité centrale. Elle offre donc de très bonnes performances et permet de connecter de nombreux types de périphériques.

Toutefois SCSI est une technologie qui reste encore plus onéreuse que EIDE et qui, malheureusement, a eu du mal à trouver une « normalisation » malgré ses caractéristiques très intéressantes, c'est pourquoi elle reste réservée aux serveurs de fichiers ou d'applications plutôt qu'aux simples PC.

14.7 DISQUES DURS AMOVIBLES

L'inconvénient des disques durs classiques, c'est qu'ils ne sont pas amovibles, ce qui signifie que pour en assurer des sauvegardes ont est obligé de les recopier sur des disquettes, des bandes magnétiques… ce qui peut prendre un certain temps ! Reste également posé le problème de confidentialité ou du transfert des données entre deux micros. Les disques durs amovibles apportent une solution souple à ces problèmes.

Ce sont en fait, la plupart du temps, des disques durs « classique » dans leur technologie mais qui sont contenus dans des boîtiers amovibles. Ces boîtiers sont en principe résistants aux chocs ce qui permet de les transporter sans problème et leur connexion se fait sur la nappe du contrôleur de disque dur traditionnelle. Le terme de disque amovible est parfois employé pour désigner d'autres types de médias tels que les ZIP et autres LS/120. Nous les aborderons au niveau du chapitre traitant des disquettes.

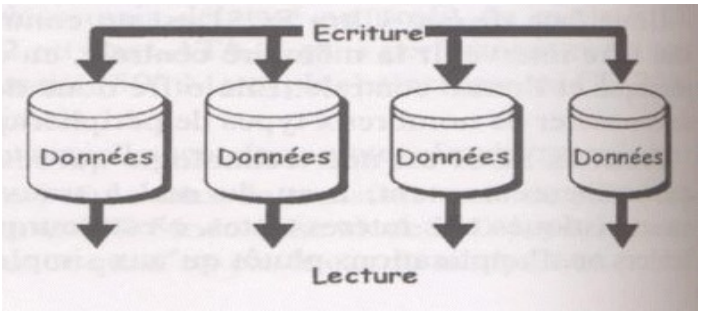
14.8 LA TECHNOLOGIE RAID

Pour assurer la sauvegarde des informations, on peut recopier régulièrement le contenu du disque dur sur une bande, une cartouche DAT… en utilisant des programmes de sauvegarde (*backup*). Cependant en cas d'accident sur un disque dur on ne peut alors récupérer (*restore*) que les données précédemment sauvées et la procédure de récupération peut être relativement longue.

Dans certains environnements où on utilise des serveurs de données qui sont sans arrêt sollicités et mis à jour (ventes par correspondance, assurances, banques…) il convient de trouver d'autres solutions. C'est le rôle de la technologie RAID (*Redundant Array of Inexpensive Disks)* qui s'oppose à la technique dite SLED (*Single Large Expensive Drive*) consistant à n'utiliser qu'un grand disque et des sauvegardes classiques.

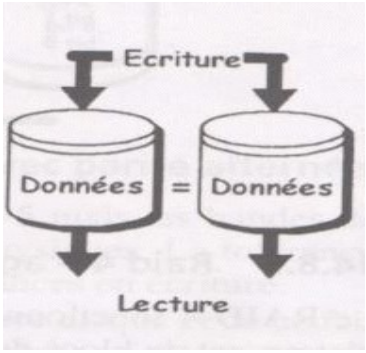
La technologie RAID consiste à employer plusieurs disques (une grappe), de capacité identique ou non selon le cas ; afin d'assurer la répartition des données sur des médias physiques distincts. Compte tenu de l'évolution des technologies et de la baisse des coûts, le I (*Inexpensive*) du RAID prend plutôt aujourd'hui la signification de *Independant*. Selon le niveau de sécurité envisagé plusieurs niveaux de RAID peuvent être utilisés, notés de RAID-0 à RAID-5 voire RAID-6 selon certains.

14.8.1 Raid 0 – grappe de disques avec agrégat de bandes



Le RAID-0 consiste simplement à répartir les données, découpées en blocs – dits également bandes de données – sur plusieurs disques. C'est l'agrégat de bandes ou *striping*. L'accès à l'information est donc très rapide, aussi bien en lecture qu'en écriture, mais si un disque tombe en panne on reste dans le cas de figure d'un simple disque avec backup. On ne peut pas vraiment parler ici de sécurité. Les opérations de lecture et d'écriture se font simultanément sur chacun des disques participant à la grappe. Cette technique n'assure pas une réelle sécurité mais plutôt un accès plus rapide aux données. En effet, si l'un des disques tombe en panne on ne pourra pas reconstruire les données qui devront donc avoir été sauvées par un biais (bande, cartouche DAT, …)

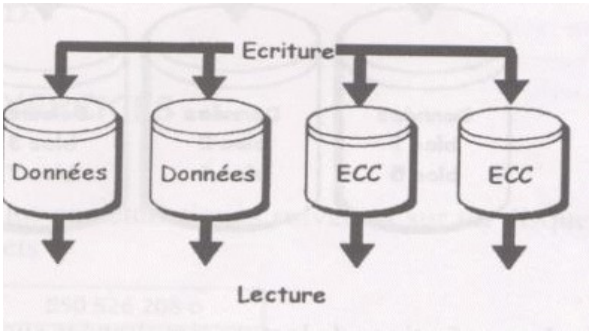
14.8.2 Raid 1 – disques en miroir



Le RAID-1 consiste à effectuer la copie physique du premier disque sur un second – dit disque miroir. Cette copie peut être faite en utilisant la technique du *mirroring* – où un seul contrôleur disque gère les deux disques ou bien en *duplexing* où chaque disque utilise son propre contrôleur.

Cette méthode RAID-1 est très sûre puisqu'on dispose à tout moment d'une copie physique du premier disque mais relativement chère puisque on n'utilise vraiment que la moitié de la capacité disque totale, chaque donnée étant copiée deux fois. En général le *mirroring* double les performances en lecture mais pas en écriture. De plus il n'est pas possible de basculer de manière transparente d'un disque à l'autre (*hot swapping*).

14.8.3 Raid 2 – grappes parallèles avec codes ECC

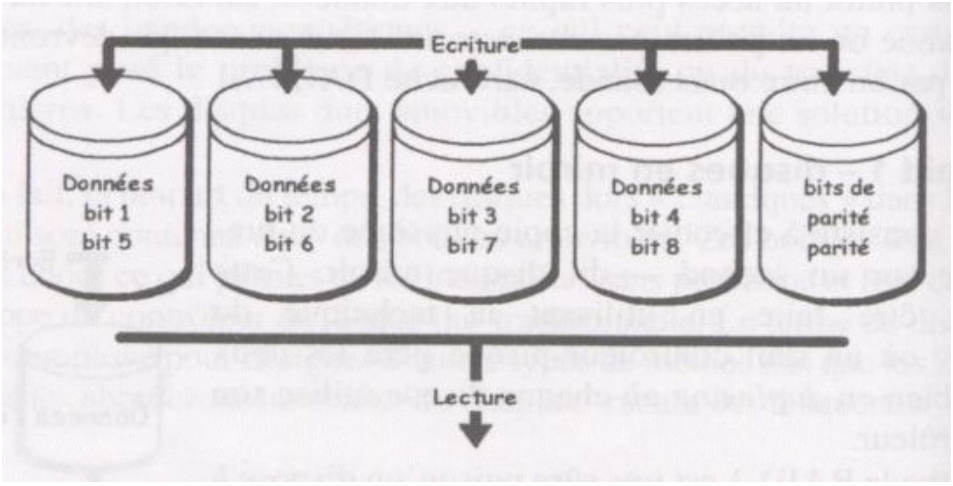


Le RAID-2 utilise un principe de fonctionnement similaire à celui employé par le RAID-0. En effet, dans cette technique, les données sont réparties sur tous les disques mais on utilise un ou plusieurs disques supplémentaires pour stocker des codes de contrôles ECC (*Error Checking and Correcting*). C'est une technique relativement peu utilisée.

14.8.4 Raid 3 – grappes parallèles avec codes de parité

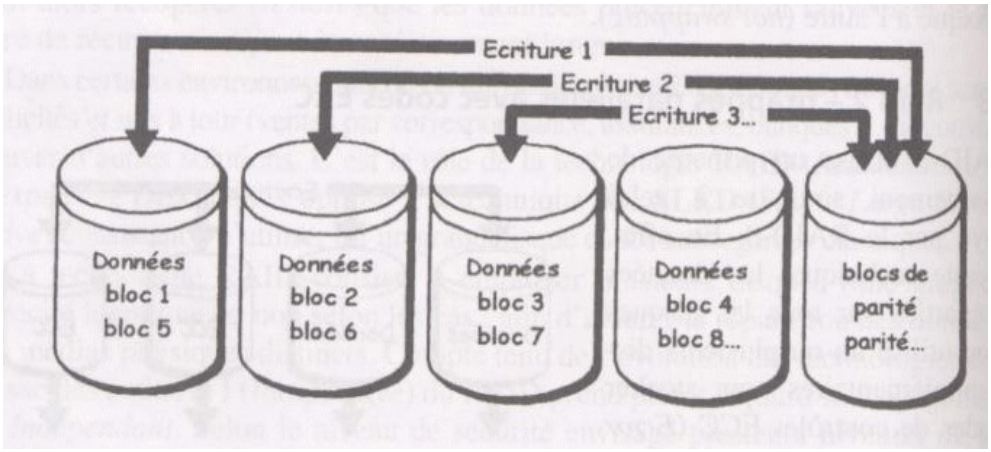
La RAID-3 gère une grappe de trois disques (ou plus) pour les données et un disque supplémentaire réservé aux contrôles de parité. Lors de l'écriture d'informations, le système répartit les données sur les disques et enregistre les parités de ces données sur le dernier. Le premier bit sera par exemple enregistré sur le disque 1, le deuxième bit sur le disque 2, le troisième sur le disque 3, le quatrième sur le disque 4, un contrôle de parité sur le disque 5 et on continue ainsi en enregistrant le cinquième bit d'information sur le disque 1 …

En cas de panne d'un disque ce système permet de reconstruire la structure du fichier de données. En revanche on mobilise un disque uniquement pour les contrôles de parité.



14.8.5 Raid 4 – agrégat de bandes avec parité

Le RAID-4 fonctionne selon le même principe que le RAID-3 mais assure l'enregistrement de blocs de bits et non plus bit à bit. Il présente sensiblement les mêmes avantages et inconvénients que le RAID-3.

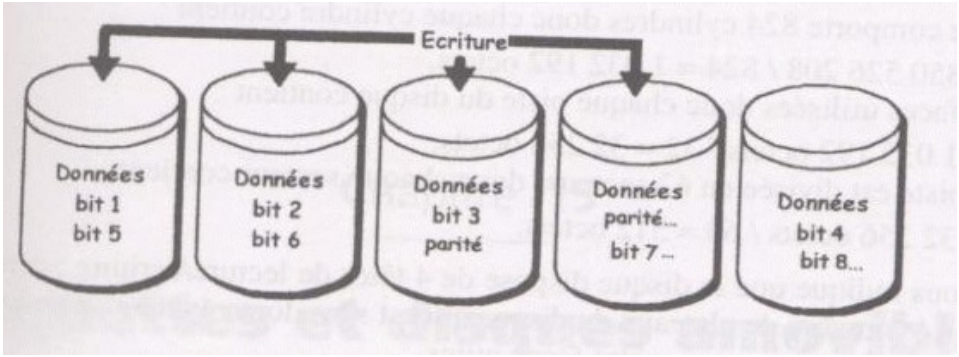


Les opérations de lecture simultanées sur tous les disques de données sont ici possibles alors que les opérations d'écriture ne peuvent pas être simultanées puisqu'il faut mettre à jour le disque des parités, ce qui provoque un goulet d'étranglement.

14.8.6 Raid 5 – agrégat de bandes avec parité alternée

Le RAID-5 est une évolution du RAID-4 où le bit de parité n'est plus enregistré sur un disque unique mais réparti régulièrement sur l'ensemble des disques qui stockent donc tout aussi bien des données que des contrôles de parités ce qui permet d'assurer une meilleur fiabilité de reconstruction des fichiers en cas de panne d'un des disques.

La répartition de la parité à l'avantage de limiter les goulets d'étranglement lors des opérations d'écriture. Par contre c'est une technologie qui nécessite l'emploi d'au moins cinq disques.



14.8.7 Raid 6 – grappes de disques indépendants avec parité alternée

La technologie RAID-6 repose sur celle employée en RAID-5 mais les bandes de parité sont réparties en plusieurs blocs sur chaque disque physique. La tolérance de pannes est supérieure mais entraîne de médiocres performances en écriture.

Les niveaux 3 et 5 du RAID sont les plus économes en espace disque et de ce fait les plus utilisés en entreprise. Précisons également qu'il existe des variantes propriétaires telles que « RAID 6 Plus » chez Hewlett Packard, RAID 7, RAID 10, RAID 53 qui combinent généralement les fonctions RAID classique. Ainsi RAID 53 allie à la fois les techniques du RAID-5 et du RAID-3.

Le RAB (*RAID Advisory Board*) est un organisme, regroupant une quarantaine de fournisseurs, qui garantit la promotion et une relative standardisation des produits mettant en œuvre cette technologie RAID.

EXERCICES

14.1 À l'aide d'un utilitaire on relève les caractéristiques suivantes sur un disque dur. Quelle est la taille du secteur en octets ?

capacité	850 526 208 o
cylindres	824
têtes	32
secteurs	63 / piste

14.2 Quelle est la capacité utile d'un disque dont les caractéristiques sont :

- 4 têtes ;
- 64 secteurs ;
- 847 cylindres ;
- Un secteur fait 1 024 octets.

SOLUTIONS

14.1 La réponse est assez simple et se détermine par une suite de divisions.

– Le disque comporte 824 cylindres donc chaque cylindre contient :

850 526 208 / 824 = 1 032 192 octets.

– Il y a 32 faces utilisées donc chaque piste du disque contient :

1 032 192 octets / 32 = 32 256 octets.

– Chaque piste est divisée en 63 secteurs donc chaque secteur contient :

32 256 octets / 63 = 512 octets.

14.2 On nous indique que le disque dispose de 4 têtes de lecture/écriture : cette information nous fournit le nombre de plateaux du disque qui est sans doute égal à ce nombre divisé par 2. Quoi qu'il en soit nous avons quatre faces utiles.

Ce n'est pas toujours aussi simple dans la mesure où on peut avoir des faces inutilisées sur certains plateaux ou bien encore disposer de plusieurs têtes par plateau.

On nous précise ensuite 64 secteurs par piste et 1 024 octets par secteur. Une piste contient donc 64 × 1 024 soit 65 536 octets.

847 cylindres ou 847 pistes c'est finalement ce que contient chaque face utile des disques. Comme chaque piste contient 65 536 octets, une face en contient donc 65 536 × 847 soit 55 508 992 octets. Comme nous disposons de 4 faces utiles nous avons une capacité totale du disque de 55 508 992 × 4 soit 222 035 968 octets soit environ 212 Mo.

Chapitre 15

Disquettes et disques amovibles

Conçue par IBM en 1970, la disquette servait à l'origine à charger des programmes de tests. Cette disquette d'un diamètre de 8" n'était recouverte d'oxyde magnétique que sur une seule de ses faces (Simple Face). En 1975, la société Shugart Associates développe le mode d'enregistrement double densité et, en 1976, IBM propose des disquettes enduites des deux côtés ou disquettes Double Faces. La même année, Shugart lance la disquette 5"1/4. En 1981, apparaît la disquette de diamètre 3"1/2. Actuellement seule la 3"1/2 se maintient, les autres formats ont pratiquement disparus et les tentatives de certains sociétés pour imposer des formats différents ont dans l'ensemble avortées.

15.1 LES DISQUETTES

15.1.1 Principes technologiques

La disquette, qui est un média très répandu du fait de sa simplicité d'utilisation, de son faible encombrement physique et de son faible prix, est composée de deux parties.

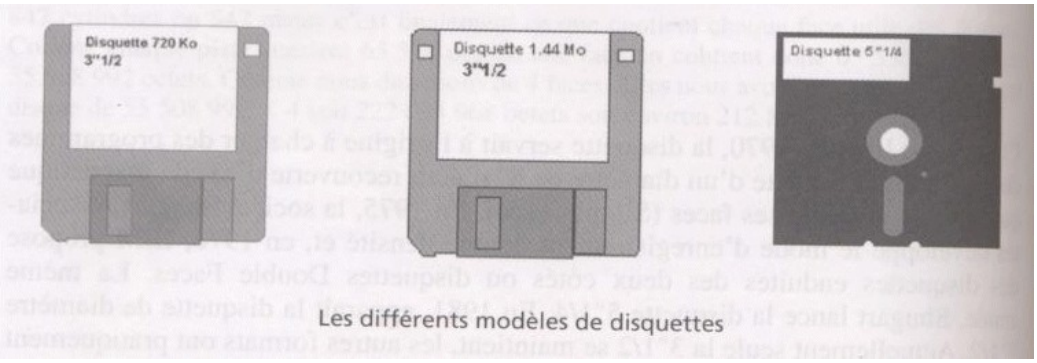
a) Le support magnétique ou média

Le support magnétique consiste en un disque souple en mylar, percé en son centre pour faire place au mécanisme d'entraînement, recouvert généralement d'une couche d'oxyde magnétique, et tournant librement dans son enveloppe protectrice. Un trou pratiqué dans le mylar – le trou d'index, permet sur les disquettes 5"25, de repérer le premier secteur d'une piste. Ce trou n'existe plus sur les 3"1/2 où le repérage se fait logiciellement.

b) L'enveloppe protectrice

Réalisée en plastique rigide l'enveloppe protectrice, recouverte à l'intérieur d'un revêtement antistatique et anti-poussière, protège la disquette des poussières, traces de doigts ou autres impuretés. Cette enveloppe est percée d'un trou oblong autorisant l'accès du système de lecture écriture. Sur les disquettes 3"1/2, cette fenêtre est protégée par un cache métallique qui s'efface quand on insère la disquette dans son logement. Sur les disquettes 5"1/4, de chaque côté de la fenêtre d'accès des têtes, se trouvent deux encoches anti-pliure qui évitent qu'en manipulant la disquette, elle ne se plie au niveau de la fenêtre d'accès, ce qui risquerait d'abîmer le média. Sur le côté de ces disquettes 5"1/4, on trouve généralement une encoche qui, selon qu'elle est libre ou obturée par un adhésif, autorise ou interdit l'écriture d'informations sur le média. Sur les 3"1/2 la protection en écriture est réalisée par un petit cliquet plastique, qui obture ou non un orifice, selon que l'on peut écrire ou non sur la disquette.

La pochette est percée, sur les 5"25, de un (deux) trou(s) d'index.



Les différents modèles de disquettes

15.1.2 Modes d'enregistrements

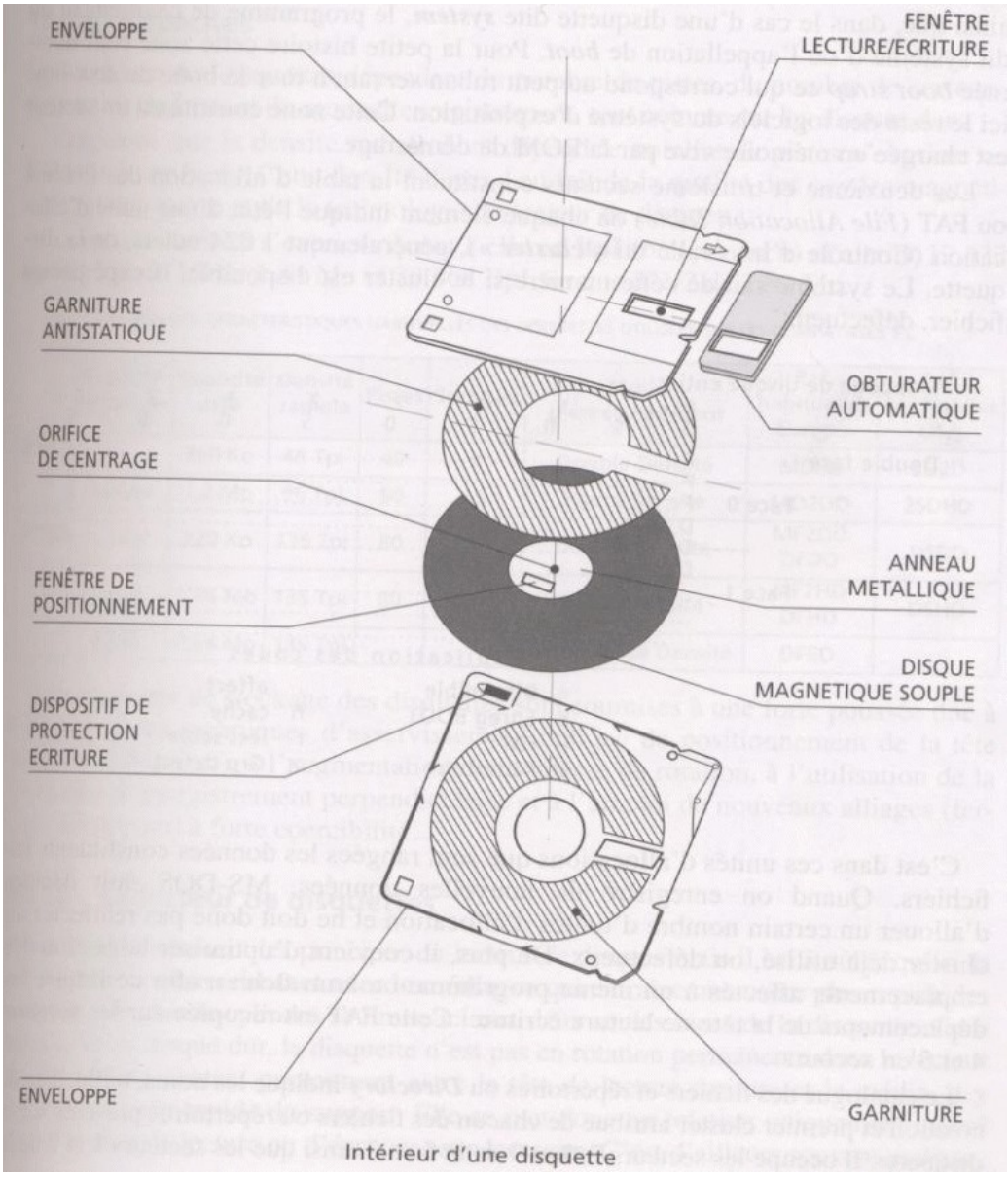
Les modes d'enregistrement utilisés sur les disquettes sont :

- le mode FM ou Simple Densité (SD) – historiquement dépassé,

- le mode MFM ou Double Densité (DD),
- le mode Haute Densité (HD),
- le mode Extra haute Densité (ED).

Selon qu'une seule face de la disquette ou les deux seront enregistrées, on parlera également de simple face ou double face. La simple face peut être considérée comme appartenant à l'histoire. Ceci dépend du lecteur de disquette, selon qu'il dispose d'une ou deux têtes de lecture écriture, et non pas de la disquette elle-même.

Comme sur les disques durs, la disquette est découpée en pistes et en secteurs. On trouve sur les pistes et les secteurs, en plus des informations à stocker, des informations de gestion de la disquette, utilisées par le système d'exploitation. Ces informations, ainsi que le nombre de pistes et de secteurs sont définies selon un format et leur écriture sur le média se fait lors de l'opération de formatage. Les secteurs peuvent être repérés de manière matérielle – sectorisation matérielle (*hard sectoring*), pratiquement abandonnée, et qui se concrétise par la présence d'un trou à chaque début se secteur. Le trou est détecté par une cellule photoélectrique qui provoque un signal appelé « *clock-sector* ». On ne peut donc pas changer le nombre de secteurs par piste, mais la sécurité est plus grande. Ils peuvent être repérés par sectorisation logicielle (*soft sectoring*), qui est la méthode la plus utilisée à l'heure actuelle car elle permet de choisir le nombre de secteurs par piste. Les formats de secteurs sont alors sensiblement identiques à ceux étudiés sur les disques.



Intérieur d'une disquette

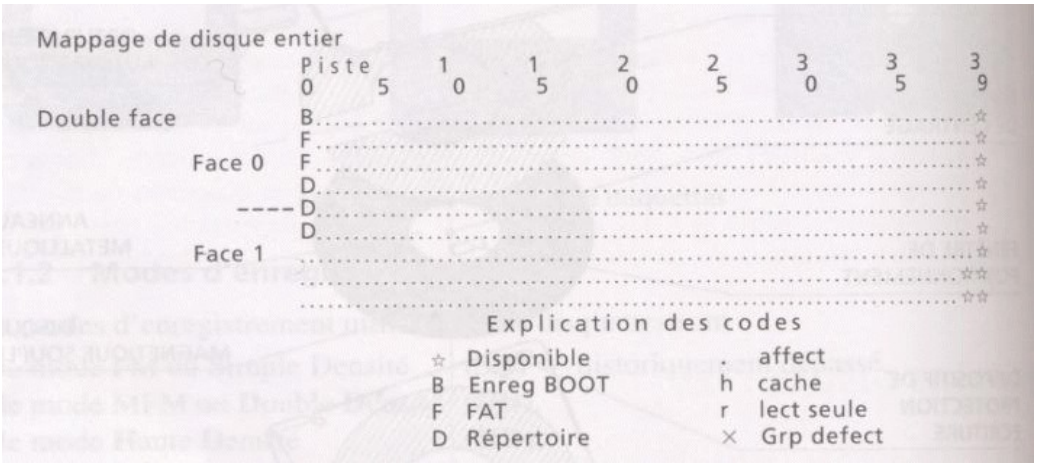
15.1.3 Organisation logicielle

Afin de nous appuyer sur un exemple concret nous allons décrire très sommairement la façon dont sont organisées les informations sur disquette au format IBM PC sous système d'exploitation MS-DOS.

La piste 0 est partiellement utilisée pour fournir des informations relatives au type de disquette et à son contenu.

Le premier secteur de cette piste est appelé secteur de « *boot* », et contient diverses informations relatives à la version MS-DOS, à la taille des secteurs, du disque…, ainsi que, dans le cas d'une disquette dite *system*, le programme de chargement du dit système d'où l'appellation de *boot*. Pour la petite histoire cette zone était nommée *boot strap* ce qui correspond au petit ruban servant à tirer la botte du cow-boy, ici le reste des logiciels du système d'exploitation. Cette zone constituant un secteur est chargée en mémoire vive par la ROM de démarrage.

Les deuxième et troisième secteurs constituent la table d'allocation des fichiers ou FAT (*File Allocation Table*) où chaque élément indique l'état d'une unité d'allocation (Contrôle d'Intervalle ou « *cluster* »), généralement
1 024 octets, de la disquette. Le système sait de cette manière si le cluster est disponible, occupé par un fichier, défectueux.



C'est dans ces unités d'allocations que sont rangées les données constituants les fichiers. Quand on enregistre de nouvelles données, MS-DOS doit décider d'allouer un certain nombre d'unités d'allocation et ne doit donc pas réaffecter un cluster déjà utilisé, ou défectueux. De plus, il convient d'optimiser la gestion des emplacements affectés à un même programme ou à un fichier, afin de limiter les déplacements de la tête de lecture écriture. Cette FAT est recopiée sur les secteurs 4 et 5 en secours.

Le catalogue des fichiers et répertoires ou *Directory* indique les noms, taille, date de création et premier cluster attribué de chacun des fichiers ou répertoires présents sur la disquette. Il occupe les secteurs 7, 8 et 9 de la face 0 ainsi que les secteurs 1 et 2 de la face 1. Chaque élément de ce répertoire « racine » (*root directory*) se présente comme une table, occupe 32 octets et représente soit un fichier, sois un sous-répertoire. Les informations fournies par les 7 secteurs affectés à cette *root directory* sont utilisées par MS-DOS lors de commandes de catalogage (DIR) pour fournir les informations telles que le nom, le suffixe, la taille, les dates et heures de création des fichiers.

L'examen plus détaillé de ces secteurs ne sera pas développé ici mais nous vous engageons à vous reporter au chapitre traitant des Systèmes de gestion de fichiers où vous trouverez l'étude détaillé d'une organisation de fichier FAT traditionnelle.

15.1.4 Capacités

Les capacités des disquettes dépendent du nombre de pistes, du nombre de secteurs, du nombre de faces et du mode d'enregistrement, tout comme sur les disques durs. Rappelons que la densité radiale dont dépend le nombre de pistes s'exprime en Tpi (*track per Inch*). Cette densité dépend en fait de la qualité des oxydes magnétiques mis en œuvre et de la technologie du lecteur de disquette.

La densité linéaire s'exprime quant à elle en BpI (*bits per inch*) et atteint 17 432 BpI sur une 3"1/2 de 1,44 Mo et 38 868 BpI sur une 3"1/2 de 2,88 Mo.

TABLEAU DES CARACTÉRISTIQUES HABITUELLES DES DISQUETTES UTILISÉES SUR LES COMPATIBLES PC

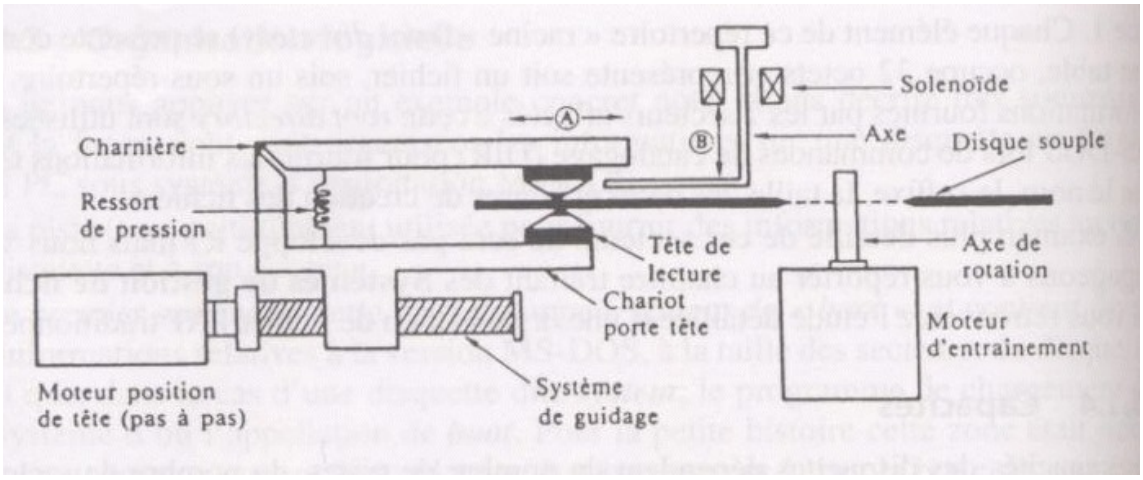
	Capacité théorique	Capacité utile	Densité radiale	Pistes	Secteurs	Mode d'enregistrement	Réf. habituelles Europe	Réf. habituelles USA
5"1/4		360 Ko	48 Tpi	40	9	Double Densité	MD2D	SD2D
	1,6 Mo	1,2 Mo	96 Tpi	80	15	Haute Densité	MD2DD	2SDHD
3"1/2	1 Mo	720 Ko	135 Tpi	80	9	Double Densité	MF2DD DFDD	DSDD
	2 Mo	1,44 Mo	135 Tpi	80	18	Haute Densité	MF2HD DFHD	DSHD
	4 Mo	2,88 Mo	135 Tpi			Extra Haute Densité	DFED	

Les capacités de stockage des disquettes sont soumises à une forte poussée due à l'évolution des techniques d'asservissement optique de positionnement de la tête (technique floptical), à l'augmentation de la vitesse de rotation, à l'utilisation de la technique d'enregistrement perpendiculaire et à l'emploi de nouveaux alliages (ferrites de baryum) à forte coercibilité…

15.1.5 Le lecteur de disquettes

Il reprend globalement les principes du lecteur de disques mais il est à noter qu'ici la tête de lecture est en contact avec le média, ce qui entraîne une usure plus rapide des supports.

De plus le cylindre se limite ici aux deux seules faces de la disquette. Contrairement au disque dur, la disquette n'est pas en rotation permanente dans le lecteur car, du fait du contact permanent entre la tête de lecture-écriture et le média, il aurait usure trop rapide du support. Elle se met donc en rotation uniquement quand une opération de lecture ou d'écriture est nécessaire. C'est d'ailleurs souvent audible.



Dans les lecteurs classiques, le positionnement de la tête sur la piste se fait grâce à des moteurs incrémentaux ce qui ne permet pas de vérifier si la tête est bien sur la bonne piste, la précision du déplacement dépendant de la précision des moteurs. Ceci nécessite donc d'avoir des pistes relativement « larges » afin d'éviter les erreurs de positionnement et diminue de fait les capacités de stockage du média.

Dans les nouvelles technologies à asservissement optique, le positionnement de la tête est contrôlé et permet d'améliorer très sensiblement la capacité de stockage.

15.1.6 La disquette à asservissement optique

Parmi les nouvelles disquettes qui se développent actuellement, la disquette à asservissement optique ou floptical est le fuit des technologies optiques et magnétiques et permet de sauver jusqu'à 135 Mo sur un facteur de forme 3"1/2.

Dans la technologie employée, une piste sur deux est réservée à l'asservissement des têtes et renvoie au contrôleur une information précisant la position de la tête. Quand celle-ci est parfaitement positionnée sur la piste, elle reçoit des signaux égaux des pistes d'asservissement situées de chaque coté. Si elle s'écarte de la piste de données, elle se rapproche de la piste de guidage et reçoit donc un signal plus fort qui va faire réagir le servomoteur et repositionner la tête. La tête peut être ainsi positionnée avec une précision de l'ordre de 1,5 micron ce qui permet d'obtenir une capacité de 100 à 135 Mo sur un média de 3"1/2 de diamètre.

Dans la technologie employée par Iomega, le support contient des pistes concentriques prégravées et discontinues. La piste réservée aux données possède une capacité de réflexion de la lumière supérieure à celle du sillon prégravé. Le positionnement est assuré par une diode électroluminescente ou par un faisceau laser qui est réfléchi par le média, l'intensité du rayon réfléchi variant selon la position de la tête sur le support et permettant ainsi de « recaler » le tête. La précision est telle que l'on atteint des densités radiales de l'ordre de 1 245 Tpi (135 Tpi sur une disquette « classique » !). De plus, un tel lecteur est capable de reconnaître et de lire les classiques disquettes 3"1/2.

15.1.7 Evolution des disquettes

Aucun standard n'a encore réussi actuellement à détrôner la disquette 3"1/2 de 1,44 Mo et les constructeurs annoncent régulièrement des nouveautés qui doivent « révolutionner » le marché. L'alliance entre les sociétés Sony, Fuji, Teac et Alps avait annoncé pour le printemps 1998 de nouveaux lecteurs haute capacité dits HiFD (*High capacity Floppy Disk*) permettant de stocker 200 Mo sur des disquettes 3"1/2. Ces lecteurs devaient assurer la compatibilité en terme de lecteur de disquettes avec les traditionnelles disquettes 1,44 Mo. Cette technologie « ATOMM » et ces lecteurs devaient également offrir un taux de transfert intéressant de 3,6 Mo par seconde, soit 60 fois supérieur aux taux de transferts traditionnels. A priori, cette technologie n'a toujours pas émergé !

15.2 LES DISQUES AMOVIBLES

En dehors des « vrais » disques amovibles, qui ne sont souvent que des disques durs dans des boîtiers antichoc, on retrouve dans les revues cette appellation comme désignant en fait différents médias tels que les ZIP de Iomega… Le tableau suivant vous donne quelques caractéristiques de disques durs amovibles et de leur boîtier récepteur.

DISQUES AMOVIBLES

	Iomega Jazz	Nomaï 750C	Syquest Quest
Capacité	2 Go	750 Mo	4,7 Go
Technologie	Winchester	Winchester	Winchester
Facteur de forme	3,5 pouces	3,5 pouces	5,25 pouces
Interface	SCSI	SCSI	Ultra Wide SCSI
Temps d'accès	12 ms	10,5 ms	12 ms
Taux de transfert	6,7 Mo/s	5 Mo/s	10,6 Mo/s
Prix du lecteur	2 100 F	1 500 F	4 500 F
Prix approximatif du média	700 F	350 F	1 500 F

Le tableau suivant fournit quelques caractéristiques de concurrents à la disquette.

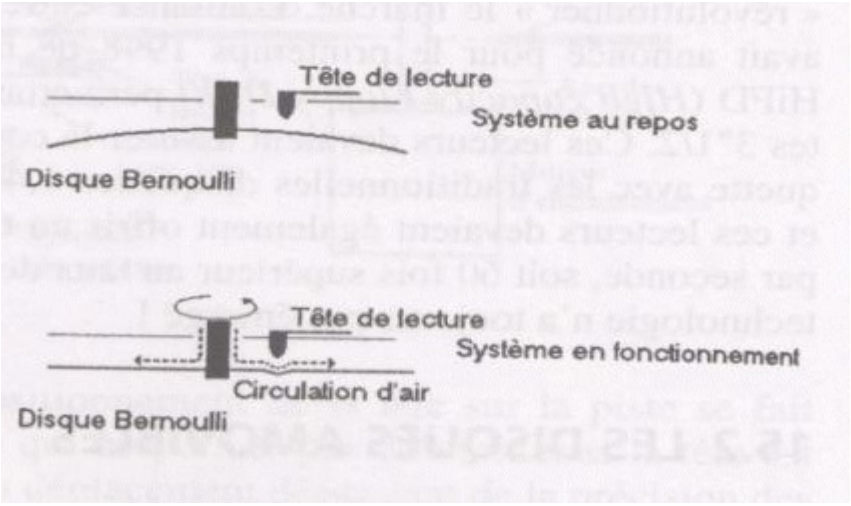
DISQUETTES GRANDE CAPACITÉ

	Zip Iomega	LS-120 Imation	Sony HIFD
Capacité	100 Mo	120 Mo	200 Mo
Interface	Parallèle & IDE	Parallèle & IDE	IDE
Temps d'accès	29 ms	70 ms	20 ms
Taux de transfert	1,4 Mo/s	0,5 Mo/s	3,4 Mo/s
Prix du lecteur	800 F	1 400 F	800 F
Prix approximatif du média	80 F	100 F	120 F

15.2.1 Le disque Bernoulli

Le disque Bernoulli doit son nom au mathématicien Suisse du 18ème siècle Bernoulli. Son principe de fonctionnement repose sur le fait que, quand la vitesse d'un fluide augmente, sa pression décroît.

Ce média offre un support combinant les caractéristiques du disque dur et de la disquette. En effet, il s'agit d'un disque souple tournant à grande vitesse dans un boîtier en plastique rigide, et où l'unique tête de lecture, située au-dessus du disque, n'est pas en contact avec le média ce qui évite les phénomènes d'abrasion des têtes et du support comme avec une disquette traditionnelle.



La cartouche Bernoulli offre ainsi des temps d'accès de l'ordre de 18 ms, dignes des technologies Winchester et une capacité allant jusqu'à 90 Mo sur un format 5"1/4. Elle est actuellement employée comme média dédié aux sauvegardes de disques durs.

EXERCICES

15.1 Un fabriquant de disquettes vend des disquettes non formatées avec la simple indication « 3.5 *Diskette*… 2,0 MB *capacity* » et vous constatez que la disquette est percée de deux trous carrés en haut. Quelle(s) capacité(s) utile pensez vous pouvoir utiliser ?

15.2 Vous n'avez plus que de vieilles disquettes formatées 720 Ko sous la main et le fichier que vous devez absolument sauver de toute urgence fait 1,20 Mo. Évidemment vous n'êtes pas sur votre machine, et la seule ressource logicielle dont vous disposiez est la commande format. Que pouvez-vous faire ?

SOLUTIONS

15.1 La présence des deux trous indique une disquette « haute densité » la capacité utile traditionnelle sera donc de 1,44 Mo. Si vous disposez d'un lecteur particulier, vous pouvez envisager de porter cette capacité à 1,8 Mo.

15.2 Armez-vous d'un cutter, ciseau, tournevis ou fer à souder… et faites un deuxième trou en haut de votre disquette comme sur une 1,44 Mo. Ensuite refaites un formatage à 1,44 Mo et, si votre disquette n'est pas de trop mauvaise qualité, vous allez disposer de la place nécessaire !

Chapitre 16

Disques optiques et cartes PCMCIA

La technologie informatique prépare chaque jour ce qui sera demain d'utilisation courante. C'est ainsi que les CD-ROM sont devenus d'un usage courant et que leur avenir technologique est en pleine effervescence. Nous présenterons dans ce chapitre :

- les disques optiques numériques,
- les cartes PCMCIA.

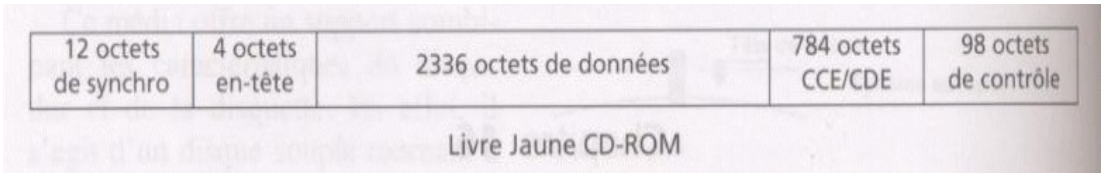
16.1 LE DISQUE OPTIQUE NUMERIQUE

Le disque optique numérique, ou DON, est le fruit de travaux menés, depuis 1970, sur les disques audio, compact-disques et vidéodisques. La terminologie employée varie selon les technologies utilisées et l'on trouve ainsi les abréviations de CD (*Compact Disk*), CD-ROM (*CD Read Only Memory*), WOM (*Write Only Memory*), WORM (*Write Once Read Many*), CD-R (*CD ROM Recordable*), CD-RW (*CD ROM Recordable & Writable*), ou autres DVD (*Digital Video Disk*)… C'est un média encore en forte évolution, notamment en ce qui concerne la « ré-inscriptibilité ».

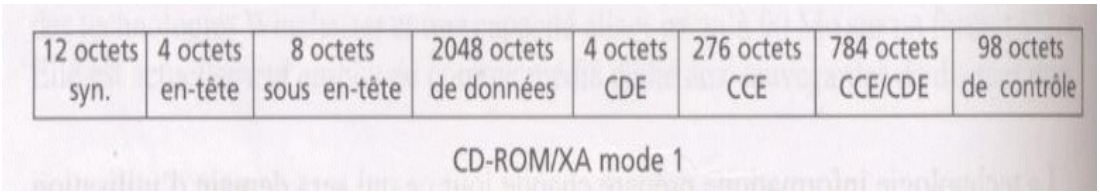
16.1.1 Historique et évolutions des normes

Le DON étant – toute proportion gardée – un média récent, puisque c'est en 1973 que Philips lance ses premiers CD Audio, on assiste encore à l'émergence de standards, décrivant les caractéristiques relatives aux enregistrements (format de données, codes de correction d'erreurs, codes de détection d'erreurs, vitesse de rotation,…).

En 1982, Philips et Sony normalisent le CD-Audio ou CD-DA, sous l'appellation de « Livre-Rouge ». En 1984-1985, de nombreux constructeurs mettent au point le CD-ROM High Sierra, normalisé ISO 9 660 en 1988. Celle-ci également mentionnée sous l'appellation de « Livre-Jaune ». Dans cette norme, données informatiques et audio cohabitent sur le disque mais dans des zones distinctes, ce qui oblige le lecteur à les lire séparément. La capacité de stockage est de 640 Mo sur une face d'un 5,25".



En 1986, Philips crée le CD-I (CD Interactif) – « Livre-Vert ». Conçu pour des applications multimédias, c'est un système propriétaire, en principe non reconnu par les autres lecteurs et nécessitant un équipement particulier. En 1988 Philips, Sony et Microsoft mettent au point la norme CD-ROM-XA (*eXtend Architecture*) – extension de la norme ISO 9 660 qui permet de gérer conjointement sons et images en utilisant des techniques de compression du son et d'entrelacement des données informatiques, sons et images. Une seconde version autorise la lecture des CD multisessions.



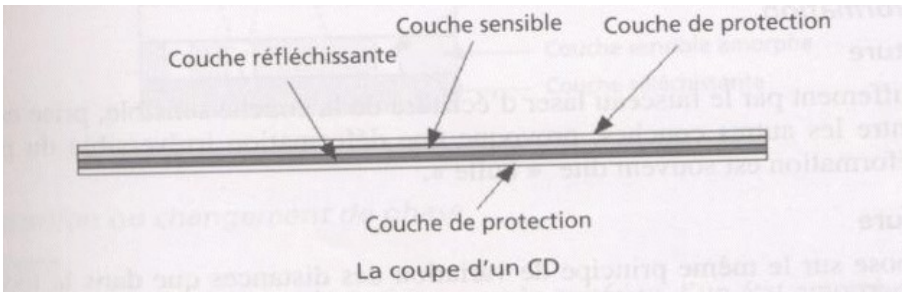
En 1990, Kodak met au point le CD-R (CD Réinscriptible) ou CD Photo, un DON inscriptible une fois mais qui peut être inscrit en plusieurs fois. Décrit par le « Livre-Orange » il nécessite des lecteurs multisessions. En 1993, est mis au point le Vidéo-CD ou « Livre-Blanc » mais sa capacité ne permet pas de dépasser 74 minutes de vidéo en plein écran malgré les techniques de compression MPEG mises en œuvre.

En 1996, Philips, Sony, Matsushita et Toshiba soutenus par IBM, HP, 3M… s'accordent sur un nouveau standard DVD (*Digital Video Disk*) permettant de stocker jusqu'à vingt-cinq fois plus de données que le CD-ROM classique. Sur une galette de la taille d'un CD-ROM actuel, il permet de stocker, en une seule couche, sept à huit fois plus de données par face et, avec deux couches sur chaque face, environ 17 Go. Au départ prévu avec des caractéristiques différentes selon les constructeurs, un accord semble actuellement être intervenu entre les divers prétendants au DVD qui deviendrait le… DVD (*Digital Versatile Disk*) « normalisé ».

16.1.2 Principes techniques d'écriture et de lecture

Les principes d'écriture et de lecture sont divers selon qu'il s'agit d'un simple CD « gravé », d'un CD réinscriptible, d'un DVD, d'un DVD-R… Le principe de base repose sur l'écriture et la lecture des

disques optiques numériques au moyen d'un faisceau laser plus ou moins réfléchi ou diffusé selon l'état de surface du média, permettant ainsi de coder les différents états binaires. L'intérêt du laser est de fournir, en fonction de la catégorie de laser employée – la « couleur » du laser dépendant de la longueur d'onde – un faisceau lumineux fin et intense autorisant une précision de l'ordre du micron, voir du 10ème de µ. On atteint ainsi une densité binaire importante à la surface du média. La distance entre la tête de lecture optique et le média n'influant pas sur la qualité de la lecture ou de l'écriture, on évite les risques d'atterrissage connus sur les disques durs. Le DON se compose généralement, à l'heure actuelle, d'une couche sensible très fine sur laquelle est stockée l'information, prise en sandwich entre une face réfléchissante et une ou deux faces transparentes, en plastique généralement, mais parfois en verre.



On distingue diverses techniques d'écriture et de lecture de l'information.

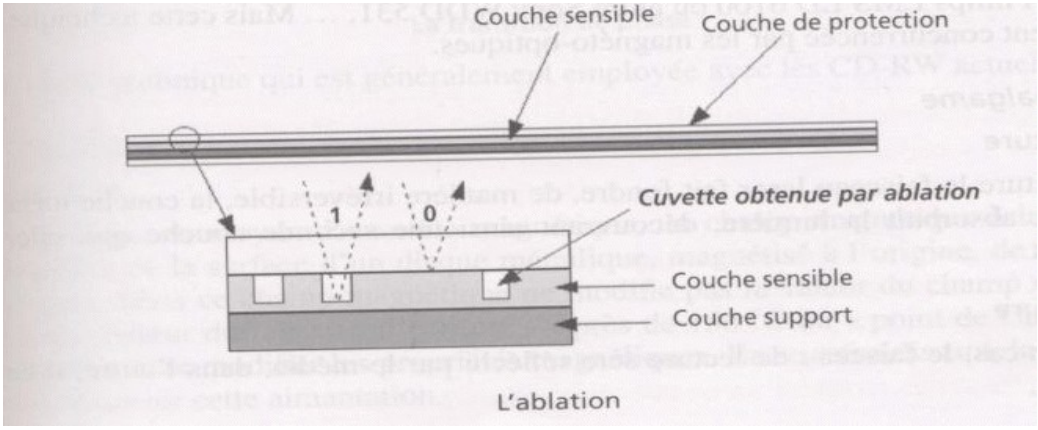
a) Ablation

- - Ecriture - -

Sous l'effet de la chaleur du faisceau émis par une diode laser d'écriture dont la longueur d'onde est en moyenne de 780 nm, le composé chimique – alliage de tellurium ou autre, … fond, créant une micro-cuvette qui permet de repérer un bit (1 par exemple). Cette technique est irréversible.

- - Lecture - -

Si le faisceau de lecture – moins puissant et n'endommageant pas de couche sensible – ne rencontre pas de cuvette, il sera réfléchi en phase avec l'onde émise alors que, dans le cas d'une ablation, la distance entre la tête de lecture et la surface réfléchissante augmente et l'onde réfléchie sera déphasée par rapport à l'onde émise. On distinguera donc une information différente de celle recueillie en l'absence de trou.



L'ablation peut être obtenue par pressage en usine ou par « brûlage » de la couche sensible au moyen d'un graveur de CD-ROM. L'enregistrement se présente sous la forme de micro-cuvettes, généralement codées en fonction de la suite binaire à inscrire au moyen d'une technique d'encodage dite EFM (*Eight to Fourteen Modulation*). Les temps d'accès en gravure – environ 1 200 Ko/s – sont encore très lents.

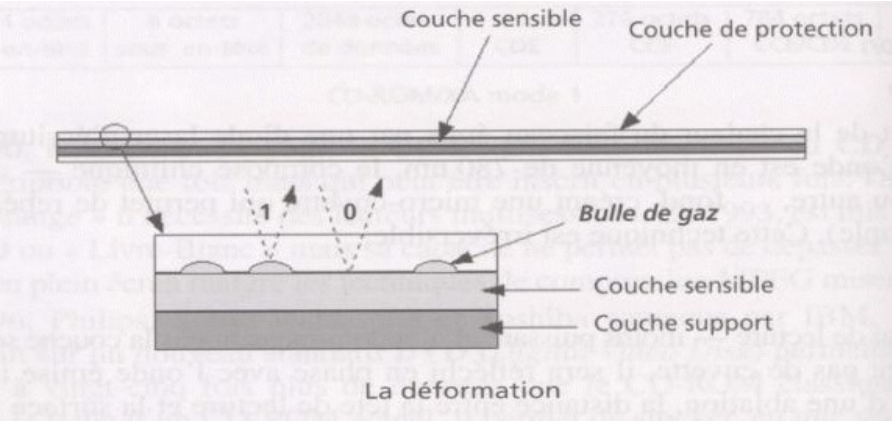
b) Déformation

- - Ecriture - -

L'échauffement par le faisceau laser d'écriture de la couche sensible, prise en sandwich entre les autres couches, provoque une déformation irréversible du produit, cette déformation est souvent dite « bulle ».

- - Lecture - -

Elle repose sur le même principe de variation des distances que dans la technique de l'ablation.



Cette technique est utilisée sur les WORM 12 pouces destinés au stockage-archivage d'informations tels que les ATG-Cygnet (Alcatel Thomson Gigadisk) VFD 16000, Philips LMS LD 6100 ou autre Sony WDD 531,… Mais cette technique est fortement concurrencée par les magnéto-optiques.

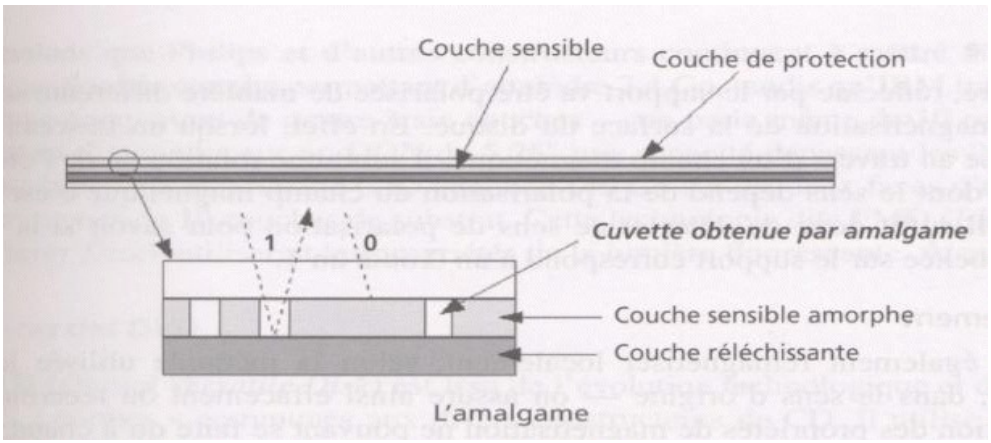
c) Amalgame

- - Ecriture - -

A l'écriture le faisceau laser fait fondre, de manière irréversible, la couche métallique qui absorbait la lumière, découvrant ainsi une seconde couche qui, elle, la réfléchit.

- - Lecture - -

Dans un cas, le faisceau de lecture sera réfléchi par le média, dans l'autre, il ne le sera pas.



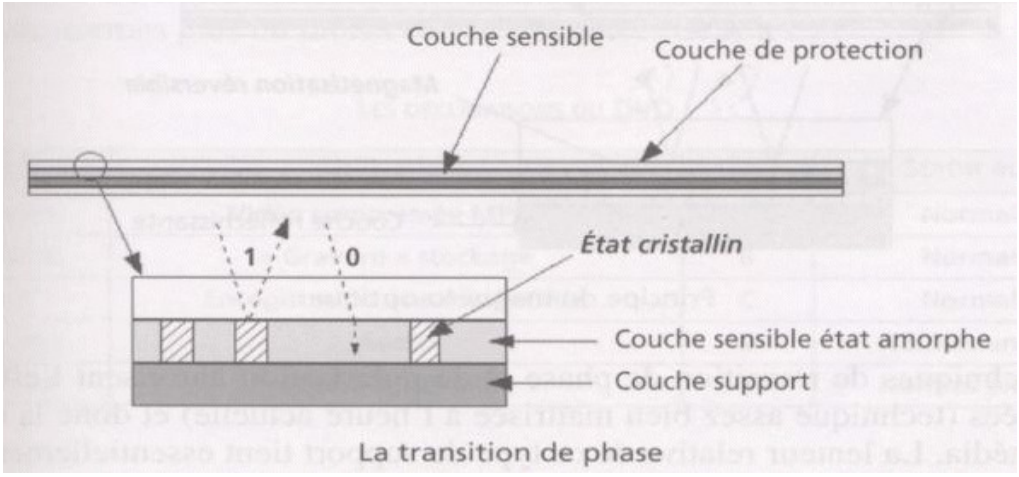
d) Transition ou changement de phase

- - Ecriture - -

Une forte intensité du faisceau laser fait passer le matériau d'un état amorphe (absorbant la lumière) à un état cristallin (réfléchissant la lumière).

- - Lecture - -

le principe est le même que dans la technique de l'amalgame.



C'est la technique qui est généralement employée avec les CD-RW actuels.

e) Polarisation

- - Ecriture - -

On applique, au moyen d'une tête magnétique, un champ magnétique à la zone à enregistrer de la surface d'un disque métallique, magnétisé à l'origine, de manière uniforme. Mais ce champ magnétique ne modifie pas la valeur du champ originel. C'est la chaleur du faisceau d'écriture – près de 150 °C ou « point de Curie » - qui permet d'en modifier les propriétés magnétiques. En se refroidissant, la zone va alors conserver cette aimantation.

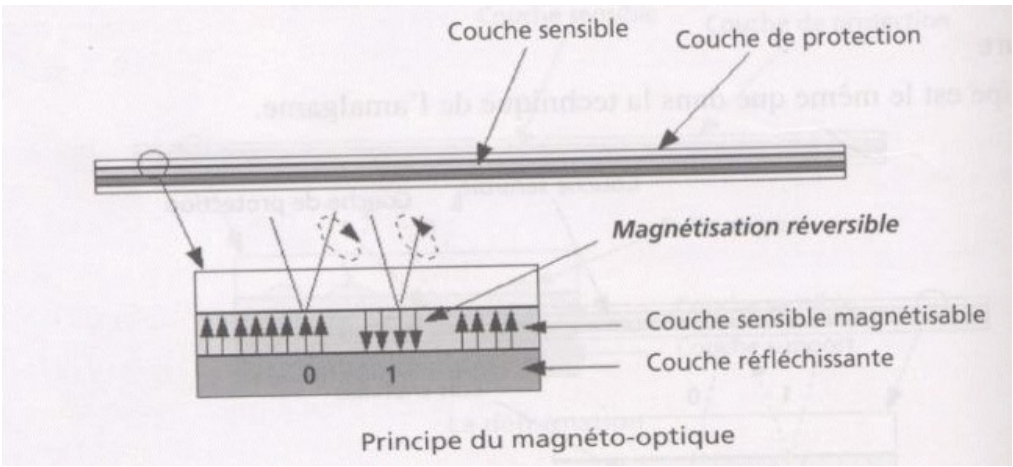
- - Lecture - -

La lumière, réfléchie par le support va être polarisée de manière différente selon le sens de magnétisation de la surface du disque. En effet, lorsqu'un faisceau lumineux passe au travers d'un champ magnétique, il subit une rotation – de l'ordre du degré – dont le sens dépend de la polarisation du champ magnétique c'est l'effet de Kerr. Il suffit donc de détecter ce sens de polarisation pour savoir si la valeur binaire stockée sur le support correspond à un 0 à un 1.

- - Effacement - -

On peut également remagnétiser localement, selon la méthode utilisée lors de l'écriture, dans le sens d'origine – on assure ainsi effacement ou réécriture. La modification des propriétés de magnétisation ne pouvant se faire qu'à chaud, il n'y a donc à froid aucun risque de démagnétisation accidentelle des données.

Cette technologie est employée sur les disques dits magnéto-optiques et permet d'obtenir des temps d'accès de l'ordre de 35 à 90 ms, donc plus rapides que sur les CD-ROM traditionnels.



Ces techniques de transition de phase et de polarisation autorisent l'effacement des données (technique assez bien maîtrisée à l'heure actuelle) et donc la réutilisation du média. La lenteur relative de ce type de support tient essentiellement au fait qu'avant d'écrire une information, on doit effacer la zone où l'on veut écrire cette donnée. On avait classiquement trois tours de disque (effacement, écriture, vérification) ce qui, bien évidemment, pénalisait le temps d'accès moyen. On arrive maintenant, avec la technique LIM-DOW

(*Light Intensity Modulation for Direct Over Write*), à réécrire sur un seul tour. La gain procuré est d'environ 10 % mais le temps d'accès reste encore lent.

A l'heure actuelle les magnéto-optiques existent sous les deux facteurs de forme 3,5" et 5,25". Très peu utilisés, les premiers offrent une capacité de 128 Mo (voire 350 Mo pour le dernier sorti de chez Canon) et des temps d'accès moyen de 35 ms pour les plus performants. Les seconds offrent actuellement une capacité de 640 Mo à 1,3 Go, avec des temps d'accès avoisinant les 28 ms pour les plus performants.

Signalons que Philips et d'autres constructeurs continuent à mettre au point la technique double couche permettant d'atteindre 7,4 Go, tandis qu'IBM travaille sur un disque comportant de quatre à six couches – on parle même de 10 couches – permettant d'atteindre sur un DON de 5,25" une capacité dépassant les 20 Go. De son côté la société américaine C3D annonce 140 Go sur les deux faces d'un format 5,25" composé de 10 couches de substrat. Cette technologie dite FMD (*Fluorescent Multi layer Disk*) utiliserait les propriétés de la lumière fluorescente. A suivre…

f) Le cas des DVD

Le DVD (*Digital Versatile Disk*) est issu de l'évolution technologique et de l'adoption de « normes » communes aux divers constructeurs de CD. Il utilise une nouvelle technologie de faisceau laser, dit « rayon bleu », de
635 mm de longueur d'ondes, dix fois plus précis que le laser classique « rayon rouge » de 780 mm de longueur d'ondes utilisé sur les CD-R. Grâce à la précision de ce nouveau laser bleu, l'espace entre pistes passe à 0,74 µ contre 1,6 µ pour un CD-R et la taille des cuvettes représentant l'information passe de 0,83 µ à 0,4 µ. Tout ceci fait que l'on peut lire trois fois plus de données avec une même vitesse de rotation, augmentant de fait les taux de transfert. Il devrait donc offrir un débit de 1,5 Mo/s, qu'il est prévu de porter à 4,5 Mo/s avec un temps d'accès inférieur à 100 ms.

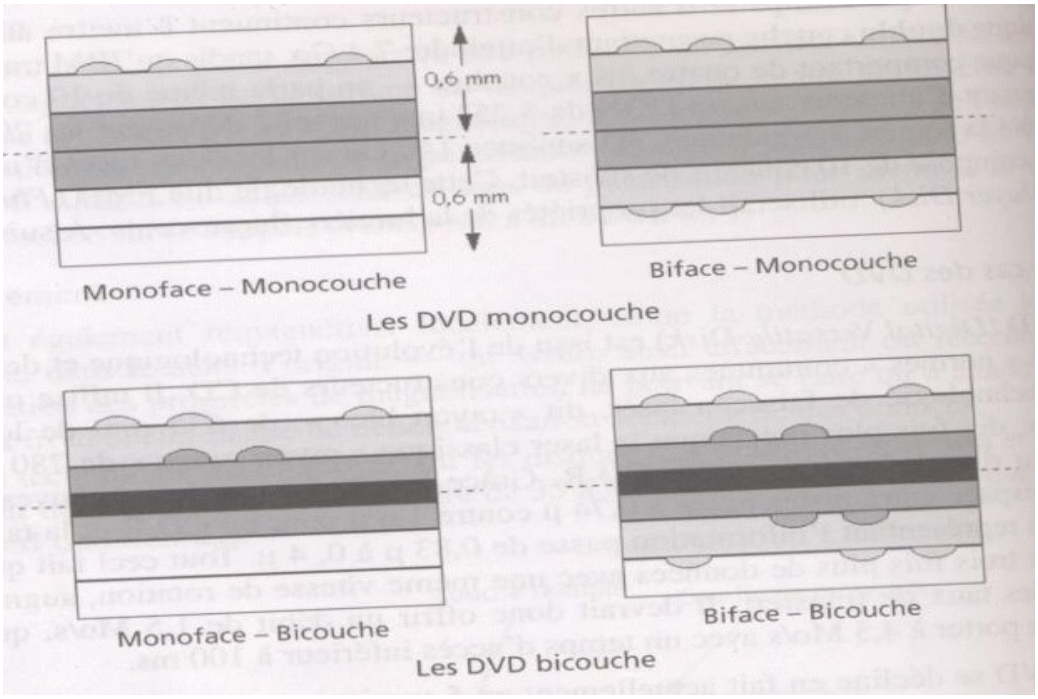
Le DVD se décline en fait actuellement en 5 versions couvertes chacune par un « livre » de normes plus ou moins établies et notées de A à E.

LES DÉCLINAISONS DU DVD

Produit	Utilisations	Livre	Statut actuel
DVD vidéo	Vidéo compressée MPEG2	A	Normalisé
DVD-ROM	« Gravure » stockage	B	Normalisé
DVD-R	Enregistrable une fois WORM	C	Normalisé
DVD Audio	Audio	D	Normes en cours
DVD-RAM	Réenregistrable	E	Normes en cours

Cependant, il existe plusieurs déclinaisons du support à l'intérieur de certaines catégories selon le nombre de faces – de 1 à 2, et le nombre de couches utilisées – de 1 à 2 par face. Bien entendu la capacité de stockage sera en relation directe avec ces données.

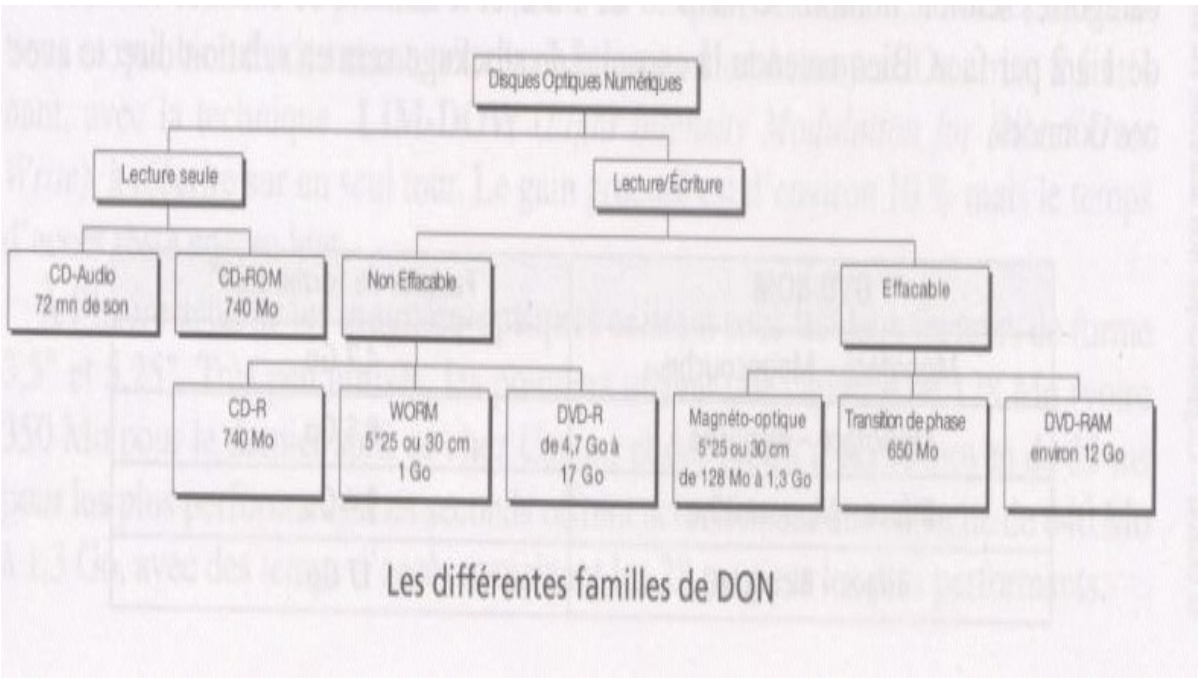
DVD-ROM	Facteur de forme 5,25"
Monoface – Monocouche	4,7 Go
Monoface – Bicouche	8,5 Go
Biface – Monocouche	9,4 Go
Biface – Bicouche	17 Go



Utilisant ces nouvelles technologies, un DVD-R (*Recordable*) doit voir le jour bientôt avec une capacité envisagée de 4,7 Go par face et par couche soit 18,8 Go au total, ainsi qu'un DVD-RAM (réinscriptible) d'une capacité de 2,6 Go par face et par couche.

16.1.3 Monosession, multisessions

Quand le DON inscriptible est écrit en une seule fois, il est dit monosession. Si, en revanche, il est possible d'enregistrer des informations en plusieurs fois, il est alors dit multisessions. Le lecteur doit donc être capable de reconnaître que le CD a été enregistré en plusieurs fois et que la fin de l'enregistrement lu n'est pas la fin du disque. Il est dit à ce moment-là lecteur multisessions. Ce pendant, le fait d'enregistrer un CD en multisessions fait perdre 10 Mo de données pour chaque session du fait du marquage de la fin de session. Il convient donc de ne pas trop multiplier les sessions.



16.1.4 Principes d'organisation

L'organisation des DON repose sensiblement sur les principes utilisés dans les disques magnétiques. Toutefois, contrairement au disque dur où chaque secteur occupe une zone délimitée par un angle et est donc de plus en plus petit au fur et à mesure que l'on s'approche du centre, sur un DON chaque secteur – dit aussi bloc – est de même longueur, et les secteurs sont enregistrés sur une spirale de plus de 50 000 tours, comme sur un disque vinyle. Cette spirale commence à proximité de l'axe de rotation.

Sur les DON – jusqu'aux types CDx10 ou CDx12 – la technique d'encodage utilisée est dite à vitesse linéaire constante CLV (*Constant Linear Velocity*). Elle permet d'obtenir une densité d'enregistrement

importante en conservant la même densité d'enregistrement, que l'on soit sur l'extérieur ou sur l'intérieur du plateau.

Cependant, cette technique impose de faire varier la vitesse de rotation du disque selon que l'on lit ou écrit des secteurs extérieurs ou intérieurs du disque – de 200 tpm sur la piste extérieure à plus de 6 000 tpm sur la piste centrale suivant les lecteurs. On atteint même 36 000 tours/mn avec certains plateaux en verre. Or, si à petite vitesse une légère déformation du disque ou une légère vibration du CD dans son lecteur est sans importance, à haute vitesse ces phénomènes engendrent des erreurs de lecture de plus en plus nombreuses. Il fallait donc trouver d'autres solutions techniques pour améliorer encore ces performances. On s'est donc retourné vers le CAV (*Constant Angular Velocity*) utilisé sur les disques durs. L'appellation des lecteurs change éventuellement et prend le complément max. Par exemple on trouvera un CDx44 max.

Il faut noter que selon les cas les lecteurs sont Full CAV c'est-à-dire que la technique du CAV est utilisée pour tout le CD, que les données soient situées à l'extérieur ou à l'intérieur du plateau ou PCAV (*Partial CAV*) où la technique classique CLV sera utilisée à l'extérieur du plateau et la technique CAV à proximité de l'axe de rotation. C'est pourquoi on emploie parfois les termes de CD 12-24x, par exemple, pour indiquer qu'une partie du disque sera lue à la vitesse 12x et l'autre partie à la vitesse 24x.

Les lecteurs de CD-ROM sont souvent répertoriés en fonction de leur vitesse de transfert. Attention, ces taux de transferts sont souvent théoriques, puisque selon ce que l'on vient d'énoncer précédemment, les vitesses sont amenées à varier.

On est ainsi passé d'un taux de transfert initial – CDx1 – de 150 Ko/s à :

300 Ko/s avec le CDx2, CD 2x ou double vitesse,
600 Ko/s avec le CDx4, CD 4x ou quadruple vitesse,
CD 8x, CD 12x, CD 24x, CD 32x, CD 40x,
6 600 Ko/s avec le CD 44x…

Hitachi et Pioneer annoncent maintenant un CD52x

Compte tenu de leurs énormes capacités de stockage – notamment quand ils sont associés sous forme de juke-boxes – et d'une diminution régulière des temps d'accès et des coûts, ils connaissent déjà un usage courant dans le stockage de données.

Toutefois, ils sont encore fortement concurrencés par les disques durs classiques dont le rapport capacité/ prix est resté très concurrentiel et dont les temps d'accès demeurent très inférieurs à ceux des DON les plus performants.

Les graveurs permettent donc d'enregistrer les informations sur ces divers supports. A l'origine limités aux seuls CD-R, ils combinent maintenant CD-R et CD-RW voire DVD.

Les vitesses exprimées sont généralement celles de l'écriture et de la lecture. Ainsi, un modèle tel que le Yamaha CDW8424 écrit les CD-R en 8x, les CD-RW en 4x et lit les CD à une vitesse maximale de 24x.

16.2 LA CARTE PCMCIA

La carte PCMCIA (*Personal Computer Memory Card International Association*) ou PC-Card a été définie en 1989. Elle se présente sous le format d'une carte de crédit autorisant l'ajout d'extensions périphériques généralement associées à des ordinateurs portables. Elle permet de supporter de la mémoire flash, mais aussi disques durs, des modems, … destinés la plupart du temps à des ordinateurs portables.

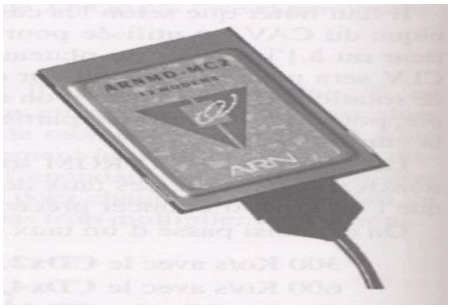
La norme PCMCIA – actuellement version 3.0 – assure la reconnaissance de la carte par le système informatique grâce au CIS (*Card Information Structure*) qui est un code, fourni sur la carte, indiquant l'organisation et le format des données que cette carte contient, les ressources dont elle a besoin pour fonctionner…

La norme intègre également des « *Sockets Services* », qui assurent la liaison de la carte avec le BIOS du micro en gérant l'aspect matériel du système et des « *Card Service* » chargés d'allouer dynamiquement les ressources disponibles du système (mémoire, niveaux d'interruptions, …). Elle assure également, depuis la version 3.0, un service CardBus 32 bits (*Bus Master*) destiné à suivre les tendances actuelles du marché, un service de gestion de l'alimentation, …

Le CardBus et le bus PCI ont certains points communs tels que la fréquence de 33 MHz en 32 bits et un débit théorique maximum de 132 Mo/s. Toutefois il n'est pas encore évident de relier directement une carte PCMCIA à un bus PCI, c'est ce que tente de faire Texas Instruments avec son bus *Advanced* PCI.

La PC Card existe actuellement en trois versions standardisées selon leur épaisseur (Type I de 3,3 mm, Type II de 5 mm, et enfin Type III jusqu'à 10,5 mm). La compatibilité est ascendante au niveau du

connecteur 68 broches (une Type III reconnaissant une Type II). Elles ont toutes la même longueur et la même largeur 85,6 * 54 mm, sensiblement celles d'une carte de crédit.



Une carte PCMCIA permet actuellement de stocker de 40 à 512 Mo de mémoire flash, de mémoire vive statique SRAM ou de mémoire morte Eprom ou EEprom. On peut ainsi enregistrer sur ce type de carte des systèmes d'exploitation, des logiciels tels que Windows ou autres applicatifs.

Les cartes PCMCIA se rencontrent ainsi sous plusieurs formes :

- Les cartes Type I sont essentiellement utilisées comme mémoire Eprom, mémoire flash, adaptateur SCSI, …

- Les cartes de Types II peuvent recevoir de la mémoire flash ou des modems, fax modem, fonctions réseau, …

- Les cartes de Types III intègrent des disques durs de 1,8 pouce avec des capacités allant de 40 à plus de 400 Mo !

- Les cartes dites Combo permettent d'associer plusieurs types de composants au sein d'une même carte PCMCIA.

EXERCICES

16.1 Une revue vous propose un lecteur de CD-ROM « 24x ATAPI » à 690 F TTC et un lecteur de la marque « P… SCSI 12x » à 790 F TTC que signifient ces désignations ?

16.2 Petit QCM

a) Dans un lecteur de CD-ROM la tête de lecture

1. « flotte » au-dessus du disque quand il est en rotation ;
2. est en contact avec le disque ;
3. n'est jamais en contact avec le CD.

b) Sur un CD-ROM

1. on peut rencontrer plusieurs pistes ;
2. il n'y a toujours qu'une piste ;
3. actuellement il y a jusqu'à 1 000 pistes.

SOLUTIONS

16.1 Dans la référence du lecteur de CD-ROM 24 x ATAPI on constate qu'il s'agit d'un lecteur offrant un taux de transfert de 3 600 Ko/s car le lecteur tourne à x 24 ce qui est assez rapide actuellement bien que les 32x connaissent un essor important.

En ce qui concerne ATAPI il s'agit du type de contrôleur accepté, en l'occurrence un contrôleur EIDE (*Enhanced* IDE), dit aussi ATA-2 ou Fast-ATA-2, qui permet de gérer des disques

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

de grande capacité (500 Mo et plus) ainsi que les CD-ROM à la norme ATAPI (ATA *Packet Interface*).

Dans la référence du graveur de CD-ROM P… SCSI 2x/6x on constate qu'il s'agit d'un graveur offrant un taux de transfert en écriture de 300 Ko/s car le lecteur tourne à x2 ce qui est la référence aujourd'hui. La deuxième indication de vitesse signifie que le graveur est capable de lire des CD-ROM à une vitesse de x6 ce qui, pour un graveur, est tout à fait acceptable actuellement.

En ce qui concerne SCSI (*Small Computer System Interface*) il s'agit du type de contrôleur accepté, de plus en plus adopté par les constructeurs pour les disques durs haut de gamme et pour certains lecteurs ou graveurs de CD-ROM. Sa vitesse de transfert est de l'ordre de 4 à 40 Mo/s selon la largeur du bus et le standard SCSI employé (SCSI-1 à 4 Mo/s, SCSI-2, SCSI-3, Wide (*Fast*) SCSI à 20 Mo/s, Ultra Wide SCSI à 40 Mo/s, …).

16.2 *a)* Bien entendu la tête de lecture ne « flotte » pas comme sur un disque dur, et elle est encore moins en contact avec le disque comme sur un lecteur de disquette. La bonne réponse était la réponse 3.

b) La bonne réponse est ici la réponse 1. En effet, bien qu'il n'y ait généralement qu'une seule piste (un seul « sillon » en fait). Il est possible d'en rencontrer un peu plus, notamment dans le cas d'un CD multisessions, ayant été gravé ou enregistré en plusieurs fois.

Chapitre 17

Systèmes de gestion de fichiers

17.1 ETUDE DES SYSTEMES DE GESTION DE FICHERS

Les systèmes de gestion de fichiers – ou SGF – ont pour rôle d'organiser et d'optimiser, l'implantation des données sur les disques. Il est relativement important de connaître cette organisation car le disque est souvent source d'erreurs et représente l'un des goulots d'étranglement du système en terme de performances (rappelez-vous du rapport 1/1 000 000 entre le temps d'accès disque mesuré en ms, soit 10^{-3}, et le temps d'accès en mémoire mesuré en ns, soit 10^{-9}). La connaissance du SGF permet donc de retrouver et de corriger une zone endommagée, de repérer certains virus, d'optimiser les performances du système en comprenant l'importance d'opérations telles que la défragmentation ou la compression de fichier, …

Les systèmes de fichiers que l'on rencontre généralement sur les machines utilisées en informatique de gestion sont :

- FAT (*File Allocation Table*) très répandu dans le monde micro,
- HPFS (*High Performance File System*) utilisé surtout avec OS/2,
- NTFS (*Windows NT File System*) utilisé uniquement sur Windows NT,
- UNIX et ses variantes utilisé plutôt sur les gros systèmes (*mainframe*)…
- CDFS utilisé pour la gestion des CD-ROM.

Nous étudierons lors de ce chapitre :

- le système de gestion de fichier de type FAT très répandu dans le monde des compatibles PC, micro-ordinateurs et petits serveurs,

- le système de fichiers NTFS utilisé sur les serveurs de fichiers ou d'applications, spécifiquement réseau de type Windows NT.

COMPARAISON DES PRINCIPAUX SGF

Système de fichiers	FAT	HPFS	NTFS	Unix
Nom de fichiers (en caractères)	8 + 3 caractères détourné / W95	254	256	14 illimité ?
Répertoires (dossiers)	Non triés	BTree	BTree	Non triés
Lecteur logique réparti sur plusieurs disques physiques	Non	Non	Oui	Non
Mirroring	Non	Oui	Oui	
Journalisation des activités	Non	Oui	Oui	Oui
Type d'adressage des fichiers sur les volumes	16 bits (32 / W95)		64 bits	32 bits
Taille max. d'une partition	4 Go		2 048 Go	
Attribution aux utilisateurs de droits d'accès	Non	Oui	Oui	Oui

17.1.1 Préambules

a) Rappels sur le formatage

Le – on devrait dire les – formatage est une opération qui consiste à préparer un disque de manière à ce qu'il puisse accueillir et ranger les informations que l'on souhaite y stocker. On trouve en fait deux niveaux de formatage :

> Le formatage de bas niveau

Pré-formatage ou formatage physique, généralement effectué en usine, le formatage bas niveau peut être réalisé à l'aide d'un utilitaire. Ce formatage consiste à subdiviser le disque dur en pistes (cylindres) et en secteurs. Pour cela l'utilitaire détermine la taille correcte des secteurs à utiliser, le nombre de pistes et le nombre de secteurs par piste.

La taille des secteurs, très généralement 512 o, est définie en se basant sur les caractéristiques physiques du disque, et les secteurs sont créés en écrivant, sur les entêtes de secteur, les adresses appropriées et en plaçant des informations de correction d'erreur afin d'éviter d'utiliser des secteurs physiquement défectueux.

> Le formatage logique

Le formatage logique est celui que l'on réalise sous DOS par le biais de commande FORMAT. Il consiste à placer des informations complémentaires, selon le système de gestion de fichiers employé, dans les secteurs définis lors du formatage de bas niveau.

Lors de cette opération chaque secteur est numéroté et il est à noter que pour diverses raisons, tells que : vitesse du disque nécessitant un éventuel entrelacement, secteurs marqués physiquement défectueux ou autres ; les secteurs qui apparaissent logiquement comme étant des secteurs successifs (secteur 1, secteur 2, 3, 4, …) ne le sont peut être pas réellement sur le disque.

Les informations enregistrées lors d'un formatage logique sont :

- écriture du secteur d'amorçage des partitions,

- enregistrement de l'octet d'Identification système (ID System) dans la table des partitions du disque dur,

- informations du système de fichiers sur l'espace disponible, l'emplacement des fichiers et des répertoires, …

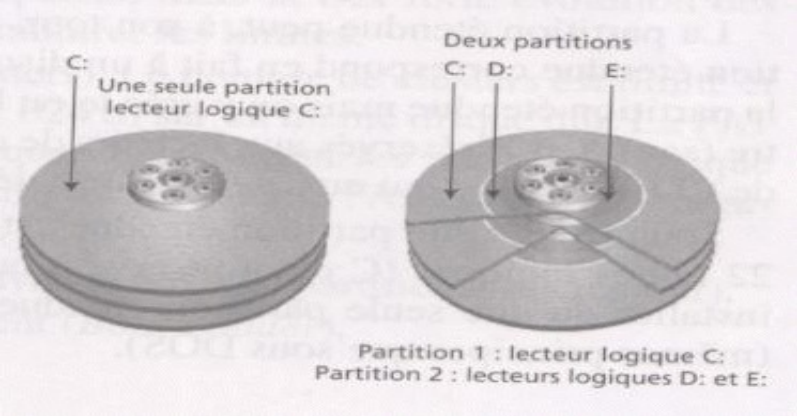
- repérage des zones endommagées, …

Une petite exception peut être faite en ce qui concerne les disquettes où formatage physique (de bas niveau) et formatage logique sont confondus et réalisés en une seule opération. Entre l'opération de formatage bas niveau et de formatage logique on réalise si besoin le partitionnement des volumes.

b) Notions de partitions (*Divisions, séparations*)

La partition est une zone d'un disque dur pouvant être affectée au rangement des informations. On peut ainsi « découper » un volume physique en un certain nombre de partitions. C'est le rôle de l'utilitaire FDISK sous DOS.

Chaque partition peut ensuite être formatée de telle manière qu'un système de gestion de fichier, éventuellement de type différent, puisse y être logé. Il est possible d'avoir une partition de type FAT, cohabitant avec une partition de type NTFS et une partition Unix. Le repérage de ces partitions sera fait grâce à une table de partitions située dans un enregistrement particulier dit enregistrement d'amorçage principal (nous y reviendrons).



EXEMPLE DE PARTITIONNEMENT

Disque 0 400 Mo	C: FAT 400 Mo			
Disque 1 800 Mo	D: NTFS 500 Mo	F: FAT 50 Mo	G: FAT 30 Mo	H: Unix 220 Mo

On distingue deux types de partitions : partition principale et partition étendue.

> Partition principale

Elle est reconnue par le BIOS (*Basic Input Output System*) comme susceptible d'être amorçable, c'est-à-dire que le système peut démarrer à partir de ce lecteur.

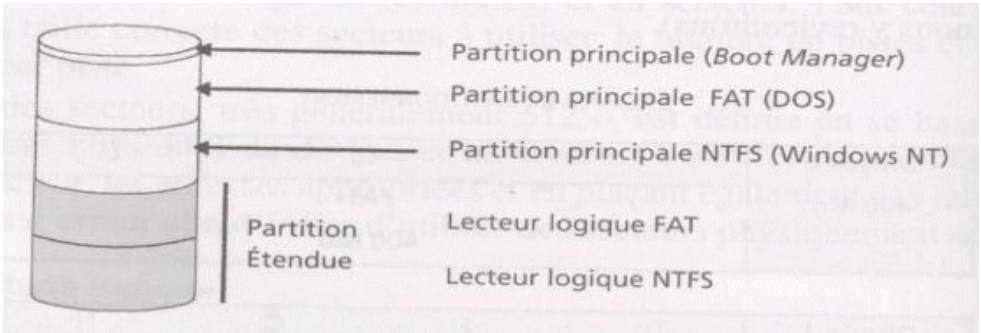
La partition principale comporte en conséquence un secteur d'amorçage qui lui-même contient l'enregistrement d'amorçage principal ou MBR (*Master Boot Record*), stocké sur le premier secteur du disque (cylindre 0, tête 0, secteur 0 – parfois noté secteur 1). Cet enregistrement d'amorçage principal contient la table des partitions où résident les informations relatives aux partitions définies sur le disque. Sous DOS on peut créer, en principe, une unique partition principale ou partition primaire PRI-DOS, anciennement limitée à 32 Mo. Sous Windows NT on ne peut pas diviser la partition principale et un maximum de quatre partitions principales peuvent être installées sur un disque (dans ce dernier cas il n'y aura pas de partition étendue). Une seule partition principale peut être active et contient le gestionnaire de démarrage (*Boot Manager*) qui permettra de choisir entre les différents systèmes d'exploitation implantés. Les fichiers composant ces systèmes d'exploitation pouvant, eux, être implantés sur des partitions différentes.

> Partition étendue

L'espace disque non défini dans les partitions principales, mais devant être utilisé, est défini dans une ou plusieurs partitions étendues.

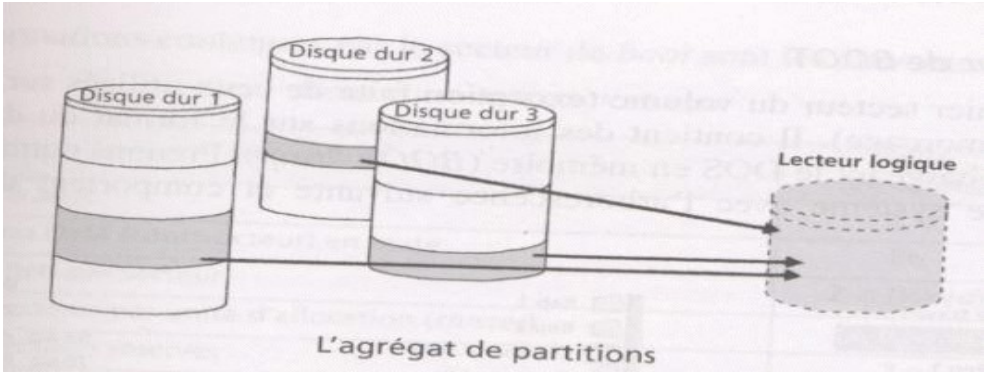
La partition étendue peut, à son tour, être divisée en lecteurs logiques. La partition étendue correspond en fait à un disque logique. On ne formate pas directement la partition étendue mais on y crée le ou les lecteurs logiques – repérés par une lettre (sauf A et B réservés aux lecteurs de disquettes et D réservé en général au lecteur de CD-ROM) – qui eux, seront formatés.

Sous DOS, cette partition étendue est dite « EXT-DOS » et peut contenir jusqu'à 22 unités logiques (C étant réservé à la partition principale). Sous NT, on ne peut installer qu'une seule partition étendue qui peut être divisée en lecteurs logiques (mêmes principes que sous DOS).



> Lecteurs logiques

Les lecteurs logiques divisent les partitions étendues en sous-groupes. Il est possible de diviser de grands disques en lecteurs logiques pour maintenir une structure de répertoire simple. Sous Windows NT volume logique et volume physique sont à différencier. En effet, non seulement on peut créer des partitions sur un même volume mais un volume logique (E par exemple) peut recouvrir plusieurs parties de disques physiques différents (disque 1, disque 2, disque 3 par exemple) – c'est « l'agrégat de partitions ».



17.1.2 Etude du système FAT

Le système FAT (*File Allocation Table*) ou table d'allocation des fichiers est utilisé sur les machines de type compatible PC (MS-DOS, Windows 3.x, Windows 95, Windows NT 4.0, …). C'est donc l'un des plus employé actuellement sur les micros et même sur de petits serveurs. La technique de la FAT a été conçue à l'origine pour gérer les disquettes de faible capacité, mais la très forte évolution des capacités des disques durs commence à en montrer les limites.

La FAT divise le disque dur en blocs (clusters : groupe, grappe, bloc) Le nombre de clusters est limité et ils ont tous la même capacité (par exemple 1 024 o) sur un même disque dur. La FAT contient la liste de tous ces blocs dans lesquels se trouvent les parties de chaque fichier. Quelle que soit sa taille un disque utilisant le système FAT est toujours organisé de la même manière, on y trouve ainsi :

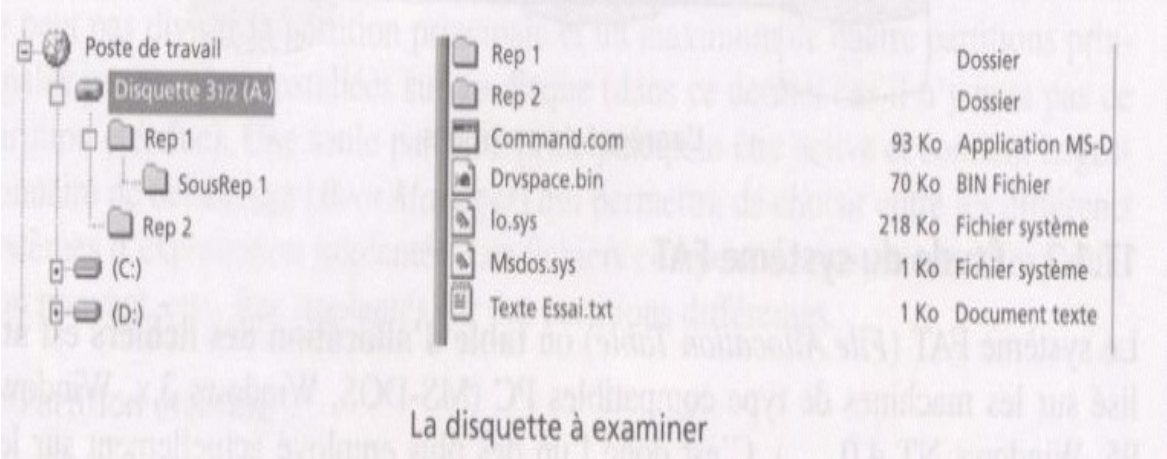
- un enregistrement d'amorçage principal avec la table de partitions (disque dur),
- une zone réservée au secteur de chargement (*Boot Loader*),
- un exemplaire de la FAT,
- une copie optionnelle de la FAT,
- le répertoire principal (*Root Directory*) ou dossier racine,
- la zone des données et sous-répertoires.

Sur le disque on rencontre tout d'abord l'enregistrement d'amorçage principal suivi du secteur d'amorçage de la partition. Sur la disquette, de très petit volume, on ne pourra pas créer de partitions. L'enregistrement d'amorçage principal n'existe donc pas et le secteur de boot avec le code d'amorçage se situe piste 0 secteur 0, alors que sur un disque dur on va rencontrer, sur ce secteur 0, l'enregistrement d'amorçage principal qui occupe tout le cylindre soit autant de secteurs qu'il en comporte.

Par la suite nous allons considérer une disquette formatée sous Windows 95 – d'où certaines différences avec une disquette formatée sous DOS, car Windows 95 utilise une technique un peu particulière de la FAT appelée V-FAT (*Virtual FAT*) ou FAT étendue, destinée à gérer les noms longs. Nous étudierons également un disque dur à 63 secteurs (numérotés de 0 à 62). C'est ainsi que, compte tenu de la présence sur le disque dur du secteur d'amorçage inexistant sur la disquette, on trouvera le secteur de boot de la disquette au secteur 0 alors que celui du disque commencera au secteur 63. L'examen du secteur d'amorçage sera fait plus loin dans le chapitre.

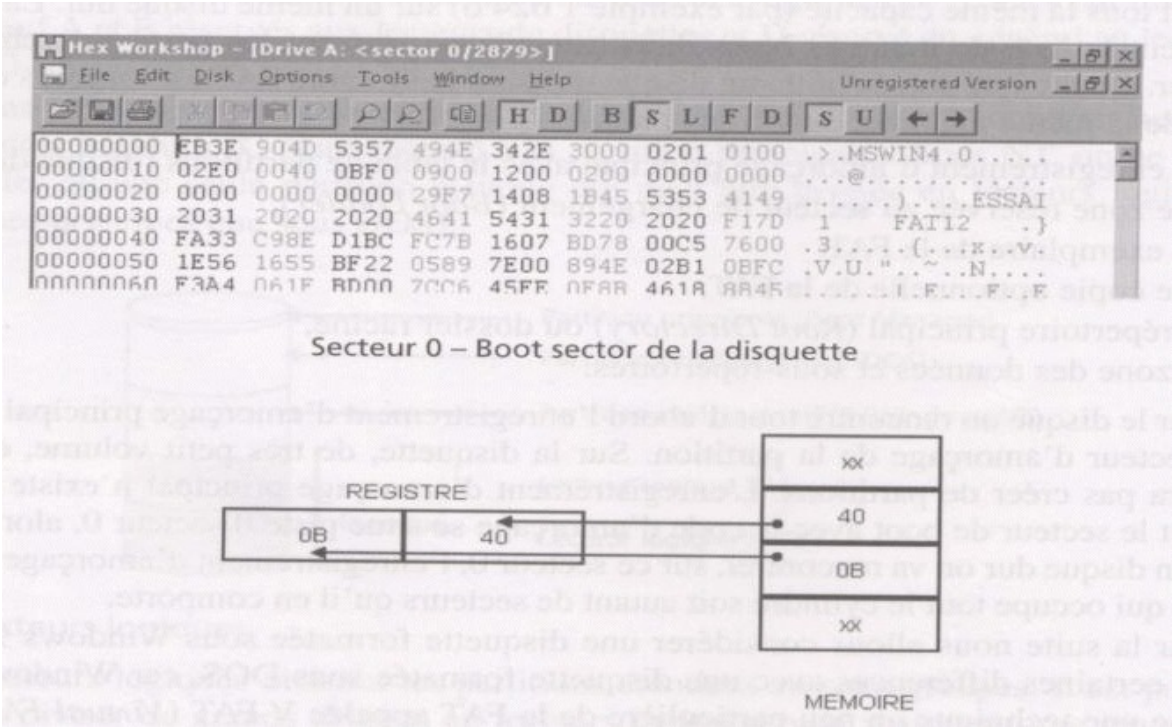
a) Le secteur de BOOT

C'est le premier secteur du volume (exception faite de ceux utilisés sur le cylindre réservé à l'amorçage). Il contient des informations sur le format du disque et un programme chargeant le DOS en mémoire (*BOOT Strap*). Prenons comme exemple une disquette système avec l'arborescence suivante et comportant des secteurs défectueux.



La disquette à examiner

On édite (ici avec le shareware HWoks32.exe) le secteur 0 (*Boot Sector*), situé au début de la disquette (piste extérieur – piste 0) où on trouve les informations suivantes :



Secteur 0 – Boot sector de la disquette

Attention, avec les processeurs Intel x86, compte tenu de ce que l'on charge d'abord la partie basse des registres, les mots sont en faits « à l'envers ». Ainsi 40 0BH devra se lire 0B 40H. Ceci est valable également pour des registres d'une taille supérieure à 2 octets.

Les informations contenues par le secteur de *boot* sont les suivantes :

DESCRIPTION DU SECTEUR DE BOOT

Descriptif	Taille (en octets)	Offset
Instruction de saut	3 o	00_H
Nom & version OEM (constructeur) en texte	8o	03_H
Nombre d'octets par secteur	2 o (*Word*)	$0B_H$
Nombre de secteurs par unité d'allocation (*cluster*)	1o (*Byte*)	$0D_H$
Nombre de secteurs réservés	2 o	$0E_H$
Nombre de tables d'allocation (FAT)	1 o	10_H
Taille du répertoire principal	2 o	11_H
Nombre de secteurs sur le volume (Petit nombre)	2 o	13_H
Descripteur du disque	1 o	15_H
Taille des FAT en nombre de secteurs	2 o	16_H
Nombre de secteurs par piste	2 o	18_H
Nombre de têtes	2 o	$1A_H$
Nombre de secteurs cachés	4 o	$1C_H$
Complément au nombre de secteurs (Grand nombre)	4 o	20_H
Numéro du disque	1 o	24_H
Tête en cours (inutilisé)	1 o	25_H
Signature	1 o	26_H
Numéro série du volume	4 o	27_H
Nom du volume	11 o	$2B_H$
Type de FAT (FAT 12, FAT 16...) en texte	8 o	36_H
Code d'amorçage	448 o	$3E_H$
Marqueur de fin de secteur	2 o	$1FE_H$

Examinons les différentes informations du secteur de boot.

LE DÉBUT DU SECTEUR DE BOOT DE LA DISQUETTE

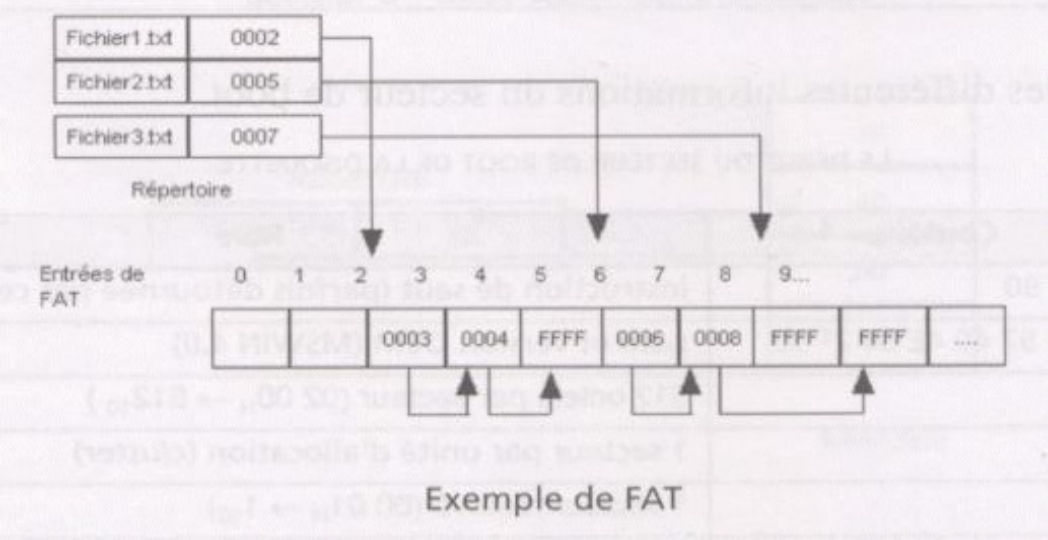
Offset	Contenu	Rôle
00_H	EB 3E 90	instruction de saut (parfois détournée par certains virus)
03_H	4D 53 57 49 4E 34 2^E 30	nom et version OEM (MSWIN 4.0)
$0B_H$	00 02	512 octets par secteur (02 $00_H \rightarrow 512_{10}$)
$0D_H$	01	1 secteur par unité d'allocation (*cluster*)
$0E_H$	01 00	1 secteur réservé (00 $01_H \rightarrow 1_{10}$)
10_H	02	2 copies de la FAT
11_H	E0 00	entrées possibles du répertoire principal (00 $E0_H \rightarrow 224_{10}$)
13_H	40 0B	Petit-nombre de secteurs (0B $40_H \rightarrow 2\,880_{10}$) 2 880 × 512 o = 1 474 560o

SUITE ET FIN DU SECTEUR DE BOOT DE LA DISQUETTE

Offset	Contenu	Rôle
15_H	F0	type de disque (ici 3"1/4 en HD)
16_H	09 00	taille des FAT (00 $09_H \rightarrow 9_{10}$) ici 9 secteurs
18_H	12 00	nombre de secteurs par piste (00 $12_H \rightarrow 18_{10}$)
$1A_H$	02 00	nombre de têtes (00 $02_H \rightarrow 2_{10}$)
$1C_H$	00 00 00 00	nombre de secteurs cachés (si plusieurs partitions...)
20_H	00 00 00 00	complément à Petit-nombre. 0 car Petit-nombre est utilisé
24_H	00	le lecteur A (disquette) est numéroté 00
25_H	00	inutilisé dans le système FAT
26_H	29	signature habituelle d'un système DOS (parfois 28)
27_H	F7 14 08 1B	numéro unique de volume créé au formatage
$2B_H$	45 53 53 41 49 20 31 20 20 20 20	nom du volume (ici ESSAI 1)
36_H	46 41 54 31 32 20 20 20	type de FAT (ici FAT 12)
$3E_H$	F1 7D FA 33...	code d'amorçage (zone où se logent certains virus !)
$1FE_H$	55 AA	marque de fin de secteur

b) Etude de la table d'allocation des fichiers FAT proprement dite

La FAT occupe plusieurs secteurs du disque, comme indiqué dans le secteur de boot, et commence au secteur suivant ce secteur boot. La FAT est une structure de table dont les éléments constituent des chaînes (chaque élément donnant la position de l'élément suivant). Chaque élément fournit des informations sur une unité d'allocation (le bloc, groupe ou cluster), qui peut, selon le type de volume être composée d'un ou plusieurs secteurs. La taille du cluster dépend de la taille du disque. Le principe est le suivant :



Exemple de FAT

Sur l'exemple précédent on voit ainsi une entrée de répertoire (Root Directory) repérant la première entrée de FAT de chacun des fichiers Fichier1.txt, Fichier2.txt et Fichier3.txt. Le Fichier1.txt commence à l'unité d'allocation 2 du disque.

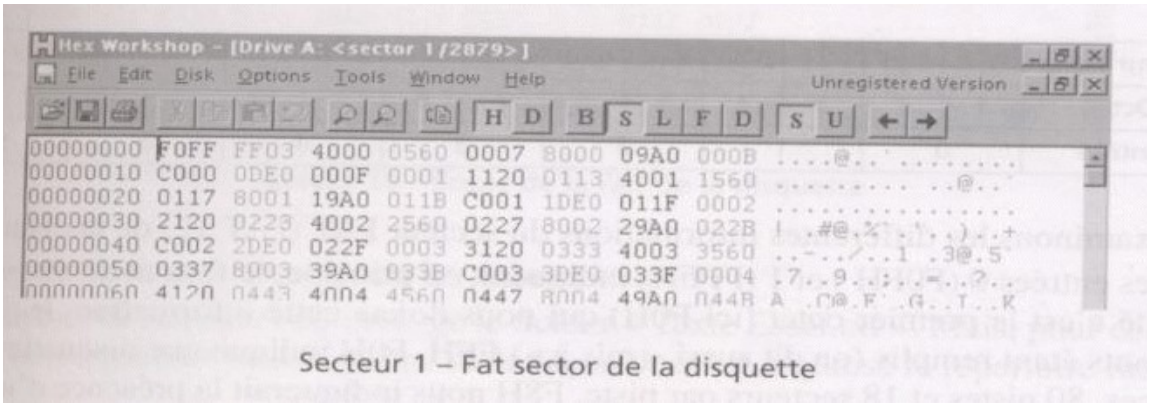
Dans l'entrée de FAT correspondante on trouve la valeur de pointeur 0003 ce qui indique que Fichier1.txt continue sur l'unité d'allocation 3 du disque. Vous pouvez constater que Fichier1.txt occupe également l'unité d'allocation 4. Cette dernière entrée de FAT est marquée FFFF ce qui indique qu'il n'y a plus d'autre unité d'allocation allouée à Fichier1.txt. En clair Fichier1.txt occupe 3 unités d'allocation sur le disque, les unités 2,3 et 4. Fichier2.txt occupe quant à lui les unités d'allocation 5, 6 et 8. Fichier3.txt occupe la seule unité d'allocation 7. Les entrées 0 et 1 ne sont pas utilisées pour repérer des clusters mais servent à repérer le type de disque.

Pour savoir à quel cluster correspond l'entrée de FAT (2 par exemple) le système procède à un calcul en tenant compte des indications du Boot Sector où il va trouver la taille occupée par les FAT, celle du répertoire racine, de chaque unité d'allocation, …

Les informations fournies par la FAT sont la disponibilité ou non du cluster, l'utilisation du cluster par un fichier, l'indication de secteur défectueux. L'avantage de cette technique c'est que lors d'une lecture du

disque on accède, non pas à un seul secteur (sauf si le cluster fait un secteur) mais à une unité d'allocation composée de plusieurs clusters, ce qui à priori augmente la rapidité des accès disques.

Editions le secteur 1 – Fat Sector, situé au début de la disquette derrière le Boot Sector.



Secteur 1 – Fat sector de la disquette

Compte tenu de l'historique du système FAT, on rencontre divers types de FAT : FAT 12, FAT 16, V-FAT,
FAT 32.

L'exemple précédent, correspond à la FAT d'une disquette, montre une table d'allocation de type FAT 12 ce qui signifie que chaque bloc est repéré à l'aide d'une adresse contenue sur 12 bits, soit un octet et demi. Avec une FAT 12 on peut alors repérer 212 clusters soit 4 096 clusters par volume. Cette technique est donc utilisée sur de petits volumes (disquette) où on n'a besoin que d'un petit nombre de clusters.

PRINCIPE DE LA FAT 12

Valeur Hexa.	F	0	F	F	F	F	0	3	4	0	0	0	0	5	6	0	0	0	0	7	8	0	0	0	0	9	A	.
Octet	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14	
Entrée	0			1			2			3			4			5			6			7			8		.

Une table d'allocation de type FAT 16 fonctionne avec des adresses de blocs codées sur 16 bits, ce qui lui permet de référencer 216 clusters (soit 65 536 clusters par volume). Cette technique est donc utilisée sur des volumes où on a besoin d'un grand nombre de clusters, tels les disques durs. On comprend aisément que, compte tenu du nombre limité de clusters, on est obligé de passer par l'augmentation de la taille du cluster dès lors que l'on augmente la taille du volume. Par exemple, si le volume faisait 64 Mo, chaque cluster devrait faire
1 Ko (65 536 * 1 024 = 64 Mo).
En revanche, si le volume fait 640 Mo, chaque cluster doit faire 10 Ko.

Les inconvénients inhérents à la façon de procéder de la FAT sont la perte de place et la fragmentation. En effet, un fichier doit être contenu sur nombre entier de clusters et si par exemple, un cluster est composé de 8 secteurs (8 * 512 o = 4 096 o) alors que le fichier fait 1 caractère, on va perdre la place inutilisée dans le cluster soit 4 096 o – 1 o = 4 095 o. Ainsi, avec 2 000 fichiers, on peu perdre facilement jusqu'à 4 Mo d'espace disque ! Et imaginez avec des clusters de 32 Ko comme on peut en rencontrer avec les gros disques utilisés sur un serveur par exemple… Le moindre autoexec.bat ou autre .tmp vide monopolise 32 Ko !

Avec un disque FAT, il faut donc éviter les petits fichiers (par exemple, ceux que l'on trouve dans le cache Internet) ou bien il faut utiliser la compression de disque pour les loger.

PRINCIPE DE LA FAT 16

Valeur Hexa	F	0	F	F	F	F	0	3	4	0	0	0	0	5	6	0	0	0	0	7	8	0	0	0	0	9	A	.
Octet	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14	
Entrée	0				1				2				3				4				5				6			

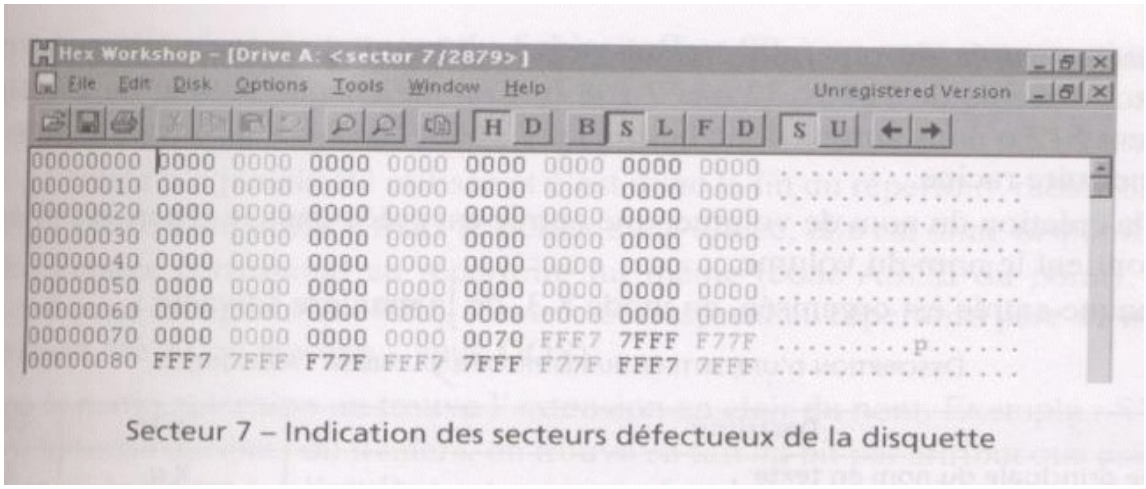
Examinons les différentes informations du secteur FAT (FAT12) de la disquette. Les entrées 0 (F0FH) et 1 (FFFH) indiquent, en principe, le format du disque. En réalité c'est le premier octet (ici F0H) qui nous donne cette information, les octets suivants étant remplis (on dit aussi « mis à ») FFH. F0H indique une

disquette 3"1/2 2 faces, 80 pistes et 18 secteurs par piste. F8H nous indiquerait la présence d'un disque dur.

Les entrées suivantes 1, 2, 3 … indiquent l'état des clusters. Les valeurs peuvent être :

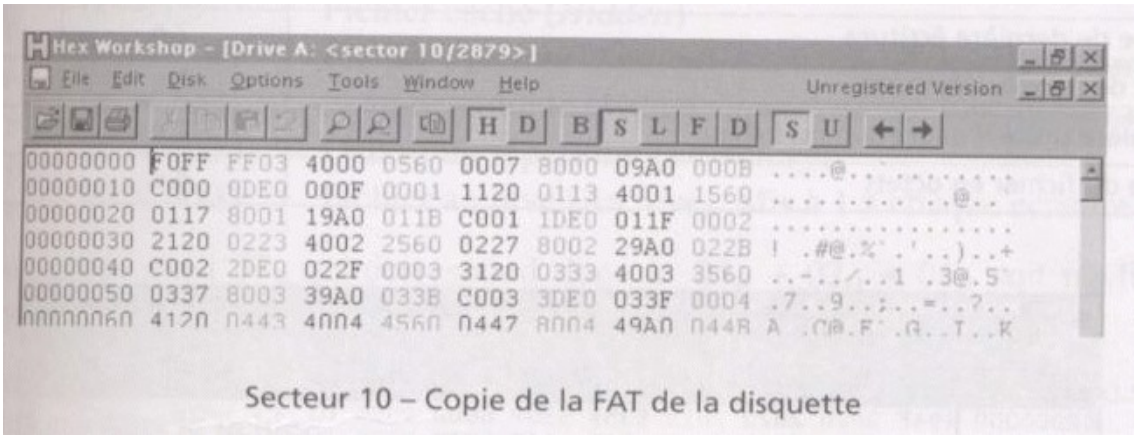
- 000H : le cluster est libre,
- 002H à FF6H : le cluster est occupé et la valeur donne le numéro de l'entrée suivante (chaînage),
- FF7H : l'unité d'allocation contient un cluster défectueux ne devant donc pas être utilisé,
- FF8H à FFFH : c'est le dernier cluster de la chaîne,
- 001H : valeur qui n'est pas utilisée dans les FAT.

On repère, dans la FAT, les secteurs défectueux en observant les dernières entrées de la table d'allocation (secteurs 7 et 8 de la disquette). Les secteurs défectueux de cette disquette étant situés aux environs des dernières pistes. Un secteur défectueux est repéré dans la FAT par une entrée à FF7H.



Secteur 7 – Indication des secteurs défectueux de la disquette

La première FAT occupe 9 secteurs (secteurs 1 à 9) une deuxième copie de la FAT doit donc occuper les secteurs 10 à 18_{10}. Vérifions avec l'éditeur.



Secteur 10 – Copie de la FAT de la disquette

Nous retrouvons bien entendu les mêmes valeurs.

Essayons de retrouver où est logé le fichier « Texte Essai.txt ». Mais, pour cela, il faut d'abord prendre connaissance de la façon dont est organisé le répertoire racine.

c) Le répertoire principal (répertoire racine ou Root)

Le répertoire racine – *Root sector* ou *Root Directory*, se situe immédiatement dernière la deuxième copie de la FAT. Comme chacune de nos FAT occupe 9 secteurs sur la disquette, le *Root sector* se situe donc sur cette disquette au secteur 19_{10}. La taille occupée, en nombre de secteurs, par le répertoire racine principal est fournie par le secteur de boot (à l'offset 11_H). Dans notre cas nous trouverons dans le secteur de boot la valeur 00 $0E_H$ soit 224 entrées de répertoires possible.

Mais attention, ceci n'est réellement exploitable qu'avec un format de nom dit 8.3 – non pas en fonction d'un quelconque numéro de version mais parce que la partie principale du nom loge sur 8 caractères et le suffixe sur 3 caractères. Avec Windows 95 ou Windows NT on utilise des noms longs ce qui monopolise sur un disque de type FAT, non plus une entrée de répertoire par nom de fichier mais trois entrées. Les deux systèmes étant compatibles nous l'étudierons, dans un premier temps, que le nom 8.3.

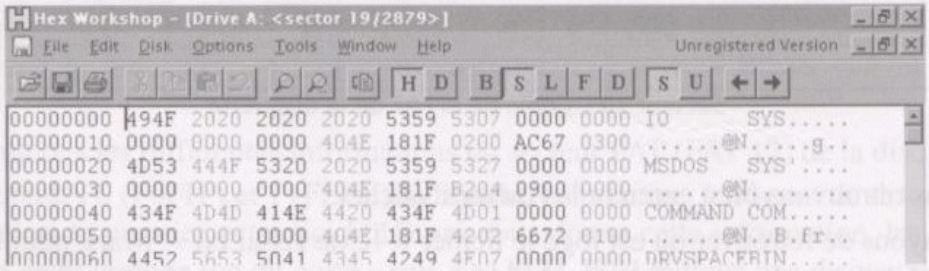
Chaque entrée du répertoire racine occupe 32 o. Soit un espace occupé par le répertoire racine de 224 * 32 o = 7 168 o. Comme chaque secteur de la disquette contient 512 o nous aurons donc besoin de 7 168 o / 512 o = 14 secteurs pour loger ce répertoire racine.

A la création du nom de volume, une entrée est créée dans le répertoire principal, qui contient le nom du volume.

Chaque entrée est organisée, en mode 8.3 de la manière suivante :

DESCRIPTION D'UNE ENTRÉE DU RÉPERTOIRE RACINE DE LA DISQUETTE

Descriptif	Taille	Offset
Partie principale du nom en texte	8 o	00_H
Extension du nom en texte (le . n'est pas enregistré)	3 o	08_H
Attributs du fichier	1 o	$0B_H$
Réservés par MS-DOS	10 o	$0C_H$
Heure de dernière écriture	2 o	16_H
Date de dernière écriture	2 o	18_H
Première unité d'allocation du fichier	2 o	$1A_H$
Taille du fichier en octets	4 o	$1C_H$



Secteur 19 – Répertoire racine de la disquette

Examinons les différentes informations de la première entrée du secteur de root, toujours en système de nom 8+3.

CONTENU DE LA PREMIÈRE ENTRÉE

Offset	Contenu	Rôle
00_H	49 4F 20 20 20 20 20 20	Nom du fichier (ici IO)
08_H	53 59 53	Extension du nom (ici SYS)
$0B_H$	07	Attributs du fichier
$0C_H$	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	Réservé par DOS
16_H	40 4E	Heure de dernière écriture
18_H	18 1F	Date de dernière écriture
$1A_H$	02 00	Première unité d'allocation (02 00 à 0002)
$1C_H$	AC 67 03 00	Taille du fichier

Dans la partie réservée au nom du fichier (offset 00_H) on peut trouver plusieurs valeurs :

- le nom en clair bien entendu. Par exemple : IO,
- 000_H l'entrée n'a jamais été utilisée et c'est donc la fin du répertoire racine utilisé,
- $0E5_H$ l'entrée a été utilisée mais le fichier a été effacé, elle est donc disponible,
- $02E_H$ l'entrée correspond au répertoire lui-même (code ASCII du point). Si le second octet est également $02E_H$ l'entrée correspond au répertoire père de niveau supérieur (ce qu'on marque .. sous DOS).

Dans la partie extension ou trouve l'extension en clair du nom. Exemple : SYS.
Dans la partie attributs du fichier, on trouve en fait un bit par attribut que possède le fichier. Si le bit est à 1 l'attribut est positionné, si le bit est à 0 l'attribut n'est pas positionné.

01_H 0000 0001 Lecture seule (Read Only)
02_H 0000 0010 Fichier caché (Hidden)
04_H 0000 0100 Fichier système (*System*), exclu des recherches normales
08_H 0000 1000 Nom de volume (*Volume name*) donné lors du formatage
10_H 0001 0000 Définit un répertoire (*Directory*)
20_H 0010 0000 Fichier archive (*Archive*). Mis à 1 à chaque écriture.

Nous avons ainsi 07_H qui correspond donc à $04_H + 02_H + 01_H$ soit un fichier System, Hidden, Read-Only.

Dans la partie heure le système écrit l'heure sous un format compacté lors de chaque écriture dans le fichier.

LE FORMAT D'ENREGISTREMENT DE L'HEURE

Poids du bit	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Info	h	h	h	h	h	m	m	m	m	m	m	s	s	s	s	s
Hexa	4				E				4				0			
Binaire	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Ainsi nous trouvons 40 4^E qui, rappelons le, est à lire sous le forme 4^E 40.

hhhhh nombre binaire indiquant le nombre d'heures écoulées depuis 0 heure (ici 01001_2 soit 9_{10}).

mmmmmm nombre binaire indiquant le nombre de minutes écoulées depuis le début de l'heure (ici 110010_2 soit 50_{10}).

sssss nombre binaire indiquant la moitié du nombre de secondes écoulées depuis le début de la minute (ici 00000_2 soit 0_{10}).

Donc le fichier IO.SYS a été enregistré à 9h 50m 0s.

Dans la partie date le système écrit la date sous un format compacté lors de chaque écriture dans le fichier.

LE FORMAT D'ENREGISTREMENT DE LA DATE

Poids du bit	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Info	a	a	a	a	a	a	a	m	m	m	m	j	j	j	j	j
Hexa	1				F				1				8			
Binaire	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0

Nous trouvons ainsi 18 1F qui, rappelons le, est à lire sous la forme 1F 18.

aaaaaaa nombre binaire indiquant le nombre d'années écoulées depuis 1980 (ici 0001111_2 soit 15_{10}) Donc 1980 + 15 = 1995.

mmmm nombre binaire indiquant le numéro du mois dans l'année (ici 1000_2 soit 8_{10}) donc Août.

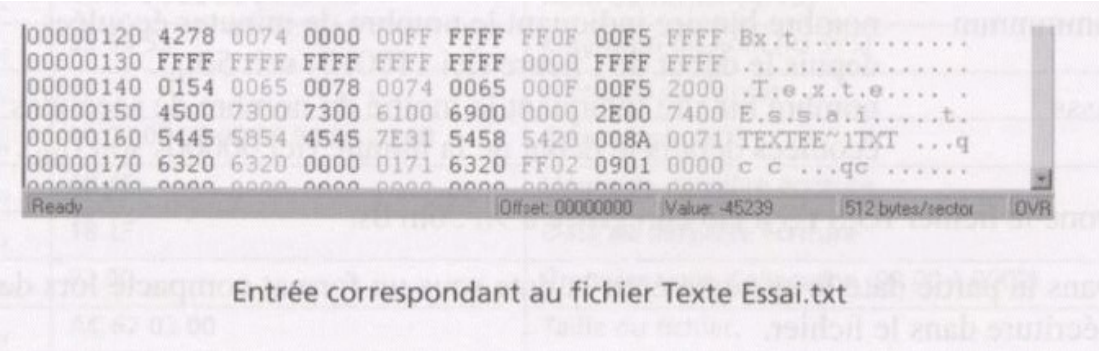
sssss nombre binaire indiquant le nombre de jours depuis le début du mois (ici 11000_2 soit 24_{10}) donc le 24.

Donc le fichier IO.SYS a été enregistré le 24 Août 1995.

Dans la partie relative à la première unité d'allocation on trouve la valeur 02 00 qui doit se lire 00 02_H. Ce fichier IO.SYS commence donc à l'unité d'allocation 2. C'est le premier fichier situé sur le volume puisque les entrées d'allocation 0 et 1 servent à décrire le volume. Enfin, la partie taille du fichier fournit une valeur binaire qui correspond à la taille exacte du fichier en octets. Ici nous avons la valeur AC 67 03 00 qui doit donc être déchiffrée 00 03 67 AC_H du fait du chargement des registres par la partie basse, soit un fichier d'une taille de 223 $148o_{10}$. Lors de l'affichage des répertoires ce nombre est souvent arrondi (ici 218 Ko sont affichés au lieu de 212.9179…).

Nous avions commencé à voir où se trouvait le fichier « Texte Essai.txt ». Dans le répertoire racine, on observe au moins deux lignes comportant le mot Texte. Nous verrons ultérieurement la technique des noms longs, contentons nous pour l'instant de la conservation du nom long « Texte Essai.txt » en son nom court, ici « TEXTEE~1.TXT ».

La première entrée de ce fichier dans la FAT se situe, selon la description des entrées, à l'adresse 02 FF_H, soit la 767ème entrée de la table d'allocation.



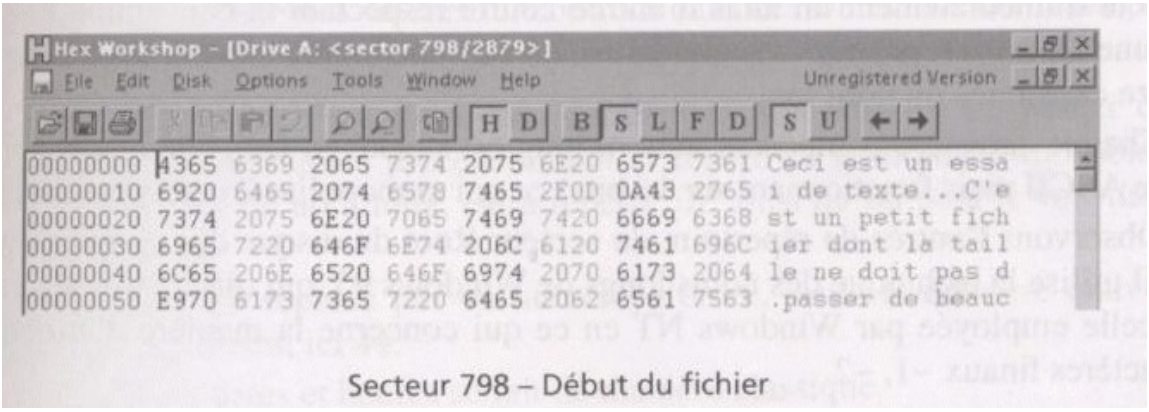
Entrée correspondant au fichier Texte Essai.txt

Rappelons la structure d'occupation de notre disquette.

STRUCTURE DE LA DISQUETTE

Nombre de Secteurs	Numéro de Secteur	N° de cluster affecté	Utilisation
1	0		Boot sector
9	1 à 9		1er FAT
9	10 à 18		2e FAT (copie)
14	19 à 31		Répertoire racine
	32	1	1er secteur contenant des données
		...	
	798	767	1re entrée du fichier « Texte Essai.txt »

Le fichier « Texte Essai.txt » commence donc à la 767ème entrée de la FAT ce qui correspond au secteur 798 de la disquette. Vérifions avec l'utilitaire habituel en examinant ce secteur 798.



Secteur 798 – Début du fichier

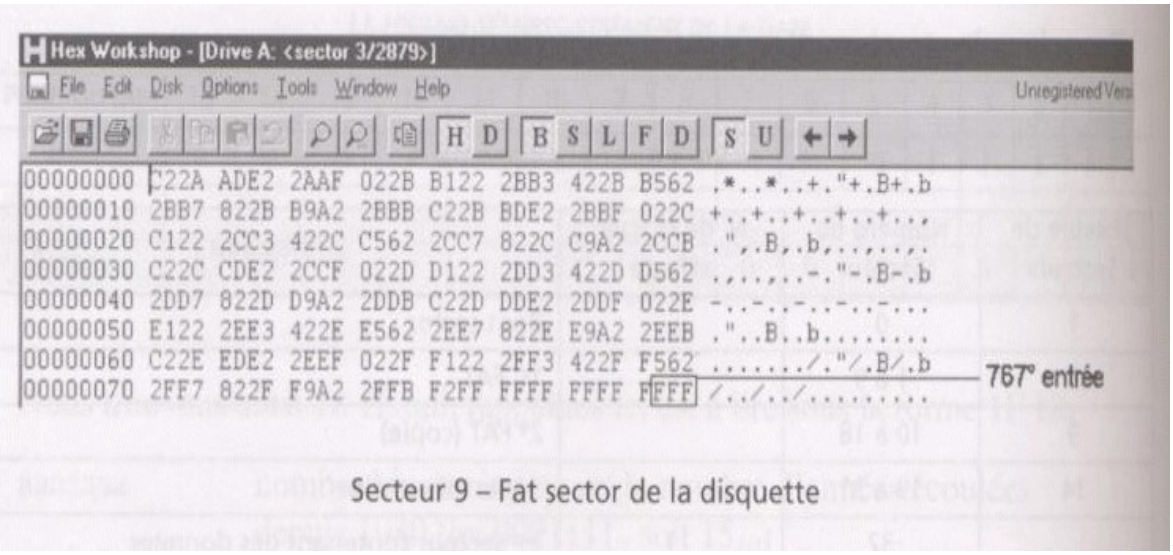
Observons également la 767ème entrée de la FAT. Pour arriver à la repérer il faut bien entendu se livrer à de « savant calculs » en fonction du nombre d'octets par secteurs, de la taille occupée par chaque entrée, …

A vous d'essayer de retrouver comment on détermine que cette 767ème entrée correspond à l'offset 7^E et partiellement 7F du 3ème secteur de la disquette.

N'oubliez pas que la table d'allocation des fichiers note ses blocs à partir de 0. On doit donc considérer que la première entrée de la FAT correspond au fichier se situe, en fait, à l'indice 767 de la FAT ou à l'entrée 768.

L'entrée 767 de la FAT correspond, ainsi que vous pourrez le constater sur le capture d'écran de la page suivante, au dernier groupe d'entrée soit FFF. Il est normal que cette entrée de FAT contienne, ici, une

telle valeur car le fichier fait moins de 512 o et occupe de ce fait un seul secteur. La FAT ne renvoie donc pas vers une autre entrée mais nous indique seulement qu'il s'agit de la fin de la chaîne des unités d'allocation.



Secteur 9 – Fat sector de la disquette

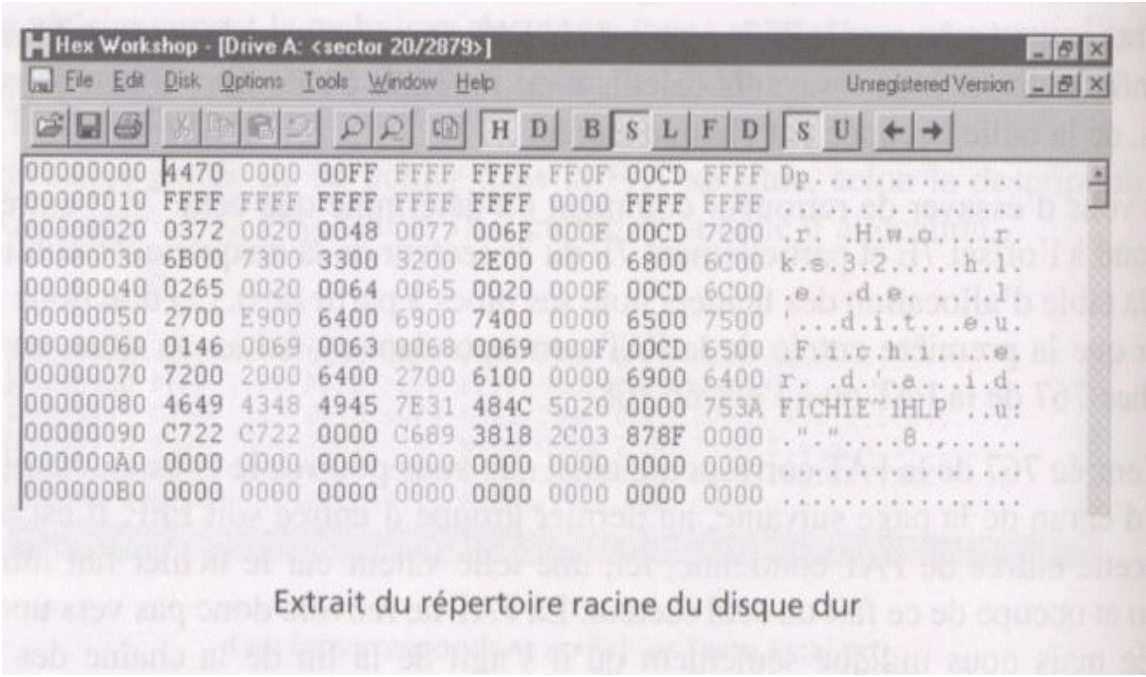
d) Noms longs et partitions FAT

A partir de Windows NT 3.5 ou avec Windows 95, les fichiers créés sur une partition FAT se servent de bits d'attribut pour gérer les noms longs qu'ils utilisent, sans interférer avec la technique dite « classique » huit plus trois utilisable avec MS-DOS ou Windows 3.x.

Quand un utilisateur Windows 95 crée un fichier avec un nom long, le système lui affecte immédiatement un alias d'entrée courte respectant la convention 8 + 3 ainsi qu'une ou plusieurs entrées secondaires, en fait une entrée supplémentaire tous les treize caractères du nom long.

Chaque caractère composant le nom long est stocké en Unicode (code dérivé du code ASCII mais fonctionnant sur 16 bits) ce qui monopolise 2 octets par caractères.

Observons l'entrée de répertoire du secteur Root du disque dur ci-après, sachant qu'il utilise la technique des noms longs de Windows 95, qui diffère très légèrement de celle employée par Windows NT en ce qui concerne la manière d'attribuer les caractères finaux ~1, ~2…



Extrait du répertoire racine du disque dur

LES ENTRÉES DE NOM LONG SOUS WINDOWS 95

| | | |

L'enregistrement d'amorçage principal comporte la table des partitions du disque et un fragment de code exécutable. Sur les ordinateurs x86 le code examine la table des partitions – où chaque partition est repérée par un ensemble de 64 bits – et identifie la partition système. Cette table commence à l'offset 1BEH de l'enregistrement d'amorçage principal. Ici repérable, sur la première ligne, par les valeurs d'octets 80 01…

```
000001B0 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 8001 ................
000001C0 0100 061F FF37 3F00 0000 C158 1900 0000 .....77?....X....
000001D0 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 ................
000001E0 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 ................
000001F0 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 55AA ..............U.
```

Extrait de la table des partitions du disque dur

DESCRIPTIF DE LA TABLE DES PARTITIONS

Taille	Valeur exemple	Description
1 o	80	80 : partition système. 00 : ne pas utiliser pour l'amorçage.
1 o	01	Tête de départ.
6 bits	01 00	Secteur de départ (les 6 bits de poids faible du 1er octet).
10 bits		Cylindre de départ (les 2 bits de poids fort du 1er octet et l'octet suivant).
1 o	06	ID Système (type de volume – ici System BIGDOS FAT).
1 o	1F	Tête finale.
6 bits	FF 37	Secteur final (les 6 bits de poids faible du 1er octet)
10 bits		Cylindre final (les 2 bits de poids fort du 1er octet et l'octet suivant).
4 o	3F 00 00 00	Secteur relatif (décalage entre le début du disque et le début de la partition en comptant en secteurs). Attention à l'inversion des octets pour la lecture.
4 o	C1 58 19 00	Nombre total de secteurs dans la partition. Attention à l'inversion des octets pour la lecture.

Selon sa valeur l'octet réservé à la description de l'ID système peut repérer plusieurs types de partitions :

- 01 partition ou lecteur logique FAT 12 (nombre de secteurs inférieur à 32 680).
- 04 partition ou lecteur logique FAT 16 (nombre de secteurs compris entre 32 680 et 65 535, soit une partition d'une taille inférieure à 32 Mo).
- 05 partition étendue.
- 06 partition BIGDOS FAT (partition FAT 16 d'une taille supérieure à 32 Mo).
- 07 partition NTFS.
- 0B partition principale FAT 32 (prise en charge par Windows 95, pas par NT).
- 0C partition étendue FAT 32 (prise en charge par Windows 95, pas par NT).
- 0E partition étendue FAT 16 (prise en charge par Windows 95, pas par NT).
- 0F partition principale FAT 16 (prise en charge par Windows 95, pas par NT).

17.1.3 Le système NTFS

Lors de la conception de Windows NT, deux techniques existaient déjà : la FAT qui commençait à montrer ses limites face aux capacités croissantes des disques et HPFS utilisé sur OS/2 en partenariat IBM-Microsoft, qui permettait de gérer de plus grands disques (éléments repérés sur 32 bits soit 2^{32} éléments gérables) avec une meilleure fiabilité mais ne répondait pas encore assez sérieusement aux exigences de Windows NT (taille de fichier limitée à 4 Go, …).

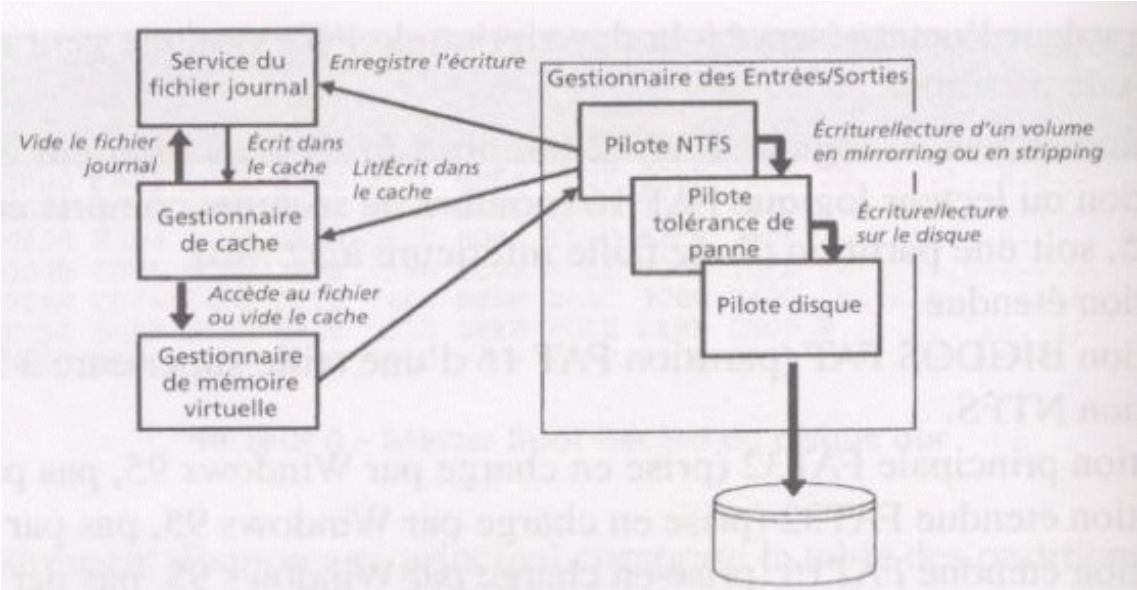
Le système de fichiers NTFS (NT *File System*) a donc été spécialement conçu pour Windows NT au moment ou IBM et Microsoft interrompaient leurs relations de partenariat. Compte tenu des antécédents, FAT et HPFS notamment, on retrouve dans NTFS un certain nombre des caractéristiques de ces systèmes de fichiers.

Il convient de noter que Windows NT peut fonctionner avec des volumes de type FAT 16, mais la gestion de fichiers sera optimisée en performances et en sécurité avec un système NTFS. Un volume initialement formaté en FAT 16 pourra ensuite être converti en NTFS par Windows NT mais, attention, cette opération est irréversible. Il est ainsi conseillé d'installer Windows NT avec un volume initialement FAT puis, lorsque l'installation est correctement terminée, de convertir ce volume en système NTFS.

Attention, Windows NT ne peut pas être installé, dans sa version actuelle (NT 4.0), sur un système FAT 32. Ainsi, si votre machine dispose déjà d'une installation de Windows 95 dans sa version FAT 32 vous ne pourrez pas y faire cohabiter Windows NT. La seule solution consiste à reformater la partition avant d'y installer Windows NT. On peut, semble t-il, également installer NT d'abord puis installer le système FAT 32 ensuite.

17.1.4 NTFS principes généraux d'organisation

Comme l'ensemble de Windows NT, le système de gestion de fichiers NTFS est organisé en couches, indépendantes les unes des autres et communiquant par le biais d'interfaces. Ainsi, les divers pilotes se transmettent les requêtes d'entrées/sorties de l'un à l'autre, indépendamment de la manière dont ils travaillent en interne. NTFS travaille également en collaboration avec le gestionnaire de cache.



Les composants NTFS et exécutifs de Windows NT

Pour cela, le gestionnaire de cache fournit au gestionnaire de mémoire virtuelle VM (*Virtual Memory*) de Windows NT une interface spécialisée. Quand un programme tente d'accéder à une partie de fichier qui n'est pas dans le cache, le gestionnaire VM appelle le pilote NTFS pour accéder au pilote disque et obtenir le contenu du fichier à partir du disque. Le gestionnaire de cache optimise les entrées/sorties disque en utilisant un ensemble de *threads* système qui vont utiliser le gestionnaire VM pour transférer, en tâche de fond, le contenu du cache vers le disque.

Si Windows NT utilise un système FAT ou HPFS pour gérer ses volumes, il procédera de la même manière mais n'utilisera par le fichier journal pour garder la trace des transactions et le volume ne sera donc pas récupérable en cas d'incident.

NTFS a été conçu comme un système de fichiers sécurisé capable de gérer la restauration de fichiers endommagés. Dans le cas d'un incident système ou d'une panne d'alimentation, NTFS est capable de reconstruire les volumes disques. Cette opération s'effectue automatiquement dès que le système accède au disque après l'incident et ne dure que quelques secondes, quelle que soit la taille du disque. Pour cela NTFS utilise le fichier journal LFS (*Log File Service*) qui gère les écritures sur le disque. Ce journal sert à reconstruire le volume NTFS dans le cas d'une panne système, ce qui est impossible avec un volume de type FAT. En outre, NTFS duplique les secteurs vitaux de sorte que si une partie du disque est physiquement endommagée, il peut toujours accéder aux données fondamentales du système de fichier. NTFS peut également communiquer avec un pilote disque à tolérance de panne (RAID 0 – miroir – ou RAID 5 – agrégat de bandes --) ce qui améliore encore la fiabilité.

Le système de fichiers NTFS utilise un modèle de fonctionnement transactionnel pour assurer la sécurisation des volumes. C'est-à-dire qu'il ne considéra comme définitives que les seules opérations de lecture ou d'écriture menées à terme sans incident, sinon il ramènera le système à l'état antérieur à cette transaction défectueuse.

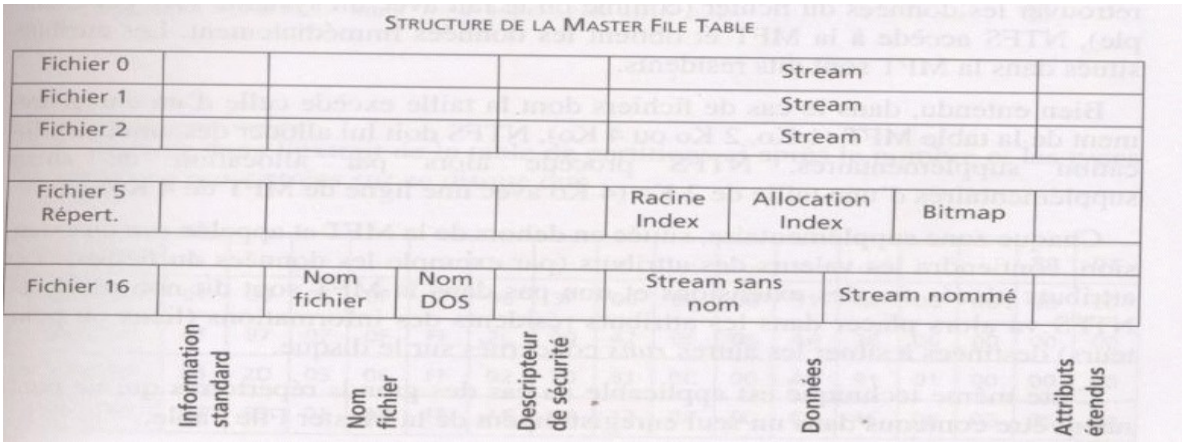
Supposons qu'un utilisateur soit en train de créer un fichier. Le système NTFS est en train d'insérer le nom du fichier dans la structure du répertoire quand un incident se produit. A ce moment, l'entrée dans le répertoire existe mais il n'y a pas encore eu d'unité d'allocation allouée à ce fichier. Quand le système redémarre après l'incident, NTFS supprimera l'entrée dans le répertoire en revenant ainsi à l'état antérieur à la transaction endommagée.

a) Les clusters NT

NTFS alloue, comme dans la FAT, des unités d'allocation que l'on continue à appeler couramment *clusters* – et mémorise leurs numéros dans une table dont chaque entrée est codée sur 64 bits ce qui donne 2^{64} éléments gérables soit 16 milliards de milliards de *clusters* possibles, chacun pouvant contenir jusqu'à 4 Ko. Avec NTFS la taille du *cluster* est déterminée par l'utilitaire de formatage mais peut être ensuite modifiée par l'administrateur système et cette taille du *cluster* (dit facteur de *cluster*) ne dépend plus de celle du volume. Ainsi, NTFS utilise une taille de *cluster* de :

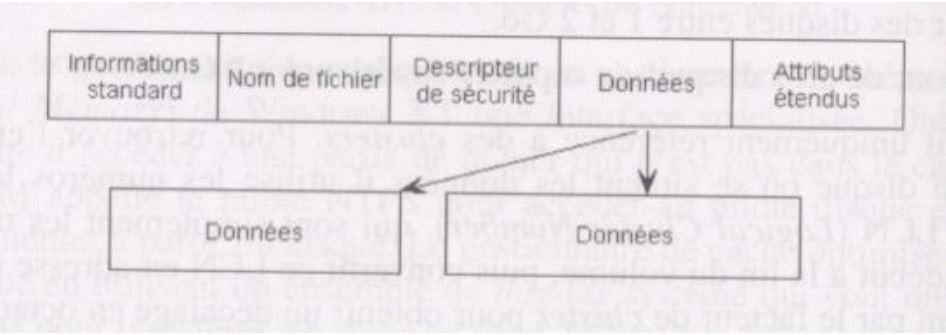
- 512 o sur de petits disques d'une capacité inférieure à 512 Mo,
- 1 Ko pour des disques entre 512 Mo et 1 Go,
- 2 Ko pour des disques entre 1 et 2 Go,
- et 4 Ko pour de gros disques de capacité supérieure à 2 Go.

NTFS gère les fichiers et les répertoires (considérés comme des fichiers) dans une base de données relationnelle implantée sur le disque. La table qui contient ces informations est appelée MFT (*Master File Table*). Les lignes de cette table MFT correspondent aux fichiers sur le volume et les colonnes aux attributs de ces fichiers. Un répertoire est considéré comme un fichier et est enregistré dans cette même table avec quelques différences au niveau des attributs. Chaque ligne de la MFT occupe une taille, déterminée au formatage, d'au minimum 1 Ko et d'au maximum 4 Ko.



b) Enregistrements de fichiers et répertoire dans la Master File Table

NTFS identifie par un attribut par son nom en majuscules précédé du symbole $. Par exemple, $FILENAME correspond à l'attribut « nom de fichier ». Chaque attribut est enregistré comme un *stream*. Le *stream* correspond à une suite d'octets qui répertorie les noms, propriétaires, dates… et données des unités d'allocations. Il faut bien comprendre que les données du fichier sont considérées comme de simples attributs. Les attributs autres que les données sont triés automatiquement par ordre croissant selon la valeur du code de cet attribut. Les *streams* peuvent avoir un nom (*stream* nommé), notamment dans le cas de *streams* multiples concernant les données d'un même fichier. Un fichier, dans un volume NTFS est identifié par une valeur sur 64 bits, appelée référence de fichier.



Celle-ci se compose d'un numéro de fichier et d'un numéro de séquence. Le numéro de fichier correspond sensiblement à la position de l'enregistrement du fichier dans la MFT. Mais ce n'est pas toujours exactement le cas car, si un fichier possède de nombreux attributs ou devient très fragmenté, il est possible que plusieurs enregistrements de la MFT lui soit consacrés. Quand le fichier est très petit (inférieur à une unité d'allocation – par exemple inférieur à 4 Ko) où s'il s'agit d'une entrée de petit répertoire, les données du fichier sont intégrées dans le *stream* de la MFT. L'accès est considérablement accéléré

puisqu'au lieu d'aller lire l'emplacement du fichier dans une table puis une suite d'unités d'allocation pour retrouver les données du fichier (comme on le fait avec un système FAT par exemple), NTFS accède à la MFT et obtient les données immédiatement. Les attributs situés dans la MFT sont dits résidents.

Bien entendu, dans le cas de fichiers dont la taille excède celle d'un enregistrement de la table MFT (1 Ko, 2 Ko ou 4 Ko), NTFS doit lui allouer des unités d'allocation supplémentaires. NTFS procède alors par allocation de zones supplémentaires d'une taille de 2 Ko (4 Ko avec une ligne de MFT de 4 Ko).

Chaque zone supplémentaire, située en dehors de la MFT et appelée *run* ou extension, contiendra les valeurs des attributs (par exemple les données du fichier). Les attributs placés sur des extensions et non pas dans la MFT sont dit non résidents. NTFS va alors placer dans les attributs résidents des informations (liens ou pointeurs) destinées à situer les autres *runs* concernés sur le disque.

Cette même technique est applicable au cas des grands répertoires qui ne pourraient être contenus dans un seul enregistrement de la Master File Table.

EXERCICES

17.1 Calculer la place gagnée selon que l'ordre de réservation d'espace fichier sur une machine théorique serait :

a) CREATE FIC1 -LRSZ 90 -CISZ 256

b) CREATE FIC2 -LRSZ 90 -CISZ 512

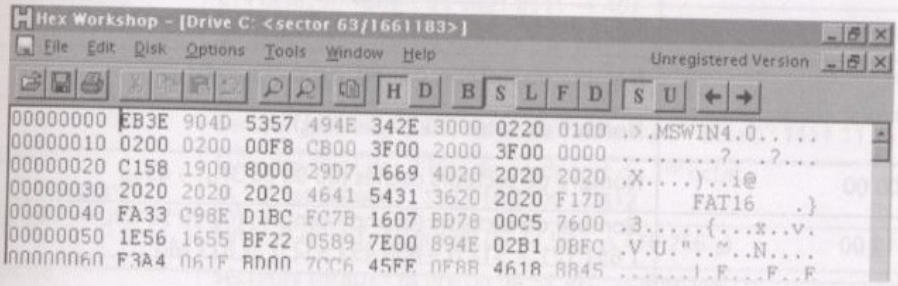
– FIC1 ou FIC2 sont les noms des fichiers créés.

– LRSZ désigne la longueur de l'article du fichier.

– CISZ (CI *SiZe*) détermine la taille du CI en octets.

On considère pour l'exercice que les articles logiques ne peuvent être fractionnés ce qui n'est pas toujours le cas sur des machines réelles ou un même article peut parfois être fractionné entre plusieurs CI, assurant ainsi un remplissage optimum des dits CI.

17.2 Décrivez le volume suivant dont on a édité le secteur de boot.



17.3 Repérez dans l'extrait de la table de partitions ci après le nombre et les types des partitions rencontrées sur ce disque dur.

0000 01B0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	80	01
0000 01C0	01	00	06	0F	7F	96	3F	00	00	00	51	42	06	00	00	00
0000 01D0	41	97	07	0F	FF	2C	90	42	06	00	A0	3E	06	00	00	00
0000 01E0	C1	2D	05	0F	FF	92	30	81	0C	00	A0	91	01	00	00	00
0000 01F0	C1	93	01	0F	FF	A6	D0	12	0E	00	C0	4E	00	00	55	AA

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

SOLUTIONS

17.1 *a)* Dans un bloc de 256 octets, il est possible de loger 2 articles complets (2×90 o = 180). La place inutilisée est donc de 256 o — (90 o $\times$ 2) = 76 octets. Soit une « perte » de 29 %.

b) Dans un bloc de 512 octets, il est possible de loger 5 articles logiques complets ($5 \times 90 = 450$ o) . La place inutilisée est donc de 512 o — (90 o $\times$ 5) = 62 octets. Soit une « perte » de 12 %. On a donc bien intérêt à « bloquer » un maximum.

17.2 Description du volume.

EB 3E 90	Instruction de saut
4D 53 57 49 4E 34 2E 30	Nom & version OEM : MicroSoft Windows 4.0
00 02	512 octets par secteur ($02\ 00_H \rightarrow 512_{10}$)
20	$2 \times 16 = 32$ secteurs par unité d'allocation (*cluster*)
01 00	1 secteur réservé ($00\ 01_H \rightarrow 1_{10}$)
02	2 tables d'allocation (FAT)
00 02	Entrées du répertoire principal ($02\ 00_H \rightarrow 512_{10}$)
00 00	Nombre de secteurs sur le volume (Petit nombre)
F8	Type de disque (ici disque dur $\rightarrow F8_H$)
CB 00	Taille des FAT en secteurs ($00\ CB_H \rightarrow 203_{10}$)
3F 00	Nombre de secteurs par piste ($00\ 3F_H \rightarrow 63_{10}$)
20 00	Nombre de têtes ($00\ 20_H \rightarrow 32_{10}$)
3F 00 00 00	Nombre de secteurs cachés ($00\ 00\ 00\ 3F_H \rightarrow 63_{10}$)
C1 58 19 00	Nombre de secteurs (Grand nombre) ($00\ 19\ 58\ C1_H \rightarrow 1\ 661\ 121_{10}$). 1 661 121 $\times$ 512 o = 850 493 952 o $\rightarrow$ 811 Mo
80	Numéro du disque
00	Tête en cours (inutilisé)
29	Signature
D7 16 69 40	Numéro série du volume
20 20... 20	Nom du volume (ici n'a pas de nom)
46 41 54 31 36 20 20 20	Type de FAT (46 $\rightarrow$ F, 41 $\rightarrow$ A, ... FAT 16)
F1 7D...	Code d'amorçage

17.3 Chaque descriptif de partition occupe 16 octets.

LES 16 OCTETS DE LA PREMIÈRE PARTITION

80	80 : partition système
01	Tête de départ : 1
01 00 (attention ! ici pas d'inversion)	Secteur de départ (les 6 bits de poids faible du 1er octet) : 00 0001 → 1 Cylindre de départ (les 2 bits de poids fort du 1er octet et l'octet suivant) : 00 0000 0000 → 0
06	ID Système – type de volume : ici System BIGDOS FAT
0F	Tête finale : 15
7F 96 (attention ! ici pas d'inversion)	Secteur final (les 6 bits de poids faible du 1er octet) : 11 1111 → 63 Cylindre final (les 2 bits de poids fort du 1er octet et l'octet suivant) : 10 1001 0110 → 406
3F 00 00 00	Secteur relatif : (à lire 00 00 00 $3F_H \rightarrow 63_{10}$)
51 42 06 00	Secteurs totaux : (à lire 00 06 42 $51_H \rightarrow 410\ 193_{10}$)

LES 16 OCTETS DE LA SECONDE PARTITION

00	00 : ne pas utiliser pour l'amorçage
00	Tête de départ : 0
41 97 (attention ! ici pas d'inversion)	Secteur de départ (les 6 bits de poids faible du 1er octet) : 00 0001 → 1 Cylindre de départ (les 2 bits de poids fort du 1er octet et l'octet suivant) : 01 1001 0111 → 407
07	ID Système – type de volume : ici NTFS
0F	Tête finale : 15
FF 2C (attention ! ici pas d'inversion)	Secteur final (les 6 bits de poids faible du 1er octet) : 1111 11 → 63 Cylindre final (les 2 bits de poids fort du 1er octet et l'octet suivant) : 11 0010 1100 → 812
90 42 06 00	Secteur relatif : (à lire 00 06 42 $90_H \rightarrow 410\ 256_{10}$)
A0 3E 06 00	Secteurs totaux : (à lire 00 06 3E $A0_H \rightarrow 409\ 248_{10}$)

LES 16 OCTETS DE LA TROISIÈME PARTITION

00	00 : ne pas utiliser pour l'amorçage
00	Tête de départ : 0
C1 2D (attention ! ici pas d'inversion)	Secteur de départ (les 6 bits de poids faible du 1er octet) : 00 0001 → 1 Cylindre de départ (les 2 bits de poids fort du 1er octet et l'octet suivant) : 11 0010 1101 → 813
05	ID Système – partition étendue
0F	Tête finale : 15
FF 92 (attention ! ici pas d'inversion)	Secteur final (les 6 bits de poids faible du 1er octet) : 1111 11 → 63 Cylindre final (les 2 bits de poids fort du 1er octet et l'octet suivant) : 11 1001 0010 → 914
30 81 0C 00	Secteur relatif : (à lire 00 0C 81 $30_H \rightarrow 819\ 504_{10}$)
A0 91 01 00	Secteurs totaux : (à lire 00 01 91 $A0_H \rightarrow 102\ 816_{10}$)

LES 16 OCTETS DE LA QUATRIÈME PARTITION

00	00 : ne pas utiliser pour l'amorçage
00	Tête de départ : 0
C1 93 (attention ! ici pas d'inversion)	Secteur de départ (les 6 bits de poids faible du 1er octet) : 00 0001 → 1 Cylindre de départ (les 2 bits de poids fort du 1er octet et l'octet suivant) : 11 1001 0011 → 915
01	ID Système – partition FAT 12
0F	Tête finale : 15
FF A6 (attention ! ici pas d'inversion)	Secteur final (les 6 bits de poids faible du 1er octet) : 1111 11 → 63 Cylindre final (les 2 bits de poids fort du 1er octet et l'octet suivant) : 11 1010 0110 → 934
D0 12 0E 00	Secteur relatif : (à lire 00 0E 12 $D0_H \rightarrow 922\ 320_{10}$)
C0 4E 00 00	Secteurs totaux : (à lire 00 00 4E $C0_H \rightarrow 20\ 160_{10}$)

La série se continue par 55 AA qui ne correspondent pas à un début d'information sur une partition. On dispose donc de 4 partitions sur ce volume :

- 1 partition BIGDOS FAT,
- 1 partition NTFS,
- 1 partition étendue,
- 1 partition FAT 12.

Chapitre 18

Gestion de l'espace mémoire

18.1 GENERALITES

Si la taille de la mémoire centrale a nettement évolué depuis quelques années, du fait des progrès de l'intégration et de la diminution des coûts de fabrication des composants, les techniques de multiprogrammation, l'emploi d'environnements graphiques, … ont de leur côté également progressé ce qui fait que de nombreux programmes sont souvent concurrents pour accéder en mémoire centrale.

Le problème de la gestion mémoire est donc toujours présent dans les systèmes informatiques. Les deux principaux reproches que l'on peut adresser aux mémoires centrales concernent leur capacité – toujours trop faible – et leur vitesse – toujours trop lente --, limitant de fait les capacités de traitement de l'unité centrale. Les solutions que l'on peut tenter d'apporter à ces problèmes sont de deux ordres :

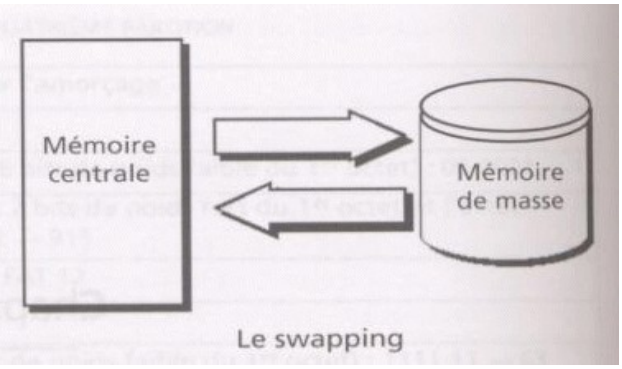
- d'une part il est possible d'envisager une extension importante de la capacité mémoire en utilisant la mémoire auxiliaire « comme de la mémoire centrale »,

- d'autre part on peut accélérer la vitesse globale de travail de l'unité centrale par l'emploi de mémoires à technologie rapide (mémoire caches ou antémémoires).

18.2 GESTION DE LA MEMOIRE CENTRALE

Compte tenu de leur taille, et éventuellement de leur nombre, il n'est généralement pas envisageable d'implanter l'intégralité des programmes à exécuter en mémoire centrale. Le système d'exploitation doit donc réaliser de nombreux échanges de segments de programmes entre les mémoires auxiliaires et la mémoire centrale, au fur et à mesure de l'état d'avancement de ces programmes.

Il conviendra donc d'amener en mémoire centrale des données ou des instructions à traiter – données ou instructions qui sont normalement stockées en mémoire auxiliaire. Ce faisant, il conviendra éventuellement de libérer de la mémoire centrale en évacuant provisoirement des données ou instructions dont le traitement n'est pas imminent ou vient d'être réalisé. Ces échanges entre mémoire auxiliaire et mémoire centrale portent le nom de swapping (*to swapp* échanger).



Le swapping

L'ensemble de l'espace mémoire exploitable par un utilisateur, que la mémoire se présente sous forme de mémoire auxiliaire (disque, bande, …) ou sous forme de mémoire centrale (RAM), peut être considéré par le système comme un espace unique que l'on désigne alors sous le terme de mémoire virtuelle.

De plus, dans le cadre d'un système multi-utilisateurs ou multitâches, il convient que les zones de mémoire attribuées à un utilisateur ou à un processus ne viennent pas empiéter sur celles affectées aux autres processus présents dans le système. Pour pallier cela, diverses techniques existent, permettant un partage judicieux de la mémoire entre plusieurs segments de programme c'est-à-dire succinctement pour éviter qu'un programme n'aille déborder en mémoire sur un autre programme.

18.2.1 Le partitionnement fixe

Le partitionnement fixe, ou allocation statique de la mémoire, consiste à découper, de façon arbitraire et « définitive », l'espace mémoire centrale en plusieurs partitions. La taille de chaque partition peut être différente en fonction des traitements que l'on sera amené à y effectuer.

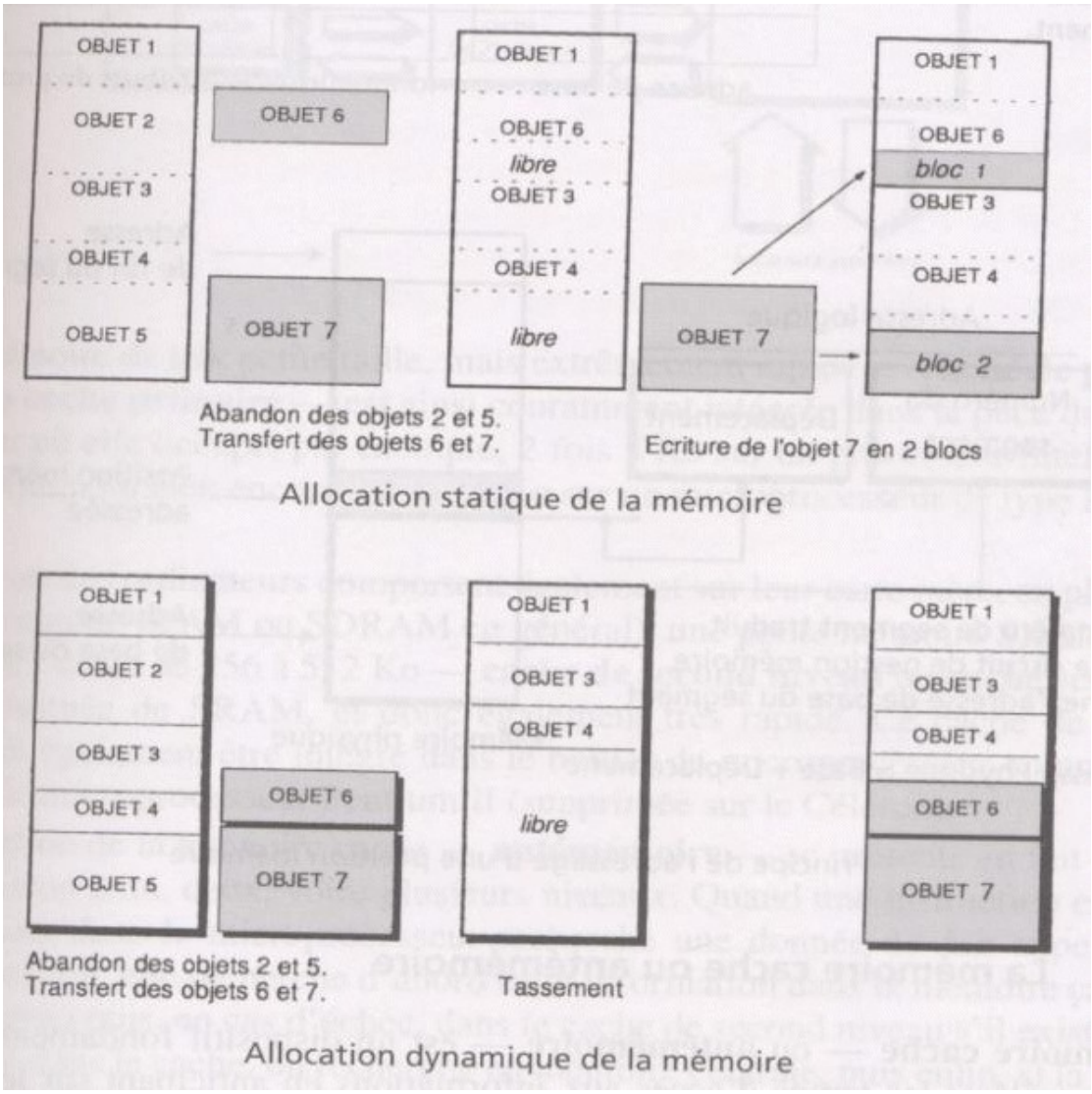
Les processus seront donc chargés dans les partitions mémoire au fur et à mesure des besoins. L'inconvénient majeur de cette technique est le fractionnement des processus trop importants pour loger dans une seule partition libre.

18.2.2 Le partitionnement dynamique

Cette technique, dite aussi allocation dynamique de la mémoire (*garbage collector* – littéralement « ramassage des ordures »), consiste à tasser les segments les uns à la suite des autres dès qu'un processus se retire de l'espace mémoire, laissant alors derrière lui un espace inutilisé. Chaque processus (ou programmes) n'occupe ainsi que la place qui lui est nécessaire et laisse, du fait du tassement, un seul segment de mémoire contiguë vide. Toutefois le tassement que rend nécessaire cette technique est coûteux en temps de traitement.

18.2.3 La pagination

La technique de la pagination, qui rappelle celle du partitionnement statique, utilise un découpage de la mémoire en segments de même taille, eux-mêmes décomposés en petits blocs d'espace mémoire (128, 256 octets, …) appelés pages. Dans certains systèmes, les termes de segments et pages désignent la même chose. La pagination évite ainsi les problèmes liés au tassement des segments mais nécessite, pour gérer les pages, l'adjonction d'un dispositif que l'on appelle table des pages – qui doit être capable de reconstituer l'ordre logique des diverses pages composant le segment de programme.



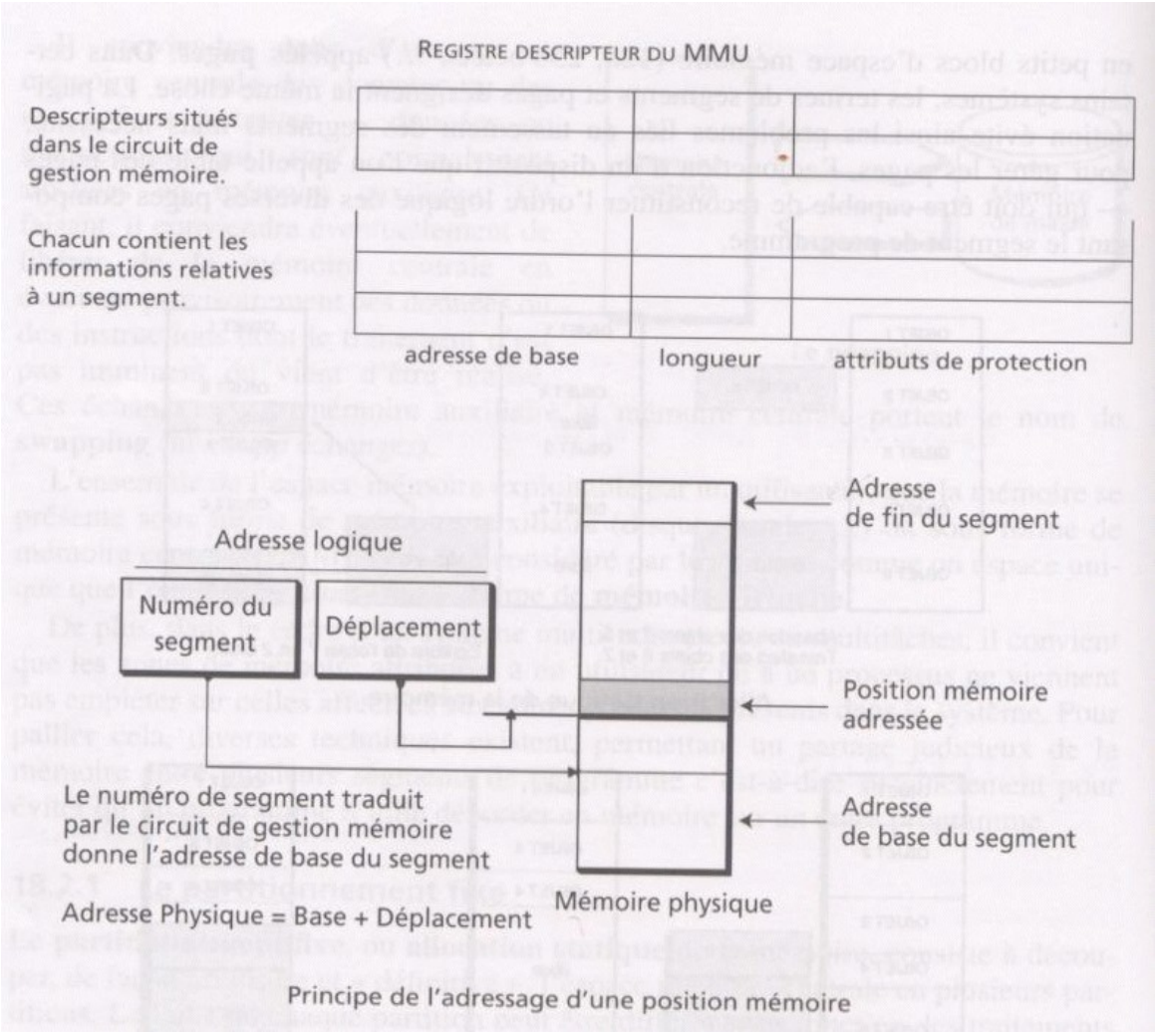
Ici les objets sont des programmes => processus.

18.2.4 La segmentation

La segmentation est une technique qui consiste à diviser l'espace mémoire en *n* segments de longueur variable, un numéro étant attribué à chacun des segments de l'espace adressable.

L'adresse logique est alors traduite en une adresse physique en effectuant le calcul base + déplacement. Chaque segment peut être muni d'un certain nombre d'attributs tels que adresse physique de base du segment, longueur du segment, attributs de protection, …

Ces diverses informations sont stockées dans le registre descripteur d'un composant spécialisé appelé unité de gestion mémoire dit MMU (*Memory Management Unit*).

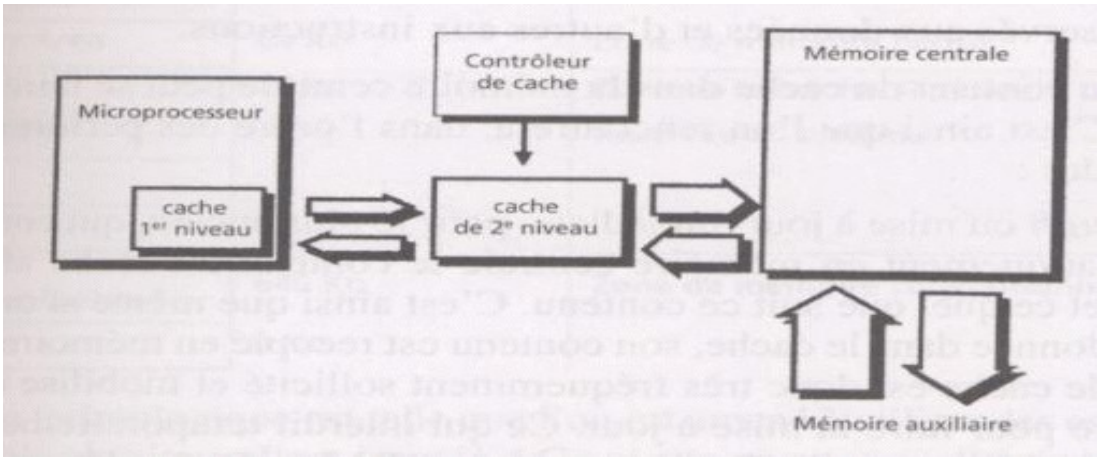


Principe de l'adressage d'une position mémoire

18.2.5 La mémoires cache ou antémémoire

La mémoire cache – ou antémémoire – est un dispositif fondamental permettant d'accélérer les temps d'accès aux informations en anticipant sur leur lecture. En effet, la plupart du temps, l'instruction à exécuter ou la donnée à utiliser se trouvent à proximité immédiate de celle en cours de traitement. Donc, plutôt que de charger, à partir de la mémoire auxiliaire (temps d'accès de l'ordre de 10^{-3} s) instruction par instruction, ou donnée après donnée, on essaye de charger dans une mémoire rapide (temps d'accès de l'ordre de 10^{-9}s) un maximum de données ou d'instructions à la fois.

Prenons un exemple trivial (évident et banal) : vous adorez les oranges. Quand vous allez faire vos courses en grande surface vous en achetez directement un filet. Et dans la coupe de fruit de la cuisine vous en mettez quelques unes. Quand vous voulez une orange vous n'avez qu'à tendre la main vers la coupe. Quand la coupe est vide vous allez dans le cellier (lieu frais) et, plutôt que de ne prendre qu'une orange, vous en remettez quelques unes dans la coupe. Quand il n'y en a plus dans le cellier, vous retournez faire des courses… et vous achetez un filet ! Vous avez là un exemple typique de cache à deux niveaux : la coupe correspond au 1er niveau et le cellier au 2ème niveau.



Maintenant le cache de niveau 2 (Level 2 => L2) est intégré au microprocesseur.

Une mémoire de très petite taille, mais extrêmement rapide – cache de premier niveau (Level 1 => L1) ou cache primaire – est ainsi couramment intégrée dans la puce du microprocesseur où elle occupe, par exemple, 2 fois 8 Ko sur un processeur Intel 486 ou sur un Pentium ou bien encore 2 fois 16 Ko sur un microprocesseur de type Pentium Pro…

La plupart des ordinateurs comportent également sur leur carte mère (maintenant dans le microprocesseur), en plus de la mémoire centrale (RAM ou SDRAM en général), une petite mémoire SRAM d'une capacité de l'ordre de 256 à 512 Ko – cache de second niveau (Level 2 => L2) ou cache secondaire – constituée de SRAM, et donc également très rapide. Ce cache de second niveau peut également être intégré dans le boîtier du microprocesseur comme c'est le cas sur le microprocesseur Pentium II (supprimée sur le Céléron).

L'utilisation de la mémoire cache – antémémoire – se présente en fait comme une pagination à un, deux, voire plusieurs niveaux. Quand une instruction en cours de traitement dans le microprocesseur recherche une donnée ou fait appel à une autre instruction, elle recherche d'abord cette information dans la mémoire cache de premier niveau puis, en cas d'échec, dans le cache de second niveau s'il existe… En cas d'échec dans le cache, on recherche en mémoire centrale, puis enfin, si la recherche n'a toujours pas abouti, on procède à un chargement (*swapp-in*) de la mémoire auxiliaire vers la mémoire centrale, quitte à devoir pour cela procéder au rangement (*swapp-out*) d'une page vers la mémoire auxiliaire.

Selon la manière dont on fait correspondre les cellules mémoire du cache avec celles de la mémoire centrale on distingue trois architectures de cache :

- direct mapping, qui correspond à l'architecture la plus simple. A une adresse du cache correspond une adresse en mémoire centrale. Le cache se comporte alors comme de la mémoire centrale, la seule différence provenant de la rapidité des composants utilisés, plus rapide en cache (30 à 40 ns) qu'en RAM (60 à 70 ns),

- fully associative où le cache sert à conserver les portions de mémoire les plus utilisées par le microprocesseur. Les données les plus récentes sont donc toujours en mémoire mais la recherche de ces données est plus délicate,

- set associative, plus performant, qui correspond à une architecture où le cache est divisé en segments, ce qui permet de mettre en correspondance chacun de ses segments avec une zone différente de la mémoire centrale. On peut donc avoir des segments réservés aux données et d'autres aux instructions.

L'écriture du contenu du cache dans la mémoire centrale peut se faire de différentes manières. C'est ainsi que l'on rencontrera, dans l'ordre des performances croissantes, les modes :

- *Write Through* ou mise à jour immédiate, pour le plus ancien, qui consiste à recopier systématiquement en mémoire centrale le contenu du cache affecté par un traitement, et ce quel que soit ce contenu. C'est ainsi que même si on se contente de lire une donnée dans le cache, son contenu est recopié en mémoire centrale. Le contrôleur de cache est donc très fréquemment sollicité et mobilise également le bus mémoire pour faire la mise à jour. Ce qui interdit temporairement au microprocesseur de faire un accès direct en mémoire DMA (*Direct Memory Access*).

- *Write Back* ou mise à jour par blocs, où on ne réinscrit le bloc de mémoire cache en mémoire que s'il y a eu modification de la donnée par le microprocesseur ou si un autre bloc de donnée a besoin de s'implanter dans le cache.

- *Write Back Synchrone*, plus performant que le *Write Back* dont il reprend les principes de base. Toutefois, on assure la mise à jour de la mémoire centrale seulement si une donnée du cache a effectivement été modifiée par le microprocesseur.

La simple lecture d'un bloc ou son déchargement pour implantation d'un autre bloc n'entraîne pas de réécriture en mémoire centrale si le bloc n'a pas été modifié. De plus, le contrôleur de cache est synchronisé avec le processeur et ne sera donc actif que lorsque le processeur ne tentera pas lui-même un accès DMA.

18.3 GESTION MEMOIRE SOUS MS-DOS

La gestion mémoire sous DOS est encore le « casse-tête » de nombreux utilisateurs de micro-ordinateurs. En effet MS-DOS a été initialement conçu pour être utilisé avec des microprocesseurs ne pouvant pas adresser physiquement plus de 1 Mo. A l'époque (1981) on considérait qu'il s'agissait là d'une plage mémoire tellement importante qu'on en atteindrait jamais les limites et on a donc décidé de réserver 384 Ko comme mémoire utilisable par le système, laissant ainsi libre une zone de 640 Ko destiné aux applications.

La zone de mémoire de 640 Ko dans laquelle travaille essentiellement MS-DOS est appelée mémoire conventionnelle (*Conventional Memory*). La zone de 384 Ko réservée au système (ROM, RAM Vidéo…) est dite mémoire réservée (*Reserved Area*) ou plus souvent mémoire supérieure ou UMA (*Upper Memory Area*).

Compte tenu de la taille des programmes à exécuter en mémoire on a été obligé de s'affranchir assez tôt (1985) de la barrière des 640 Ko gérés directement par DOS.

On a donc utilisé de la mémoire, située au-delà du seuil des 1 Mo d'origine. Cette mémoire est la mémoire étendue (*Extend Memory*).

ZONES MÉMOIRE SOUS MS-DOS

RAM *Extension mémoire*	2, 4, 8… Mo	Zone de mémoire étendue
Hight Memory Area	64 Ko	Zone de mémoire haute
ROM BIOS	1 Mo	Zone de mémoire supérieure
ROM cartouches		Réservée au système
ROM Basic		
RAM Vidéo		
RAM *Programmes utilisateur*	640 Ko	Zone de mémoire conventionnelle
RAM Système	0 Ko	

L'évolution technologique est telle que l'on est amené à utiliser des espaces adressables d'une taille physique allant jusqu'à 4 Go et atteignant virtuellement jusqu'à 64 To.

LES CAPACITÉS D'ADRESSAGE

Microprocesseur	Taille du Bus d'adresses	Capacité d'adressage physique	Capacité d'adressage Virtuel
8086	20 bits	1 Mo	néant
80286	24 bits	16 Mo	1 Go
80386, 80486…	32 bits	4 Go	64 To

De plus, chaque nouveau microprocesseur assure une compatibilité avec les anciens tout en fonctionnant selon des modes qui lui sont propres.

LES MODES DE FONCTIONNEMENT DES PROCESSEURS INTEL

80386, 80486, SX,DX…					
80286					
8086			8086	8086	8086…
Mode Réel	Mode Protégé	Mode Étendu		Mode Virtuel	

18.3.1 La mémoires conventionnelle

Comme nous l'avons mentionné, cette zone est fondamentale pour MS-DOS et pour vos applications. Son inconvénient majeur est sa taille limitée. Aussi, chaque octet gagné dans cette mémoire est il important pour la bonne santé de vos applications. A cet effet on peut être amené à limiter son occupation par la limitation du nombre d'emplacements mémoire réservés par les variables systèmes telle que BUFFER, FILES… que vous pouvez rencontrez dans le fichier CONFIG.SYS de MS-DOS.

Une autre technique consiste à faire s'exécuter le maximum de processus en mémoire supérieure ou à y charger le maximum de drivers. Ceci est généralement réalisé par le biais des commandes DEVICEHIGH ou LOADHIGH des fichiers CONFIG.SYS ou AUTOEXEC.BAT.

On arrive ainsi à disposer pour les applications d'environ 540 Ko sur les 640 Ko d'origine mais souvent au prix de bien des soucis. Certains utilitaires tels que MEMMAKER.EXE – livré avec MS-DOS – ou QEMM… se chargent d'optimiser cette occupation au mieux.

18.3.2 La mémoires supérieure

La mémoire supérieure ou zone de mémoire réservée, également dite mémoire haute (*High Memory*) – à ne pas confondre avec la zone de 64 Ko en HMA – est en principe inutilisable par les applications. Toutefois, il est possible sur les machines récentes (depuis MS-DOS 5.0) d'exploiter la zone initialement destinée à la RAM vidéo.

A cet effet les zones inutilisées de la mémoire supérieure sont découpées en segments de 16 Ko, appelés UMB (*Upper Memory Blocks*) qui peuvent être utilisés par Windows notamment, exécuter en mode 386 étendu. Ces segments sont gérés par le gestionnaire EMM386.EXE en appliquant les principes définis dans la norme XMS (*eXtended Memory Specification*).

18.3.3 La mémoire étendue (extend memory)

Comme les applications MS-DOS ne sont pas capables d'utiliser directement de la mémoire étendue, les sociétés Lotus, Intel et Microsoft ont mis au point en 1985 une norme dite LIM (L, I et M étant les 3 initiales des sociétés), dite aussi spécifiquement EMS (*Expanded Memory Specification*) ou encore LIM-EMS de manière à gérer cette mémoire étendue.

Cette norme consiste à découper la mémoire additionnelle, située au-dessus de ces 640 Ko, appelée parfois mémoire expansée, en blocs de 16 Ko et à transférer ces blocs (par paquets de 4 au maximum) dans un espace de 64 Ko (4 * 16) adressable directement dans les 640 Ko de la mémoire conventionnelle.

DOS peut accéder à cette mémoire grâce à des utilitaires (drivers, gestionnaires, …) de gestion de mémoire étendue, en principe normalisés XMS (eXtend Memory System) comme HIMEM.SYS, …

Certains logiciels (WINDOWS 3, EXCEL, LOTUS…) gèrent également directement cette mémoire étendue par le biais du gestionnaire EMM386.EXE et de la norme XMS. Toutefois, cette mémoire n'est pas accessible en mode réel, c'est-à-dire sur des processeurs 8086 ou des logiciels simulant ces processeurs (mode virtuel).

HIMEM.SYS est un cas un peu particulier, car il permet à DOS d'accéder directement à la zone de 64 Ko située en mémoire étendue alors que normalement DOS ne sait pas reconnaître directement cette zone. Cette zone particulière est appelée HMA (*Hight Memory Area*).

La mémoire étendue se situe uniquement en RAM – physiquement – et ne saurait donc dépasser les limites imposées par l'adressage physique de chaque microprocesseur. Ainsi un 80286 ne saura pas gérer plus de 16 Mo de mémoire. Toutefois ces limites sont en constante évolution au fur et à mesure de l'apparition de nouveaux processeurs.

18.3.4 La mémoires d'expansion (expand memory)

La mémoire d'expansion (*expand memory*) est également composée de mémoire située au-dessus des 640 Ko de RAM conventionnelle, mais cette mémoire est en principe située physiquement sur une carte d'expansion mémoire et non pas sur la carte mère comme c'est le cas habituellement.

Cette mémoire d'expansion est gérée par la norme mise au point par les principaux acteurs de l'époque et connue sous leurs initiales – LIM (Lotus Intel Microsoft). Elle est également désignée comme mémoire EMS (*Expand Memory System*). La mémoire d'expansion présente certains avantages sur la mémoire étendue. Ainsi, on peut y accéder sans avoir à passer en mode protégé, c'est-à-dire que même en mode réel (8086) on peut y accéder, ce qui signifie qu'elle fonctionne donc avec un 8086 comme avec un 80486…

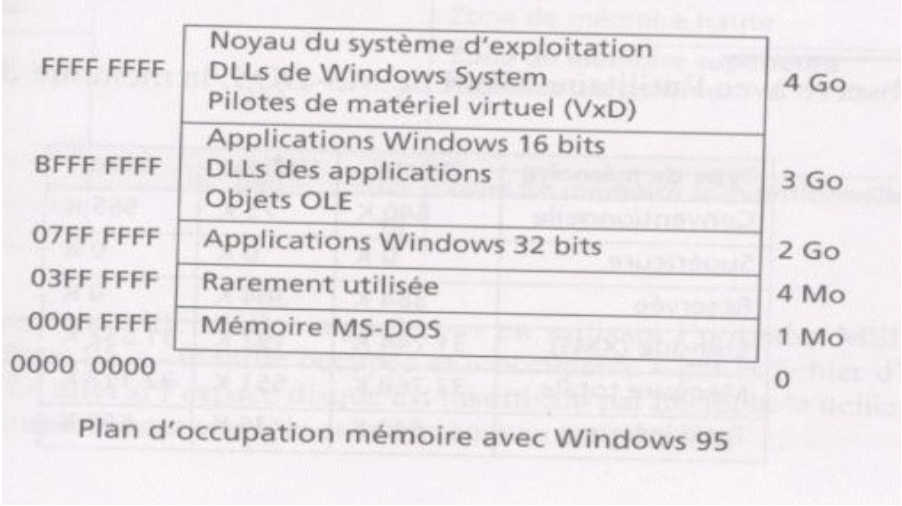
La mémoire EMS emploie, pour fonctionner l'espace d'adressage du DOS (les 640 Ko et la zone HMA). Pour accéder à cette mémoire d'expansion, on utilise une fenêtre de 64 Ko découpée en pages de 16 Ko. Cette fenêtre peut être placée dans les 640 Ko de RAM conventionnelle, ou plus souvent, en RAM dans la zone HMA. Pour écrire ou lire dans la mémoire EMS, on transite par ces pages de 16 Ko. D'où l'appellation de mémoire paginée.

Toutefois, à l'heure actuelle, de moins en moins de micro-ordinateurs fonctionnent sous DOS et la plupart fonctionnent actuellement avec des systèmes d'exploitation plus élaborés tels que Windows 95, Windows 98 ou Windows NT.

18.4 GESTION MEMOIRE AVEC WINDOWS 95 ET NT

Windows 95 et Windows NT ne pouvant être implantés que sur des processeurs 386, 486, Pentium et supérieurs – processeurs qui disposent d'un bus d'adresses d'une largeur de 32 bits – doivent être capable de gérer les 4 Go (2^{32}) d'espace mémoire qu'un tel bus peut adresser.

Windows 95 ou Windows 98 et Windows NT ne distinguent plus – en terme d'adressage – les notions de mémoire conventionnelle, mémoire supérieure ou mémoire étendue… Pour eux l'adressage est dit linéaire c'est-à-dire qu'ils peuvent utiliser, indistinctement, toute la plage d'adresses mémoire comprise entre 0 à 4 Go.



Plan d'occupation mémoire avec Windows 95

Bien entendu une machine ne dispose que très rarement de 4 Go de mémoire vive ! et donc le plan d'adressage est considéré sur l'ensemble « mémoire virtuelle ». Chaque application 32 bits gère son propre espace d'adressage et fonctionne comme si elle disposait de 2 Go.

En réalité quand la mémoire vive est complète, un échange de page (*swapping*) est opéré par le gestionnaire de mémoire virtuelle entre l'espace disque et la mémoire vive.

Bien que Windows 95 soit un système d'exploitation 32 bits, il utilise encore certains composants 16 bits. En effet certaines applications anciennes doivent pouvoir fonctionner sous Windows 95. Dans ce cas Windows 95 est obligé de convertir le système d'adressage 16 bits en adresses mémoire 32 bits. Cette traduction est effectuée automatiquement par Windows 95 mais consomme du temps processeur. Une même application sera donc plus rapide en version 32 bits qu'en version 16 bits.

Deux termes vous renseignent généralement sur la quantité de mémoire dont vous disposez :

- Mémoire User disponible : Pourcentage de ressources disponibles dans le composant Utilisateur Windows ;
- Mémoire GDI disponible : Pourcentage de ressources disponible dans l'interface de périphérique graphique Windows (GDI, *Graphic Design Interface*).

Pour améliorer les performances de vos applications sous Windows 95 et Windows NT en ne considérant que le facteur mémoire, vous disposez en fait de diverses solutions telles que l'achat de RAM – éventuellement, si la carte mère le permet, en utilisant des technologies récentes EDO, SDRAM, … plus rapides.

Vous pouvez également passer par l'augmentation de la taille de la mémoire cache ou bien l'optimisation de la mémoire virtuelle en augmentant la taille du fichier d'échange réservé en zone disque, en le déplaçant vers un autre disque géré par un autre contrôleur…

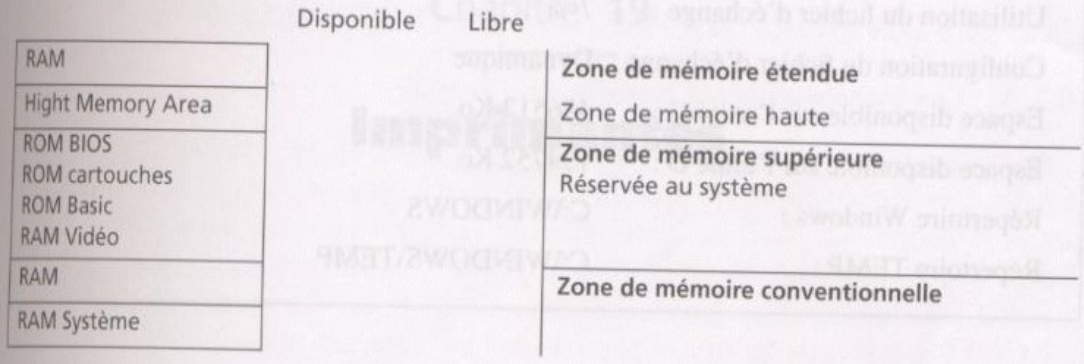
EXERCICES

18.1 On observe avec l'utilitaire MEM de MS-DOS, la mémoire d'un ordinateur

Type de mémoire	Totale	Utilisée	Libre
Conventionnelle	640 K	75 K	565 K
Supérieure	0 K	0 K	0 K
Réservée	384 K	384 K	0 K
Étendue (XMS)	31 744 K	192 K	31 552 K
Mémoire totale	32 768 K	651 K	32 117 K
Total inférieur	640 K	75 K	565 K

Totale Paginée (EMS) 32 M (33 030 144 octets)
Mémoire libre paginée (EMS) 16 M (16 777 216 octets)
Taille maximale du programme exécutable 564 K (578 032 octets)
Taille maximale de la mémoire supérieure libre 0 K (0 octets)
MS-DOS réside en mémoire haute (HMA).

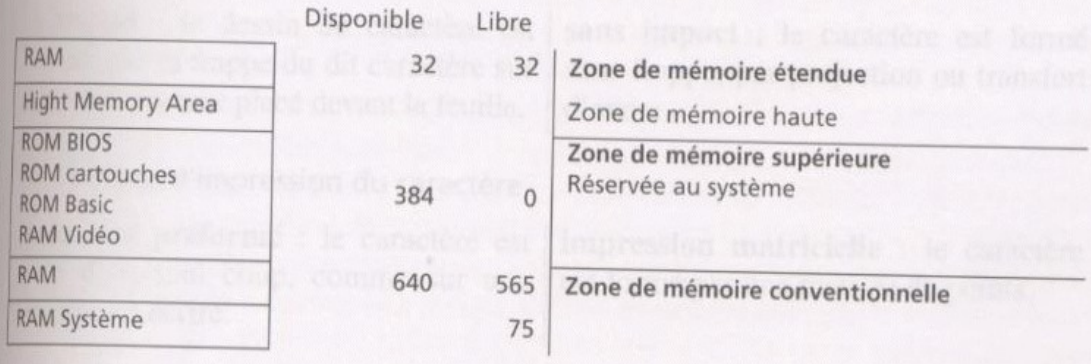
Reportez ces valeurs aux emplacements concernés du tableau ci-après.



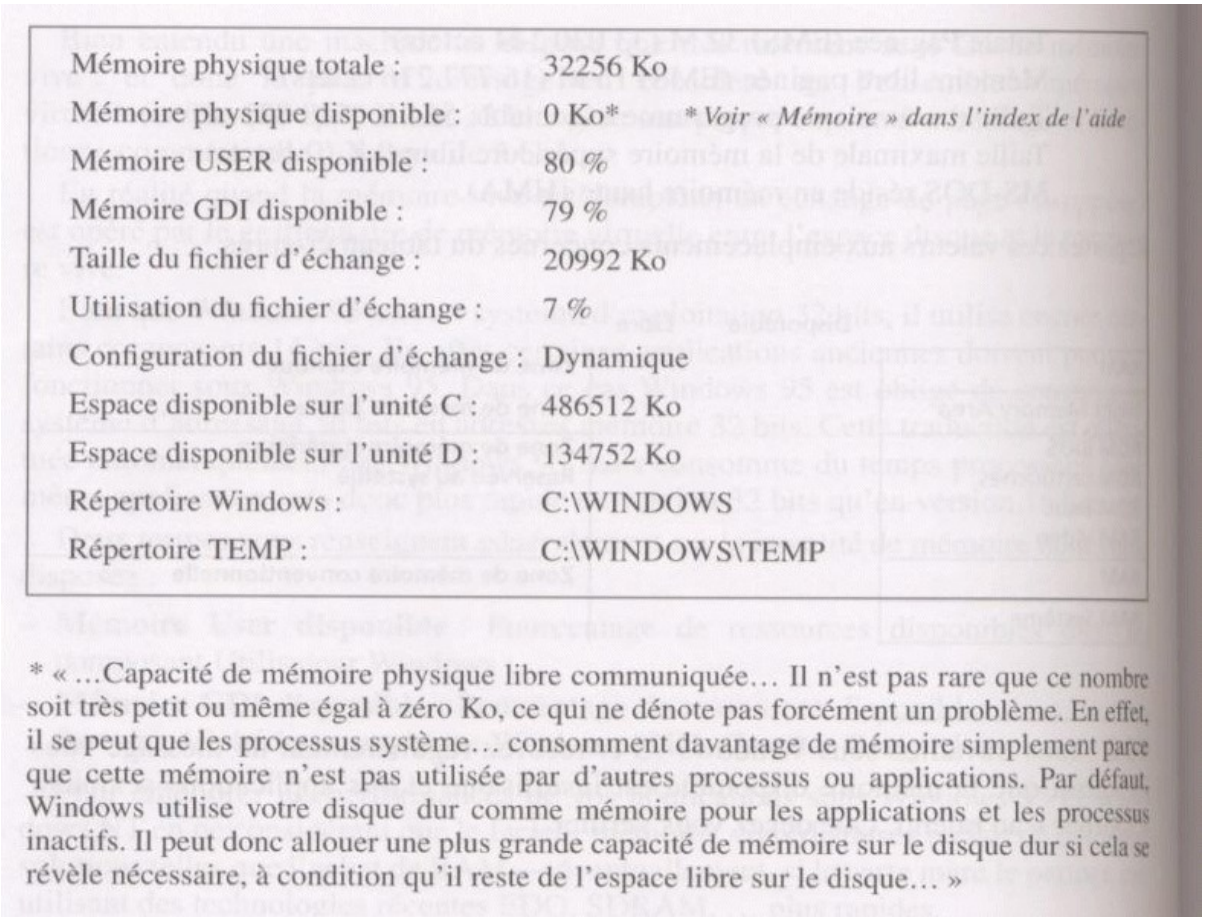
18.2 Vous travaillez sous Windows 95 et recevez régulièrement un message vous indiquant que la mémoire disponible est insuffisante et vos applications semblent « tourner » au ralenti. Que devez vous vérifier ?

SOLUTIONS

18.1 Les valeurs doivent être reportées aux emplacements du tableau comme montré ci-après.



18.2 Il est fortement conseillé d'aller regarder — en utilisant l'utilitaire MSINFO32 par exemple sous Windows 95 — la taille occupée et « occupable » par le fichier d'échange de mémoire virtuelle. En effet si l'espace disque est insuffisant par exemple le fichier d'échange ne peut plus jouer correctement son rôle et le système en est perturbé.



Mémoire physique totale :	32256 Ko	
Mémoire physique disponible :	0 Ko*	* *Voir « Mémoire » dans l'index de l'aide*
Mémoire USER disponible :	80 %	
Mémoire GDI disponible :	79 %	
Taille du fichier d'échange :	20992 Ko	
Utilisation du fichier d'échange :	7 %	
Configuration du fichier d'échange :	Dynamique	
Espace disponible sur l'unité C :	486512 Ko	
Espace disponible sur l'unité D :	134752 Ko	
Répertoire Windows :	C:\WINDOWS	
Répertoire TEMP :	C:\WINDOWS\TEMP	

* « ...Capacité de mémoire physique libre communiquée... Il n'est pas rare que ce nombre soit très petit ou même égal à zéro Ko, ce qui ne dénote pas forcément un problème. En effet, il se peut que les processus système... consomment davantage de mémoire simplement parce que cette mémoire n'est pas utilisée par d'autres processus ou applications. Par défaut, Windows utilise votre disque dur comme mémoire pour les applications et les processus inactifs. Il peut donc allouer une plus grande capacité de mémoire sur le disque dur si cela se révèle nécessaire, à condition qu'il reste de l'espace libre sur le disque... »

Chapitre 19

Imprimantes

Le document papier représente encore le support privilégié de l'information pour l'homme, l'imprimante est, avec l'écran, le périphérique de sortie par excellence.

19.1 GENERALITES

Les imprimantes sont nombreuses sur le marché. Elles diffèrent selon la technologie employée ou par quelques détails seulement. Parmi cet ensemble on peut tenter d'établir une classification en fonction de quatre critères :

> La famille technologique <

à impact : le dessin du caractère est obtenu par la frappe du dit caractère sur un ruban encreur placé devant la feuille.

sans impact : le caractère est formé sans frappe, par projection ou transfert d'encre.

> Le mode d'impression du caractère <

caractère préformé : le caractère est créé d'un seul coup, comme sur une machine à écrire.

impression matricielle : le caractère est formé par une matrice de points.

> Le mode d'impression du texte <

mode caractère : les caractères qui composent le texte sont imprimés les uns après les autres.

mode ligne : le dispositif d'impression couvre toute la ligne de texte du document. Toute la ligne est imprimée d'un seul coup.

> Le mode d'avancement du papier <

friction : le papier est entraîné par la friction exercée à sa surface par un rouleau caoutchouté.

traction : le papier est entraîné par des roues à picots dont les dents s'insèrent dans les perforations latérales, prévues à cet effet sur le papier (bandes caroll).

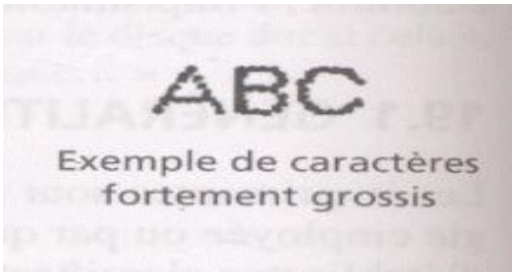
19.2 LES DIVERSES TECHNOLOGIES D'IMPRIMANTES

19.2.1 Les imprimantes à bandes ou à ruban

Dans l'imprimante à bande ou à ruban, un ruban métallique, comportant plusieurs jeux de caractères, tourne en permanence devant le papier. Entre le ruban métallique et le papier est placé un ruban encreur (souvent en tissu imprégné d'encre). Une rangée de marteaux situés derrière le papier vient frapper le caractère souhaité quand il coïncide avec sa position désirée sur la ligne. Ce système, relativement lent (300 à 2 000 Ipm ou lignes par minute) est apprécié pour sa fiabilité et l'alignement des caractères d'une même ligne. Il se rencontre en informatique « lourde » sur des systèmes plutôt anciens.

19.2.2 Les imprimantes matricielles

L'impression matricielle est souvent associée à la notion d'impact, mais on peut considérer comme faisant partie des impressions matricielles les diverses techniques que sont l'impact, le transfert thermique et le jet d'encre dans la mesure ou le dessin du caractère se fait bien au travers d'une matrice de points.



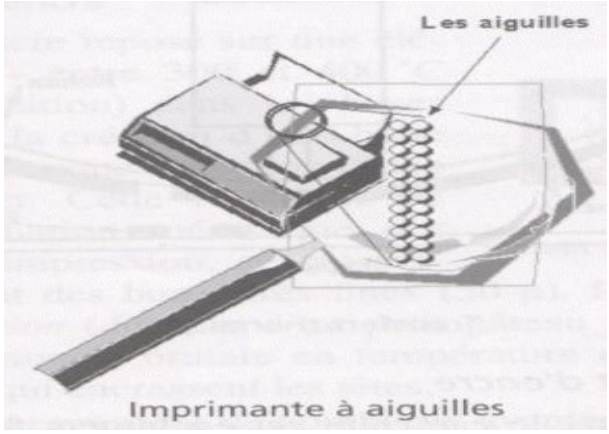
a) Impression matricielle par impact

**Dans cette technique le caractère est constitué par une matrice de points (*dot*), dont certains seront imprimés et d'autres non. Les matrices les plus souvent rencontrées étaient, il y a encore quelques années, de 5 * 7 ou
de 7 * 9 points, elles sont désormais bien meilleures et montent jusqu'à 18 * 21, 18 * 24 ou
même 36 * 18 points.**

L'impression se fait sur papier ordinaire, à l'aide d'un ruban carboné que vient frapper chaque aiguille. Celles-ci sont portées par une tête comportant souvent 9 aiguilles pour les entrées de gamme, 24 aiguilles couramment (deux colonnes de 12 aiguilles), et même 48 aiguilles pour certaines – cependant plus fragiles. Plus il y a d'aiguilles et plus leur diamètre doit diminuer. On atteint ainsi 200 µ avec les têtes 24 aiguilles.

Le ruban est souvent monochrome noir, mais il est possible d'obtenir l'impression de couleurs en utilisant un ruban à quatre couleurs dont le noir. Les autres couleurs, qui par mélange permettent d'élargir la palette de couleurs sont, soit rouge, vert et bleu pour le ruban RVB, soit jaune, magenta et cyan pour un ruban JMC.

Les défauts de la technologie couleur tiennent au fait que, suivant l'usage que l'on en fait, certaines couleurs du ruban peuvent s'user plus vite que d'autres (le jaune en particulier). D'autre part, lors d'un usage intensif de l'imprimante, il peut se produire un léger dérèglement dans la hausse du ruban, tant et si bien que les couleurs situées l'une à côté de l'autre finissent par « baver ».



L'impression matricielle à impact est fiable, et peut même être de belle qualité quand on frappe deux fois la lettre avec un très léger décalage (impression en qualité courrier).

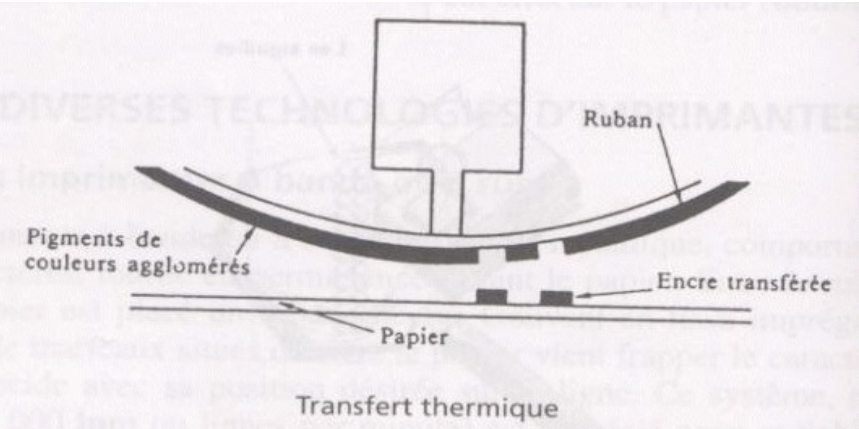
Par contre, elle est souvent peu rapide, notamment en qualité courrier, de l'ordre de 120 à 400 cps (caractères par secondes), soit environ 40 à 150 lpm. Certaines imprimantes de ce type montent cependant à plus de 850 cps et 600 lmp en mode « brouillon » (*draft*). Ce système permet également le tracé de graphiques ou de dessins (bitmap, …).

Cette technologie est encore assez employée, compte tenu du faible coût de ce type d'imprimantes, mais c'est un mode d'impression bruyant qui est en train d'être détrôné par les imprimantes à jet ou bulle d'encre et les imprimantes lasers, sauf bien entendu s'il s'agit de produire des documents en liasses.

b) Impression matricielle thermique

L'impression matricielle thermique repose sur l'emploi d'un papier thermosensible, ou bien encre d'un ruban encreur à transfert thermique.

Avec un papier thermosensible, technique assez peu utilisée en informatique « courante », l'aiguille est chauffée et son contact avec un papier spécialement traité déclenche une réaction chimique qui se traduit par l'apparition d'une couleur bleue ou noire au niveau du point de contact. Malheureusement cette impression ne réside généralement pas au temps, et les documents sont « effacés » au bout de quelques mois. Avec un ruban à transfert thermique, la matrice est constituée d'éléments de petite taille qui, en chauffant, décollent l'encre de couleur, collée grâce à une cire spéciale sur un ruban de polyester. Il est possible, en utilisant des rubans RVB ou JMC, d'obtenir une palette de couleurs importante (jusqu'à 100 couleurs) en utilisant des techniques de tramages (*dithering*) qui consistent à juxtaposer les couleurs fondamentales. De telles imprimantes nécessitent un papier particulièrement lisse, mais assurent une impression de qualité supérieure à celle obtenue par impact – résolution allant jusqu'à 400 * 400 ppp (point par pouce) ou dpi (*dot per inch*) – quoique lente puisqu'il est nécessaire de faire plusieurs passes.



c) Les imprimantes à jet d'encre

Dans ce type d'imprimante, le caractère est également formé par une matrice de points mais ces points sont obtenus par la projection, grâce à une série de buses, de microscopiques gouttelettes, ou bulles d'encre, à la surface du papier. Il existe diverses techniques d'impression utilisant le jet d'encre.

> Imprimante à jet continu <

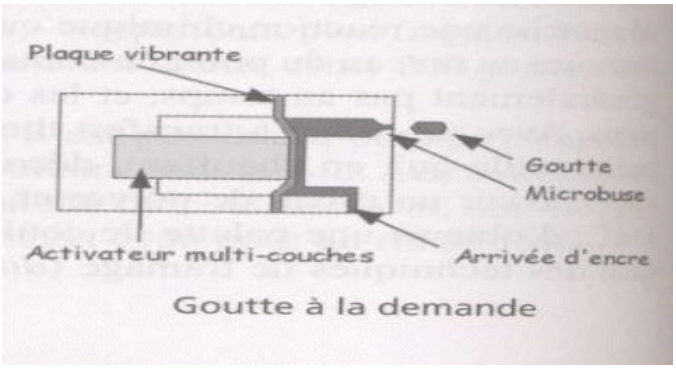
Dans l'imprimante à jet continu, une série de buses émet de l'encre à jet continu. Un convertisseur piezo, par des oscillations haute fréquence, transforme ces jets en gouttelettes qui passent dans une électrode creuse où chacune est chargée électriquement parmi 30 niveaux possibles. Des électrodes de déflexion dévient les gouttes en fonction de leur charge. L'encre non déviée est récupérée et recyclée.

La projection des gouttes sur le papier se fait selon deux méthodes : une méthode binaire, où les gouttes chargées sont récupérées et les autres projetées sur le papier sans déflexion, ou une méthode analogique, dite multidévié, où les gouttes sont déviées par des électrodes, en fonction de leur charge électrique. La fréquence d'émission des gouttes peut atteindre 625 000/s et la résolution obtenue est d'environ 1 400 * 720 ppp (points par pouce – qui s'exprime aussi en dpi (*dot per inch*).

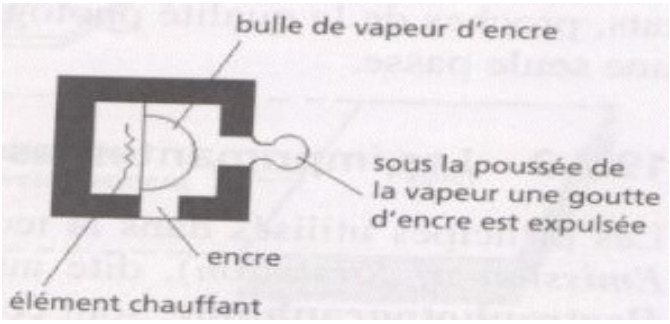
> Imprimante du type goutte à la demande <

Dans le système de goutte à la demande, le circuit d'encre est maintenu à basse pression, ce qui retient la goutte dans l'électrode creuse. A la demande de l'impression d'un point, un activateur piezo-céramique se déforme sous l'effet du courant et comprime l'encre dans la buse, propulsant ainsi une goutte sur le papier. La fréquence d'émission des gouttes atteint 14 000 gouttes/s, la résolution 1 440 dpi * 720 dpi. Les

microbuses (jusqu'à 192) sont de plus en plus fines et atteignent actuellement 33 µ. Le point imprimé devient alors quasiment invisible puisqu'on estime que la limite de l'œil humain est de 40 µ à une distance de 20 cm.



> Imprimante à bulle d'encre <



La technique à bulle d'encre repose sur une élévation de température – entre 300 et 400 °C (au-delà du point d'ébullition) dans les buses (jusqu'à 256), entraînant la création d'une bulle de vapeur d'encre, qui provoque l'éjection d'une gouttelette vers le papier. Cette technique ne nécessite pas de déformation mécanique des composants de la tête d'impression, ce qui permet de réaliser également des buses très fines (50 µ). L'inconvénient de ce type d'impression est la *kogation* (du nom d'un petit gâteau japonais qui a tendance à s'émietter). En effet la montée brutale en température dégrade l'encre créant de petites particules solides qui encrassent les têtes.

L'imprimante jet d'encre présente de nombreux avantages :

- une impression relativement silencieuse, moins bruyante généralement qu'une laser (40 décibels contre 50 environ),

- une qualité d'impression en constante évolution (jusqu'à 1 440 * 720 ppp) atteignant d'ores et déjà celle des lasers de bureau,

- elles permettent l'emploi de papier ordinaire – perforé (listing à traction) ou non.

Leurs défauts de jeunesse sont en train d'être corrigés, c'est ainsi que le problème des buses bouchées a été partiellement résolu par l'emploi d'encre liquéfiable avec l'élévation de température, on a intégré la tête et la cartouche d'encre dans un même élément afin de simplifier la maintenance, l'encre sèche plus vite et résiste mieux à l'humidité… Toutefois leur vitesse est encore loin d'atteindre celle des grosses imprimantes lasers et n'est actuellement que de l'ordre de 6 à 12 ppm.

Ces imprimantes permettent également de réaliser des impressions couleur de belle qualité en associant une cartouche d'encre à chaque couleur de base. Une tête composée de quatre rangées verticales de buses projetant de manière simultanée les quatre encres Jaune, Magenta, Cyan et Noir sur le papier, un seul passage de la tête est alors suffisant.

> Imprimante à sublimation <

L'imprimante à sublimation, située entre la matricielle thermique et la jet d'encre, permet d'approcher la qualité photographique, mais à un coût relativement important. Dans le transfert thermique, on procède au chauffage d'une fine pellicule d'encre et de cire, la fonte de la cire entraînant la libération de l'encre et son dépôt sur le papier. On obtient ainsi par une passe de chaque couleur de base une impression de belle qualité.

Dans la sublimation, la différence provient essentiellement de la nature de l'encre contenue dans un ruban (encre polymérisée). On utilise un papier spécial, également polymérisé. Sous l'action de la chaleur (de 400

à 600 °C) de la tête d'impression, l'encre est transférée du ruban au papier où elle se fixe par réaction chimique. Le contrôle de la densité des taches d'encre se réalise par variation de la température et de la durée du chauffage. Cette technologie donne actuellement les meilleurs résultats, proches de la qualité photographique (dégradés en 16 millions de couleurs) en seule passe.

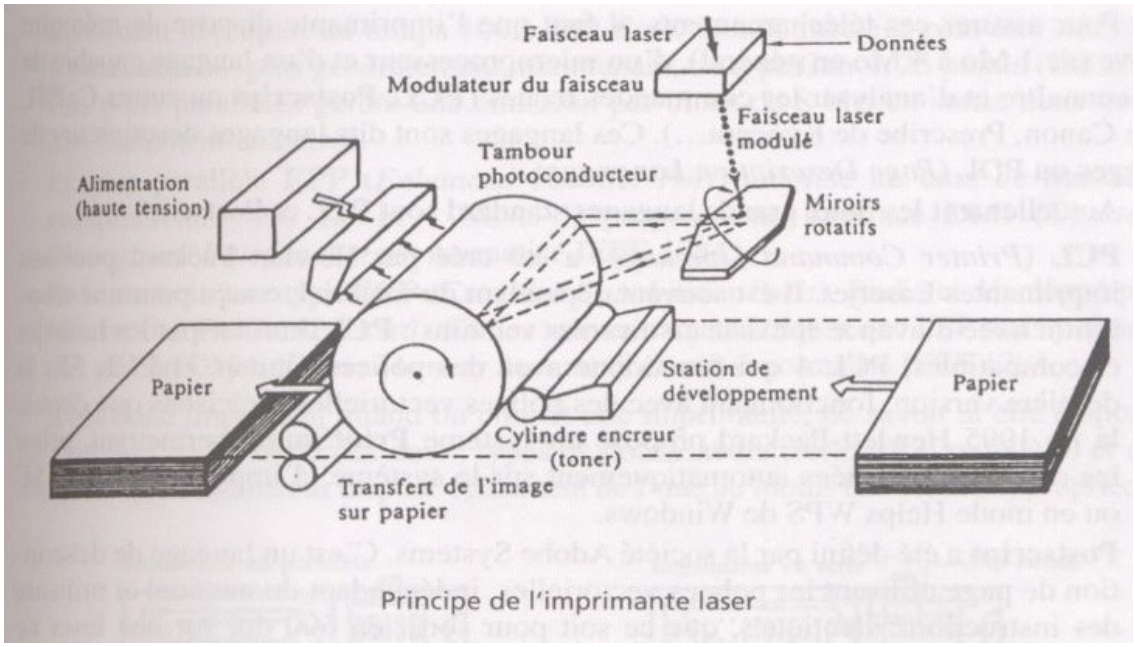
19.2.3 Les imprimantes lasers

Les principes utilisés dans la technologie laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), dite aussi xérographique, életrographique ou encore électrophotographique, sont ceux employés sur les photocopieurs.

Un tambour, recouvert d'une couche de sélénium photosensible, est chargé négativement. L'image à imprimer est alors envoyée sur le tambour grâce au faisceau lumineux émis par un laser. A l'endroit où le tambour a été insolé, une charge électrique positive apparaît formant une « image » latente du document à imprimer. La poudre d'encre (*toner*), chargée négativement, va être attirée par ces zones. Le papier introduit dans le mécanisme d'impression reçoit une importante charge positive qui attire le *toner* sur la feuille. L'encre est ensuite fixée au papier par cuisson. Enfin, la feuille est éjectée vers le bac récepteur et le tambour nettoyé. Le processus peut recommencer.

L'image du caractère peut être générée par un faisceau laser piloté par le générateur de caractères, par un jeu de diodes électroluminescentes, ou par un obturateur à cristaux liquides. Avec une imprimante laser, le faisceau est projeté sur le tambour par un miroir polygonal tournant à grande vitesse, chaque facette du miroir permettant d'atteindre une portion de la génératrice du tambour. Pendant le balayage, le rayon est allumé ou éteint selon que l'on doit afficher, ou non, un point (pixel) sur la feuille. Le nombre de pixels par ligne détermine la résolution horizontale. Le nombre de lignes par pouce que balaie le faisceau détermine la résolution verticale. Avec les diodes électroluminescentes, le faisceau laser est remplacé par une matrice de diodes insolant le tambour selon que l'on allume ou pas les diodes nécessaires. Avec l'obturateur à cristaux liquides – technologie DMD (*Deformable Mirror Device*) – une lampe d'exposition ordinaire éclaire des cristaux qui se déforment en surface et orientent alors le rayon lumineux en fonction du dessin à obtenir. Cette technique récente ne permet pas de dépasser actuellement une résolution de 300 dpi (*dots per inch* ou points par pouce).

Les avantages que présentent ces imprimantes sont principalement des cadences élevées (de 8 à plus de 40 ppm), une très bonne résolution horizontale de l'ordre de 300 à 1 200 dpi et pouvant atteindre jusqu'à 4 800 * 600 dpi. Par contre, elles sont d'une technologie un peu complexe les rendant plus fragiles que d'autres.



Principe de l'imprimante laser

> Les imprimantes laser couleur <

La technique utilisée avec l'imprimante laser couleur consiste à assurer quatre passages du tambour devant des toners de couleur cyan, magenta, jaune et noir. A chaque passe, seules les couleurs concernées seront chargées, le transfert et la fixation par cuisson sur la feuille étant assurés en une seule dois. Cette technique assez délicate à mettre en œuvre car il faut assurer le calage des couleurs pour éviter les débordements et le « bavage ». On atteint environ 600 * 2 400 dpi et 36 ppm.

19.2.4 Cartouches, polices téléchargeables, langage PCL, Postscript, GDI, ...

Les imprimantes jet d'encre et laser autorisent l'emploi de très nombreuses polices de caractères ou de symboles (*dingbats*) de tailles ou d'attributs (gras, souligné, italique, …) différents. Ces polices de caractères peuvent être stockées dans la machine sous forme de mémoire morte et on parle alors de polices résidentes, cette mémoire morte peut être étendue par l'adjonction de PROM enfichables sur l'imprimante appelées cartouches. Il est également possible de charger ces jeux de caractères depuis l'ordinateur vers la mémoire de l'imprimante on parle alors de polices téléchargeables.

Parmi ces polices téléchargeables, on peut faire la distinction entre les polices bitmap, où le caractère est défini par une « carte de points » fonction de la casse, de la taille et de l'attribut du caractère (autant de tailles et d'attributs, autant de fichiers représentatifs du jeu de caractères sur le disque dur…), et les polices vectorielles où on définit mathématiquement chaque caractère ce qui permet d'en faire varier facilement la taille ou les attributs… (une police = un fichier).

Pour assurer ces téléchargements, il faut que l'imprimante dispose de mémoire vive (de 1 Mo à 4 Mo en général), d'un microprocesseur et d'un langage capable de reconnaître et d'analyser les commandes reçues (PCL, Postscript ou autres CaPSL de Canon, Prescribe de Kyocera…). Ces langages sont dits langages descripteurs de pages ou PDL (*Page Description Language*).

Actuellement les deux grands langages standard sont PCL et Postscript :

- PCL (*Printer Command Language*) a été créé par Hewlett Packard pour ses imprimantes Laserjet. Il est souvent dépendant du matériel, conçu pour une résolution fixée d'avance et existe en diverses versions : PCL 3 utilisé par les Laserjet et compatibles, PCL 4 qui fonctionne avec des polices bitmap, et PCL 5E, la dernière version, fonctionnant avec des polices vectorielles. Précisons que depuis la fin 1995 HP propose un système PrintSmart permettant, selon les capacités détectées automatiquement sur le système, d'imprimer en PCL 5E ou en mode Helps WPS de Windows.

- Postscript a été défini par la société Adobe Systems. C'est un langage de description de page utilisant les polices vectorielles, indépendant du matériel et utilisant des instructions identiques, que ce soit pour sortir en 600 dpi sur un laser de bureau ou en 2 500 dpi sur une photocomposeuse.

La technologie GDI : Windows propose son propre langage graphique et les imprimantes GDI (*Graphic Device Interface*) intègrent ce langage. Cette solution permet de gagner en rapidité puisqu'on ne passe plus par une phase de traduction en langage PCL ou Postscript

La technologie RET (*Resolution Enhancement Technology*) est une technique, développée par HP, permettant d'améliorer la résolution des imprimantes. Cette technologie permet de limiter l'effet d'escalier en modifiant la couleur de certains points. A partir d'un dégradé, on obtient un effet visuel de lissage des courbes diminuant l'effet d'escalier classique.

19.3 INTERFACAGE DES IMPRIMANTES

Les deux méthodes classiques de transmission des caractères entre ordinateur et imprimantes sont la transmission série ou la transmission parallèle.

Dans la transmission série les bits constituant les caractères sont envoyés « les uns derrière les autres » sur une ligne de transmission qui ne peut comporter alors que quelques fils. Cette technique, qui permet des liaisons à distance plus importante, est connue sous le nom de RS 232 ou liaison série. Le connecteur est généralement du type Canon 25 ou 9 points.

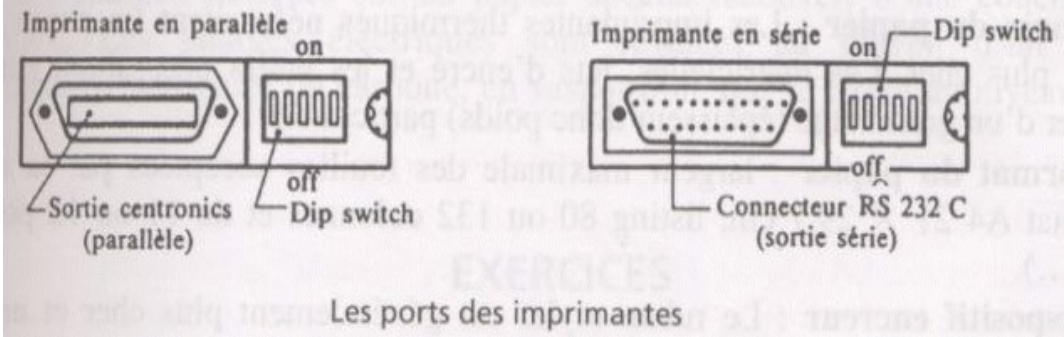
Dans la transmission parallèle, plus couramment utilisée, les bits constituant les caractères sont transmis « simultanément » sur autant de fils. Il existe, à l'heure actuelle, trois sortes de ports parallèles :

- Le port parallèle standard, à l'origine unidirectionnel il est maintenant bidirectionnel permettant ainsi à l'imprimante d'émettre des informations telles que incident papier, fin d'encre… Il n'autorise que des liaisons à courte distance à des débits avoisinant la plupart du temps 100 à 300 Ko/s. Son connecteur peut être de type Centronics ou, plus généralement, maintenant, de type Canon 25 points (DB 25). Ces ports parallèles gèrent une émission par blocs de 8 bits en sortie mais de 4 bits seulement en entrée.

- Le port parallèle EPP (*Enhanced Parallel Port*) autorise un taux de transfert compris entre 400 Ko et 1 Mo/s. Il propose une interface DMI (*Desktop Managment Interface*) et est normalisé IEEE 1284.

- Enfin un troisième type ECP (*Extended Capabilities Ports*), étudié et développé par Microsoft et HP offre les mêmes caractéristiques que EPP mais y ajoute une gestion DMA (*Direct Memory Access*). Il est aussi normalisé IEEE 1284.

Il est donc important, quand on choisit une imprimante, de savoir si elle dispose de l'un ou l'autre, voire des deux, types de connecteurs (série et/ou parallèle) et de s'assurer que l'ordinateur dispose également de l'une au moins des sorties appropriées.



Les ports des imprimantes

19.3.1 Imprimantes réseau

Certaines imprimantes sont qualifiées de « réseau ». En fait il s'agit d'imprimantes traditionnelles équipées d'un adaptateur (une carte réseau) qui permet de les connecter dans un réseau local « indépendamment » d'une station. L'imprimante n'est plus reliée physiquement à un PC par un câble parallèle mais connectée au réseau par le biais d'un câble en paire torsadée et d'une prise RJ45, par exemple. L'adaptateur peut être intégré à l'imprimante ou se présenter sous la forme d'un boîtier de connexion externe.

19.3.2 Imprimantes « mixtes »

De plus en plus d'imprimante commencent à jouer le rôle de photocopieur, fax ou scanner. Cet aspect peut être intéressant à considérer en terme d'encombrement de bureau. Attention, cependant, à la fiabilité des composants, encore jeunes sur le marché.

19.4 CRITERES DE CHOIX

Les critères de choix des imprimantes sont très nombreux et dépendent du type d'utilisation envisagée.

Interfaçage : Parallèle ou série, la connexion de l'imprimante passe par une interface que doit posséder l'ordinateur si on veut pouvoir y connecter l'imprimante.

Qualité : Les imprimantes à aiguilles fournissent généralement une qualité moindre que les jets d'encre ou laser, mais avec les têtes 24 ou 48 aiguilles ce n'est pas toujours exactes.

Résolution : Elle caractérise la qualité d'impression et s'exprime souvent en ppp (points par pouce) ou dpi (*dot per inch*). 600 * 600 est une résolution « correcte ».

Polices de caractères : Le changement du jeu de caractères peut se faire par changement de la tête avec les imprimantes courrier, par « switch » ou par logiciels et cartouches interposés pour les matricielles ou les jets d'encre et de manière logicielle très complète pour les lasers.

Nombre de colonnes : Le nombre de colonnes est généralement de 80 ou de 132 pour la plupart, mais certaines peuvent écrire plus de caractères en mode « condensé ».

Vitesse d'impression : Elles varient de 100 à 400 cps. Pour les imprimantes haut de gamme on va jusqu'à 200 pages par minute (ppm).

Choix du papier : Les imprimantes thermiques nécessitent un papier spécial donc plus cher. Les matricielles, jets d'encre et les lasers nécessitent parfois un papier d'un grammage (épaisseur donc poids) particulier.

Format du papier : Largeur maximale des feuilles acceptées par la machine (format A4 21 * 29,7 cm, listing 80 ou 132 colonnes et de 11 ou 12 pouces de haut…).

Dispositif encreur : Le ruban mylar est généralement plus cher et nettement moins durable que le ruban en tissu imprégné. Le format des rubans dépend du type de matériel. La cartouche de toner des lasers est

souvent assez onéreuse à l'achat mais souvent rentable en terme de coût de la page. Il en est de même avec les cartouches d'encre des imprimantes à jet d'encre où le coût de la page peut être assez élevé.

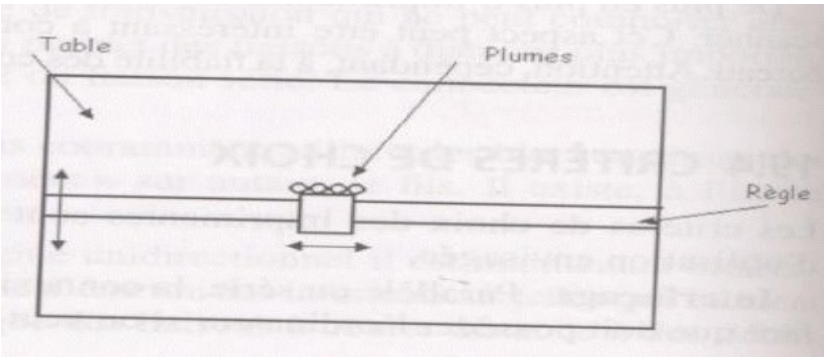
Bruit : Les imprimantes à impact peuvent être assez bruyantes, bien qu'il existe des capots d'insonorisation. Les imprimantes lasers et à jet d'encre sont plus silencieuses.

19.5 LES AUTRES MATERIELS DE DIFFUSION DES RESULTATS

19.5.1 Les tables traçantes

Les tables traçantes, ou *plotters*, permettent de réaliser le tracé de plans, graphiques, cartes, …

Elles sont constituées d'une table servant de support à la feuille de papier et d'un chariot curseur coulissant le long d'une règle. Ce chariot est destiné à porter des plumes de couleurs diverses. La règle porte-curseur est elle-même mobile dans un axe perpendiculaire à l'axe de déplacement du curseur. La plume sélectionnée est amenée au-dessus du point à tracer puis abaissée, le curseur et la règle vont ensuite se déplacer de façon à tracer le segment voulu sur la feuille, la pointe est alors relevée. Les possibilités graphiques des traceurs sont très fines puisque la pointe peut être placée à moins de 0,05 mm du point à tracer.



19.5.2 Les traceurs à rouleau

Les traceurs à rouleau permettent de réaliser les mêmes types de dessins que les tables traçantes. Un rouleau actionné par un moteur pas à pas entraîne le papier plus ou moins vite vers le haut ou le bas. Une réglette guide un curseur muni de plumes. Le curseur est généralement mû par un câble, dans une direction orthogonale à celle du déplacement du papier. Une variante est le traceur électrostatique où la tête, constituée d'électrodes portées à un potentiel élevé, dépose des charges statiques sur un papier spécial recouvert d'une couche de diélectrique. Les charges électriques sont révélées au moyen d'un bain comportant des particules de carbone, en suspension, qui se fixent au niveau des charges.

EXERCICES

19.1 Un catalogue vous propose une imprimante référencée « Canon BJC 4550 5 ppm A4 A3 Transparents 64 Ko » pour 2 250 FTTC. Quelles caractéristiques d'imprimante pouvez vous déterminer dans cette proposition ?

19.2 On vous charge de faire l'acquisition d'une imprimante pour le service comptable de l'entreprise. Quelles caractéristiques allez vous observer ?

SOLUTIONS

19.1 Les caractéristiques d'imprimante pouvant être déterminées sont :

- La marque : Canon.
- Le type d'imprimante : BJC 4550. Il s'agit très probablement d'une imprimante à jet d'encre (***Bubble Jet***), couleur (***Color***).
- La vitesse : 5 ppm (pages par minute).
- Le format et le type de « papier » accepté qui va du A4 au A3 et accepte les transparents.
- La capacité de mémoire imprimante : 64 Ko ce qui permet de libérer la mémoire du micro-ordinateur et donc d'accélérer les impressions.

19.2 Les caractéristiques à observer seront les suivantes :

a) Il faut commencer par déterminer l'usage qui sera fait de l'imprimante. s'il s'agit d'imprimer des liasses — comme ce peut être le cas dans un service comptable — le choix d'une matricielle à impact est impératif sinon une jet d'encre ou une laser peuvent faire l'affaire.

b) Il faut connaître le nombre de documents à imprimer ce qui va vous permettre de déterminer le débit — en ppm généralement — de l'imprimante à choisir.

c) Il faut déterminer si la couleur est impérative ou non car, généralement, l'imprimante couleur est plus lente que la monochrome et les consommables sont plus onéreux.

d) Il faut calculer le coût de ces consommables. Une cartouche d'encre ne coûte pas très cher pour une jet d'encre mais sur le long terme une cartouche de tonner pour une laser est peut être moins onéreuse. À terme cet aspect financier n'est pas négligeable.

e) Il faut connaître la capacité mémoire de l'imprimante et éventuellement le coût de son extension dans la mesure ou elle est possible.

f) Il faut déterminer si l'imprimante dont vous avez besoin doit être « réseau » ou non.

g) Enfin il faut prendre en considération les aspects « coût d'achat », fiabilité, service de la marque, …

L'écran est le dispositif d'affichage par excellence. Il peut être incorporé à l'ordinateur (ordinateur portable, *notebook*, …) ou extérieur à celui-ci (console, moniteur, …). C'est pour l'utilisateur une pièce maîtresse et la seule dont il puisse apprécier la qualité sans être spécialiste. Il est donc important d'y porter une attention particulière.

20.1 LES ECRANS CLASSIQUES

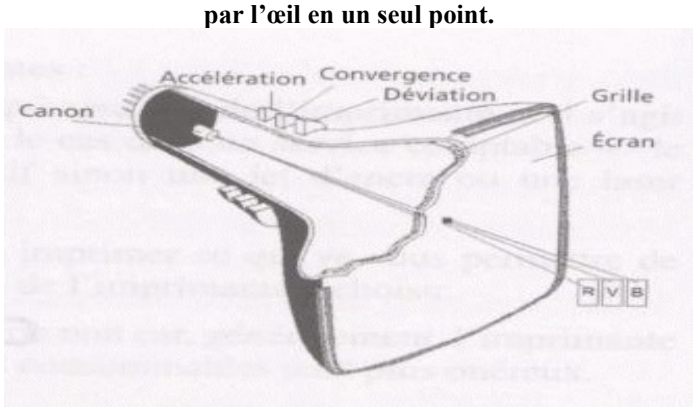
20.1.1 Généralités

a) Les écrans monochromes

L'écran classique, ou moniteur vidéo, est constitué d'un Tube à Rayons Cathodique – TRC ou CRT (*Cathodic Ray Tube*), dans lequel on a réalisé le vide. La face avant est recouverte, d'une couche de matière phosphorescente (blanc, vert, ambre, …). Un faisceau d'électrons, émis par chauffage de la cathode, accéléré et orienté par des plaques de déflexion selon les informations issues du système, vient frapper la couche de phosphore. Les électrons se changent alors en photons lumineux visibles par l'œil.

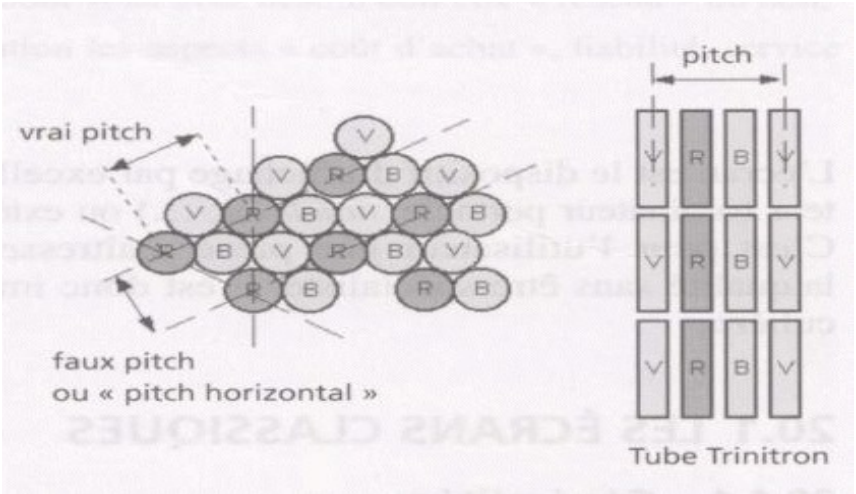
b) Les écrans multichromes

Les moniteurs couleurs utilisent les mêmes principes que les écrans monochromes. La surface de l'écran est composée de pixels (contraction de *picture element*) – plus petit point adressable sur l'écran – qui sont des groupes de trois luminophores de phosphore émettant dans des rayonnements différents (d'ordinaire rouge, vert et bleu, d'où la dénomination RVB). A partir de ces trois couleurs, toutes les autres nuances peuvent être reconstituée, les trois luminophores d'un pixel étant suffisamment petits pour être confondus par l'œil en un seul point.



La définition de l'écran dépend directement du pas de masque (*pitch*) qui indique la distance entre deux luminophores d'une même couleur. Le *pitch* varie entre 0,2 et 0,4 mm, et plus il est petit, meilleur est la définition.

Cette définition est cependant encore loin de celle atteinte sur les imprimantes puisqu'elle ne permet pas de dépasser les 100 dpi². Toutefois, attention aux « faux *pitch* » qui permettent de passer de 0,28 à 0,24 mm par la simple astuce consistant à considérer la hauteur du triangle de pixels plutôt que le côté de ce triangle comme c'est en principe le cas !



Pour orienter le faisceau sur le luminophore de la couleur appropriée on utilise soit un système à 3 canons, soit la technologie Trinitron. Dans le système à 3 canons les électrons émis viennent exciter des pastilles de phosphore de trois couleurs groupées sur l'écran. Un disque jouant le rôle de masque sélectionne le faisceau, suivant la pastille à atteindre. Dans la technologie Trinitron, issue des téléviseurs, le canon est

unique, la déviation du faisceau étant assurée par des bobines de déviation. Cette technologie prédomine à l'heure actuelle.

20.1.2 Caractéristiques des moniteurs

a) Moniteur analogique, TTL, DVI

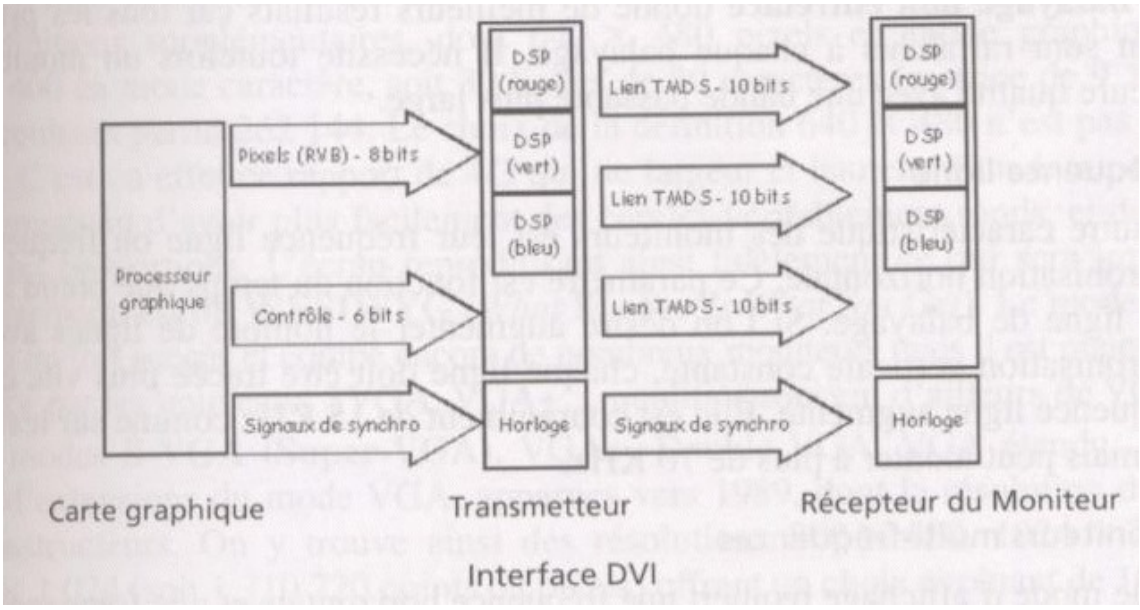
Le signal que l'on transmet à un moniteur peut être analogique ou numérique.

L'**entrée analogique** permet de présenter n'importe quelle valeur entre 0 et 0,7 V, ce qui offre en théorie une infinité de couleurs possibles. Précisons que, dans la pratique, les tensions sont produites par le micro-ordinateur et ne peuvent donc prendre qu'un nombre de valeurs fini, mais permettent de dépasser, cependant, les 260 000 couleurs. Les normes d'affichage postérieure à EGA impliquent une entrée analogique.

La conversion du signal numérique issu de la carte graphique en signal analogique destiné au moniteur est réalisée par un circuit spécialisé dit **Ramdac** (*Ram Digital Analogic Codage*). Plus ce Ramdac est rapide et plus l'image est stable en haute résolution. Cependant, cette conversion peut être affectée par des signaux parasites ce qui altère la qualité des signaux transmis et dégrade la qualité de l'image. Un autre inconvénient de cette méthode tient au fait qu'avec les nouveaux écrans plats numériques il faut reconvertir le signal analogique en signal numérique ce qui le dégrade encore un peu plus.

L'entrée numérique était classiquement une entrée dite **TTL** (*Transistor Transistor Logic*). L'inconvénient de cette entrée résidant dans le nombre limité de couleurs utilisables. Les moniteurs utilisant une telle entrée n'affichent en général que 64 couleurs dont 16 simultanément.

L'entrée DVI (*Digital Visual Interface*) créée, en 1998, sous l'impulsion de Compaq, HP, Intel, … équipe les tous nouveaux moniteurs et définit une nouvelles interface numérique à haute définition entre PC et moniteur. Cette entrée DVI, destinée à remplacer la vielle norme VGA, exploite la technologie TMDS (*Transition Minimized Differential Signaling*) qui repose sur un algorithme de codage destiné à minimiser les transmissions de signaux sur le câble reliant le PC au moniteur ce qui limite les interférences et améliore la qualité de transmission.



Le processeur graphique envoie l'information composée des valeurs de pixels (24 bits) et de données de contrôle (6 bits) au transmetteur TMDS. Les données sont alors codées par les trois processeurs DSP (*Digital Signal Processor*) du transmetteur suivant l'algorithme TMDS. Chaque processeur DSP reçoit ainsi 8 bits correspondant à l'une des trois couleurs RVB et 2 bits de signaux de contrôle (horizontal et vertical). Ce sont donc de petits paquets de 10 bits qui sont émis sur le câble vers le décodeur du moniteur, constituant un lien TMDS.

Chaque lien permet d'utiliser une bande passante de 1,65 GBps soit 165 Méga pixels/s. On peut ainsi gérer de grands écrans plats notamment ceux à la future norme HDTV (*High Definition Television*) ou QXGA (*Quality eXtended Graphic Array*) d'une définition respective de 1 920 * 1 080 pixels et 2 048 * 1 536 pixels. La norme DVI devrait encore être améliorée en y introduisant les protocoles MPEG-2 et une plus grande « profondeur » de couleur au-delà des 24 bits.

b) Fréquence verticale, ligne, multi-fréquences, …

> Fréquence de synchronisation verticale <

Pour former une image, le faisceau doit parcourir l'écran ligne après ligne, en excitant ou non chaque luminophore. L'écran étant balayé plus de 25 fois par seconde, l'œil a l'illusion d'une image stable. La fréquence avec laquelle le faisceau parcourt l'écran est appelée fréquence de synchronisation verticale (synchro. Verticale, *frequency trame*, …). Cette fréquence se situe aux alentours de 50 à 80 Hz. Si le balayage est trop lent, un scintillement désagréable se produit car le pixel « s'éteint » avant que le balayage ne soit repassé l'afficher. Ce balayage peut être entrelacé ou non.

Avec un balayage entrelacé, le faisceau parcourt d'abord l'écran en ne traçant qu'une ligne sur deux (disons les lignes paires). Cette technique permet d'obtenir une bonne résolution avec des moniteurs dont la bande passante est étroite. Les résultats peuvent être satisfaisants à condition que l'écran présente une rémanence (persistance de l'apparition du point lumineux) supérieur à la moyenne. C'est une technique en voie de régression, utilisée sur certains moniteurs d'entrée de gamme.

Le balayage non entrelacé donne de meilleurs résultats car tous les pixels de l'écran sont rafraîchis à chaque balayage. Il nécessite toutefois un moniteur de meilleure qualité avec une bande passante plus large.

> Fréquence ligne <

Une autre caractéristique des moniteurs est leur fréquence ligne ou fréquence de synchronisation horizontale. Ce paramètre est fonction du temps que prend le tracé d'une ligne de balayage. Si l'on désire augmenter le nombre de lignes avec une synchronisation verticale constante, chaque ligne doit être tracée plus vite et donc la fréquence ligne augmente. Elle est couramment de 15 KHz comme sur les téléviseurs mais peut monter à plus de 70 KHz.

> Moniteurs multi-fréquences <

Chaque mode d'affichage requiert une fréquence horizontale et une fréquence verticale qui lui est propre. En principe le moniteur doit donc être adapté à cette fréquence et ne peut en reconnaître une autre, donc ne peut fonctionner dans un autre mode que celui prévu d'origine. Pour pallier cet inconvénient, on a construit des moniteurs acceptant plusieurs fréquences – dits multi-fréquences (*multiscan*, *multisync*…) et permettant de changer de norme d'affichage sans avoir à changer de matériel (si ce n'est, éventuellement, de carte contrôleur).

c) Résolution et bande passante

La résolution maximale d'un moniteur représente le nombre de pixels constituants l'image la mieux définie qu'il puisse afficher. Elle dépend bien entendu du tube, mais aussi des circuits annexes et en particulier de la bande passante du système qui correspond au nombre de points que l'écran peut afficher en une seconde.

Si l'on désire obtenir, par exemple, une résolution de 640 * 350 points en mode non entrelacé, avec une fréquence de synchronisation verticale de 60 Hz, il faut afficher en une seconde 640 * 350 * 60 = 13 440 000 points, soit une bande passante d'un peu moins de 18 MHz (une marge de 20 à 30 % étant souhaitable).
La plupart des moniteurs offrent des bandes passantes comprises entre 50 MHz et 75 MHz, mais on peut dépasser les 150 MHz pour certains moniteurs bien spécifiques.

20.1.3 Les modes d'affichage

Le contrôle du moniteur s'effectue grâce à une carte contrôleur électronique (carte écran, carte vidéo, …). De nombreux « standards » se sont ainsi succédés tels que MDA (*Monochrome Display Adapter*) – carte d'origine de l'IBM PC, CGA (*Color Graphic Adapter*) datant de 1981 premier mode graphique des micro-ordinateurs PC, HGA (*Hercules Graphic Adapter*) datant de 1982, EGA (*Enhanced Graphic Adapter*) proposé par IBM en 1984, PGA (*Professional Graphic Adapter*) et autres MCGA (*MultiColor Graphic Array*). Ils font maintenant partie de l'histoire ancienne.

a) Les modes VGA et Super VGA

En 1987, IBM définit le mode VGA (*Video Graphic Array*) qui émule EGA et offre des définitions supplémentaires, dont 640 * 480 pixels en mode graphique et 720 * 400 en mode caractère, soit 30 lignes de 80 caractères (matrice de 9 * 16), en 16 couleurs parmi 262 144. Le choix de la définition 640 * 480 n'est pas dû au hasard. C'est en effet ce rapport de 4/3 qui lie largeur et hauteur d'un écran classique, permettant d'avoir plus facilement des cercles véritablement ronds, et de conserver les proportions. L'écran reproduisant ainsi fidèlement ce qui sera imprimé ultérieurement, est dit WYSIWYG (*What You See Is What You Get*). Le mode VGA a connu un fort succès et équipe encore de nombreux moniteurs mais il est maintenant remplacé par les nouveaux SVGA, VGA+… qualifiés souvent d'ailleurs de VGA.

Les modes S-VGA (Super-VGA), VGA+, Double VGA, VGA étendu… sont autant d'extensions du mode VGA, apparues vers 1989, dont la résolution dépend des constructeurs. On y trouve ainsi des résolutions 800 * 600, 1 024 * 768 et 1 280 * 1 024 (soit 1 310 720 points ou pixels) offrant un choix évoluant de 16, 256 à plus de 16 millions de couleurs. S-VGA est le mode le plus employé actuellement.

Selon le nombre de couleurs à afficher, la taille nécessaire pour coder chaque pixel est différente. C'est ce que montre le tableau suivant :

RELATION NOMBRE DE COULEURS – OCCUPATION MÉMOIRE DU PIXEL

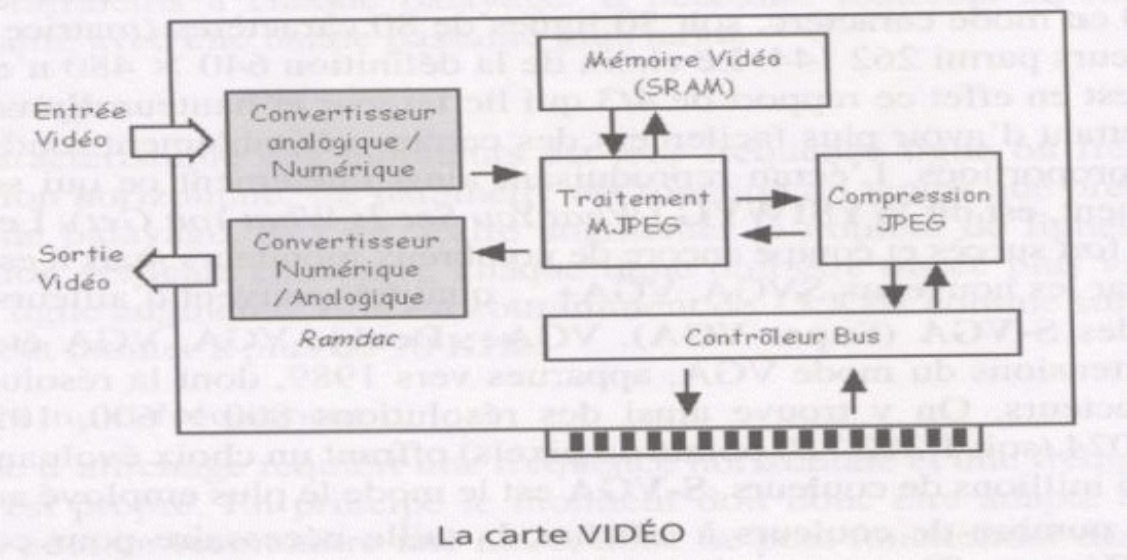
Nombre de couleurs	Nombre de bits
2 (noir et blanc)	1 bit
16	4 bits
256	8 bits
32 768	15 bits
65 536	16 bits
16, 7 millions	24 bits
16,7 millions + 256 niveaux de transparence	32 bits

Bien entendu, compte tenu de la place occupée en mémoire par chaque pixel, cette notion influe directement sur la quantité de mémoire vidéo nécessaire pour pouvoir utiliser telle ou telle résolution avec tel ou tel niveau de couleur. Le tableau suivant vous indique le nombre de couleurs utilisables en fonction de la résolution et de la capacité mémoire.

RAPPORT DU NOMBRE DE COULEUR À LA RÉSOLUTION ET OCCUPATION MÉMOIRE

Résolution	256 Ko	512 Ko	1 Mo	2 Mo	3 Mo	4 Mo
640 × 480	16	256	16,7 M	16,7 M	16,7 M	16,7 M
800 × 600	16	256	65 536	16,7 M	16,7 M	16,7 M
1 024 × 768		16	256	65 536	16,7 M	16,7 M
1 280 × 1 024			16	256	65 536	16,7 M
1 600 × 1 200			16	256	256	65 536

20.1.4 Rôle de la carte vidéo



La carte VIDÉO

C'est à la carte vidéo qu'il appartient de gérer les modes d'affichage, d'aller chercher les informations sur le disque dur et de les convertir en signaux destinés au moniteur. A l'instar de l'unité centrale la carte graphique comporte un processeur spécialisé dans les fonctions d'affichage.

Un certain nombre de fonctions sont précâblées dans la puce graphique : déplacement de blocs, tracé de lignes et de polygones, remplissage des polygones, … Doivent également être mises en œuvre des fonctions d'interpolation qui consistent à calculer des pixels intermédiaires quand on souhaite afficher une vidéo en plein écran. La conversion des signaux par le RAMDAC est assurée par la carte. Bus AGP, accélérateur 3D, mémoire, compression, … sont des caractéristiques à considérer lors du choix d'une carte vidéo.

20.1.5 Le choix d'un moniteur

Bien choisir un moniteur est important. Lors d'un colloque international consacré au travail sur écran, les spécialistes ont estimé qu'un travail régulier devant des écrans inadaptés pouvait être la source de troubles (migraines, problèmes oculaires, …). S'il est admis que les moniteurs ne provoquent pas de pertes d'acuité visuelle définitive, ils révèlent souvent des défauts de vision mal corrigés.

Le premier critère de choix d'un moniteur est sa taille. Celle-ci exprimée par la mesure, en pouces de la diagonale de l'écran. Un moniteur ne saurait être trop grand et ce n'est pas par hasard si certaines stations de travail utilisent des écrans au format A3. Un écran trop petit fatigue inutilement l'utilisateur. Toutefois, plus un écran est grand et plus ses défauts sont visibles. La bonne taille pour un moniteur de qualité moyenne est de 15 ou 17 pouces. Les moniteurs 19 à 21 pouces étant utilisés en PAO, DAO, …

Avec une même résolution (par exemple 1 280 * 1 024), plus l'écran est petit et plus le point affiché est petit. Comme Windows utilise une matrice de 32 * 32 points pour afficher une icône, par exemple, à taille égale, plus la définition augmente et plus Windows s'affiche petit.

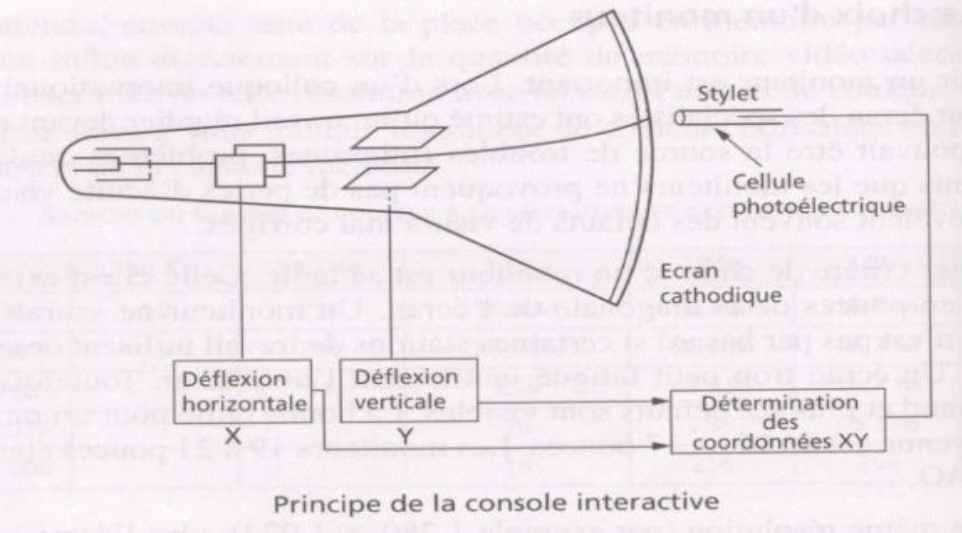
La couleur est actuellement indispensable. Les écrans monochromes de taille classique (12 à 14 pouces) posent le problème de la couleur du fond (vert, ambre, blanc). L'écriture noire sur fond blanc est, selon les spécialistes, plus lisible et plus reposante, mais il faut que l'écran soit de bonne qualité, car le scintillement y est plus sensible. Ils ne se trouvent plus guère que sur d'anciennes consoles ou terminaux.

20.1.6 La console interactive

La console interactive permet la saisie d'informations à l'écran, généralement grâce à un stylet (crayon optique). Quand la cellule photoélectrique du crayon optique est positionnée sur l'écran, le faisceau lumineux balayant l'écran l'atteint à une position X,Y donnée. La cellule est excitée et déclenche la prise en compte des valeurs apparaissant à ce moment-là sur les plaques de déviation verticales et horizontales. La connaissance de ces informations permet donc de savoir avec précision où se trouve le stylet. Du fait du bombé de l'écran des erreurs apparaissent parfois en bordure d'écran.

L'*écran tactile* est un autre système qui permet de prendre en compte des informations à l'aide de l'écran. L'utilisateur n'a plus qu'à pointer la commande désirée, avec un stylet ou avec son doigt, sur l'écran, la position du stylet pouvant être repérée par un ensemble de cellules photoélectriques formant un quadrillage devant l'écran.

Les écrans actifs à reconnaissance de pression par jauges de contraintes mesurent la pression exercée et un algorithme détermine l'emplacement de cette pression.



Principe de la console interactive

20.2 LES ECRANS PLATS

Contrairement au TRC, l'écran matriciel ou DFP (*Digital Flat Panel*) est plat ce qui en fait le dispositif de visualisation privilégié des ordinateurs portables, *notebooks*, … Les technologies actuelles sont basées sur l'emploi des cristaux liquides – LCD (*Liquid Crystal Display*) – ou de plasma qui pourraient retrouver un regain d'intérêt compte tenu des surfaces d'affichage qu'ils permettent d'atteindre.

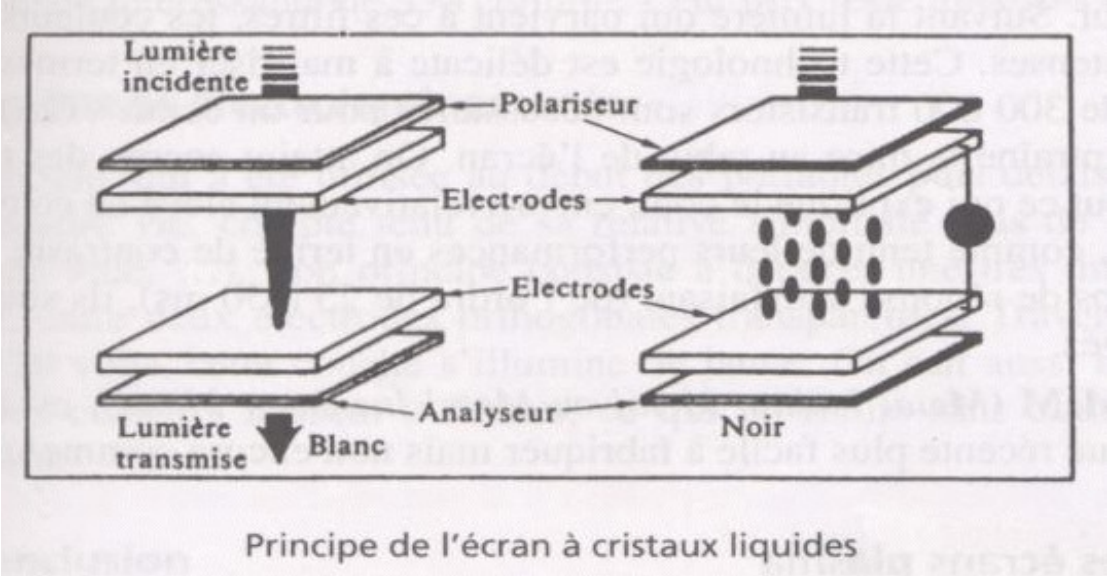
20.2.1 Les écrans à cristaux liquides

Les écrans à cristaux liquides peuvent être de type passifs, ou à matrice passive, ou de type actif à matrice active.

a) Ecrans passifs

Les écrans passifs ont besoin d'une lumière extérieure pour être vus, au contraire des TRC qui sont actifs, c'est-à-dire dispensateurs de lumière. Mécaniquement les cristaux se comportent comme des liquides, mais leur configuration moléculaire leur confère des propriétés optiques. On distingue deux types de cristaux liquides. Les nématiques qui sont les plus employés, et les cholestériques –apparemment délaissés – où les cristaux changent de couleur en fonction de la température ou sous l'influence d'un champ électrique ou magnétique.

Les écrans LCD nématiques sont composés d'une couche de cristaux liquides prise en sandwich entre deux plaques de verre polarisées. Les molécules des cristaux sont, à l'état de repos, « enroulées » (*twist*) de manière hélicoïdale et laissent passer la lumière qui, soit se réfléchit sur un miroir placé derrière l'écran (technique ancienne), soit est émise par une source placée derrière (rétro-éclairés ou *backlighting*) ou sur le côté (*side lighing*) de l'écran, on ne « voit donc rien ». Quand on vient exciter ces cristaux en leur appliquant un champ électrique, ils se déforment et font obstacle au passage de la lumière, le pixel apparaît donc à l'écran. Ces écrans passifs n'offrent un angle de vision que de 15 à 60 degrés. Il faut donc être en face de l'écran pour le lire.



Principe de l'écran à cristaux liquides

Selon les angles d'enroulement des molécules de ces cristaux on peut distinguer diverses qualités d'écrans :

- Les TN (*Twisted Nematic*), connus depuis 1960 (malgré un temps de réaction de l'ordre de 50 ms ; < 20 ms sur un TRC), ainsi que les STN (*Super Twisted Nematic* ou *Single Twisted Nematic*) qui datent de 1984, présentent des défauts au niveau des temps de réponse, source de « traînées » rémanentes lors de déplacement d'images, disparition du curseur lors de déplacements rapides…

- Les DSTN (*Double Super Twisted Nematic* ou *Dual Scan Twisted Nemactic*), sont dorénavant capables d'afficher en couleur au travers de filtres polarisants ce qui permet d'utiliser le mode SVGA. Mais ils ont un temps de réponde assez lent de l'ordre de 150 à 300 ms. Leur contraste (30 :1) n'est, toutefois, pas extraordinaire.

- Les STN, un moment abandonnés, semblent retrouver un regain de jeunesse avec les technologies HCA (*High Contrast Adressing*), FastScan HPD (*Hybrid Passive Display*) ou HPA (*High Performance Adressing*), mises au point par Sharp, Toshiba ou Hitachi. Ces techniques consistent à accélérer la vitesse de rotation des cristaux grâce à un liquide moins visqueux et une intensité de courant augmentée par le rapprochement des plaques de verre. Le contraste passe de 30 :0 pour un STN ordinaire à 40 :0. Le temps de réponse, actuellement de l'ordre de 150 ms, devrait descendre à 100 ms, réduisant notablement les problèmes de rémanence.

La technologie à matrice passive est peu coûteuse, car assez simple à fabriquer, mais elle est très nettement concurrencée par les technologies dites à matrices actives.

b) Ecrans actifs

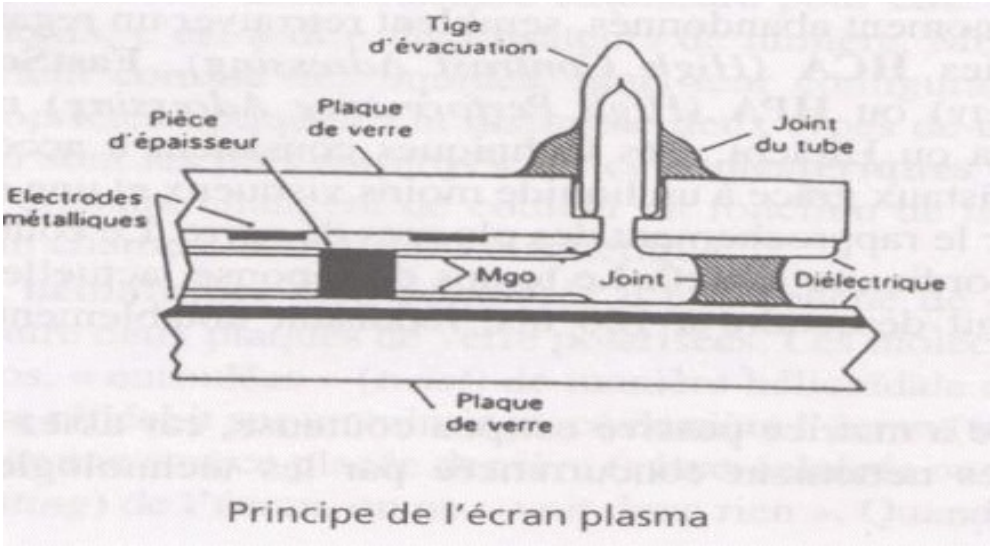
Dans les LCD à matrices actives chaque pixel de l'écran est commandé par un transistor transparent TFT (*Thin Film Transistor*). Ce transistor permet de « piloter » l'orientation des cristaux liquides, laissant ou ne laissant pas passer la lumière. En superposant un filtre à quatre couleurs à ce dispositif, on obtient un écran couleur. Suivant la lumière qui parvient à ces filtres, les couleurs seront plus ou moins intenses. Cette technologie est délicate à maîtriser en termes de fabrication (plus de 300 000 transistors sont nécessaires pour un écran VGA) et le moindre défaut entraîne la mise au rebut de l'écran. On atteint encore des taux de 50 à 60 % de rebut ce qui explique le coût, encore relativement élevé de ce type d'écran. Malgré tout, compte tenu de leurs performances en terme de contraste (150-200 :1) et d'un temps de réponse satisfaisant (de l'ordre de 25 à 50 ms), ils sont de plus en plus employés.

L'écran MIM (*Metal Isolant Metal* ou *Metal Insulator Metal*), est une variante technologique récente plus facile à fabriquer mais non encore commercialisée.

20.2.2 Les écrans plasma

Les écrans plasma offrent des performances qui se rapprochent de celle des moniteurs classiques, leur contraste est meilleur que celui offert par les LCD et leur angle de lisibilité (160°) est important. Les temps de réponse sont de l'ordre de 20 à 60 ms.

Techniquement ils sont constitués de 3 couches de verre soudées hermétiquement sur le pourtour. La feuille du milieu est percée de trous remplis d'un mélange de gaz (néon-argon-xénon). La tension appliquée aux électrodes ionise le gaz qui devient alors plasma, c'est-à-dire un mélange d'ions et d'électrons, engendrant des rayons ultraviolets qui, en frappant des luminophores RVB, permettent d'afficher la couleur. Ces écrans présentent quelques inconvénients d'usure rapide des cathodes par les ions du plasma et on recherche une autre technique dans les plasmas alternatifs où les électrodes séparées du gaz agissent par effet capacitif et sont moins érodées.



Principe de l'écran plasma

L'image n'a pas besoin d'être renouvelée, contrairement à celle produite par un TRC qui, elle, doit être rafraîchie constamment. La résolution varie selon les panneaux et peut atteindre 1 024 * 1 024 pixels avec une palette de 16,7 millions de couleurs. De plus, ces écrans permettent une lecture quelle que soit la position de l'utilisateur en face du panneau avec un contraste important qui peut atteindre 550 :1 et une luminosité intéressante de 350 cd/mm². Leur prix reste toutefois élevé.

20.2.3 Les écrans électroluminescents

Cette technologie, qui a été au début des portables puis délaissée, semble pouvoir reprendre vie, compte tenu de sa relative simplicité (pas de liquide, pas de gaz, pas de vide, …). Son principe consiste à déposer une très mince couche d'un sulfure, entre deux électrodes orthogonales transparentes. Traversée par une tension de 120 volts, cette couche s'illumine de jaune. On sait aussi faire du vert mais certaines couleurs laissent à désirer, ce qui en freine sans doute encore le développement.

20.2.4 Conclusion

En présence d'un aussi grand nombre d'éléments, il est difficile de se former une opinion pour prédire quelle technologie dominera dans les années à venir. Ainsi, la récente technologie dite « à micropointes » va-t-elle émerger ? Toutefois, il est assuré que les écrans TFT ou plasma, s'ils sont incontournables sur les portables, sont encore loin de menacer le marché des moniteurs classiques.

On commence, cependant, à atteindre une qualité et des dimensions courantes proches de celles des moniteurs traditionnels (15 pouces, 17 pouces…) et leur faible épaisseur encouragerait leur utilisation. Seul leur prix reste encore un frein à leur usage courant.

EXERCICES

20.1 Quelle est la place mémoire occupée par l'image d'un écran :

a) avec une résolution de 640 × 480 et un codage en 256 couleurs ?

b) en résolution 800 × 600 et avec un codage de 16,7 millions de couleurs ?

20.2 Quelle caractéristiques repérez vous et quelles questions complémentaires pouvez vous vous poser en ce qui concerne ces deux écrans proposés dans la même revue et commercialisés par deux sociétés différentes :

– SONY 17'' Trinitron 200 SF P 0,25 à 4 650 F TTC

– SONY 17 « 200 SF Trinitron Multifréquence » 1 280 × 1 024 75 Hz à 4 933 F TTC

SOLUTIONS

20.1 *a)* Avec un codage en 256 couleurs, chaque pixel de l'écran doit occuper 8 bits ($256 = 2^8$). En 640 × 480 on devra donc avoir 640 × 480 × 8 = 2 457 600 bits soit 300 Ko.

b) Avec un codage en 16,7 millions de couleurs, chaque pixel de l'écran doit occuper 24 bits (16,7 millions = 2^{24}). En 800 × 600 on devra donc avoir 800 × 600 × 24 = 11 520 000 bits soit 1 406,25 Ko soit 1,373 Mo.

20.2 Les caractéristiques repérées sont :

a) On constate qu'il s'agit d'un écran de 17'' ce qui représente la diagonale d'écran. Attention aux diagonales « douteuses » qui englobent le bord en plastique de l'écran…

b) 200 SF est probablement la référence SONY de cet écran.

c) Il s'agit d'une technologie Trinitron avec un seul canon. Bonne technologie couramment utilisée sur le marché actuellement.

d) Multifréquence est un point positif car il permet d'envisager le changement, sans problème, du mode d'affichage.

e) P 0,25 il s'agit ici du « pas de masque » ou *pitch*. Une définition de 0,25 est actuellement très bonne ce qui explique sans doute le prix de l'écran. Attention aux « faux pitch ».

f) 1 280 × 1 024 est la résolution maximale que peut atteindre cet écran. C'est tout à fait correct pour un usage normal bureautique ou jeux.

g) 75 Hz est la fréquence traduisant la bande passante du moniteur. 75 Hz est la « référence » actuelle.

h) Enfin, on constate une différence de prix de 283 F TTC entre ces deux moniteurs — qui sont pourtant les mêmes (référence 200 SF) — soit environ 5 %. Comparez les prix avant d'acheter !

Chapitre 21

Périphériques de saisie

On appelle périphérique, l'ensemble des unités connectées à l'unité centrale de l'ordinateur (« tout ce qui n'appartient ni à l'unité centrale de traitement ni aux mémoires centrales »). On distingue en général deux types de périphériques, ceux qui permettent l'introduction de données, périphériques d'entrée et ceux qui assurent la restitution de données, périphériques de sortie, certains périphériques cumulant ces deux fonctions.

21.1 LES CLAVIERS

Le clavier classique est celui que l'on rencontre sur les ordinateurs actuels. Il est similaire à celui d'une machine à écrire mais comporte plus de touches.

21.1.1 Constitution d'un clavier

Le clavier d'un ordinateur doit en effet offrir plus de fonctions que celui d'une simple machine à écrire (touches Espace, Alt, Ctrl, …). Parmi ces touches, généralement groupées par blocs (ou pavés), on distinguera les touches alpha-numériques, les touches numériques, les touches symboliques et les touches de fonction. La disposition des touches, leur couleur, leur nombre dépend du constructeur. Toutefois il existe deux dispositions reconnues que l'on considère comme standards de fait.

Le premier type de clavier, est dit PC XT (ou 84 touches) car la disposition des touches avait été adoptée par IBM sur son micro-ordinateur IBM-PC.

Il a disparu au profit du PC AT ou 102 touches. Ce second type PC AT, couramment utilisé, reprend la disposition des touches adoptée par IBM sur l'ancien PC IBM-AT. Il se distingue aisément du premier par la présence d'un pavé de flèches de directions, séparé du pavé numérique. Le clavier « francisé » est dit AZERTY, car les premières lettres du clavier respectent cet ordre. Il est « américanisé » - QWERTY -, si les touches apparaissent dans cet ordre au début du pavé alphanumérique.

Le clavier

Certains claviers sont plus ou moins spécialisés en fonction de leur destination. C'est le cas du clavier traitement de texte dont certaines touches sont conçues dès l'origine pour faire du traitement de texte (touche permettant de passer en mode page, ligne ou caractère, …). Ces claviers, généralement de bonne qualité, car soumis à une frappe intensive, rapide, … font l'objet d'études ergonomiques poussées et sont souvent, de ce fait, plus agréables à utiliser (touches incurvées, couleur, toucher, …). De même, on rencontrera des claviers industriels sont la variété n'a d'égale que le nombre des applications possibles (robotique, conduite de processus…)

21.1.2 Les différents types de clavier

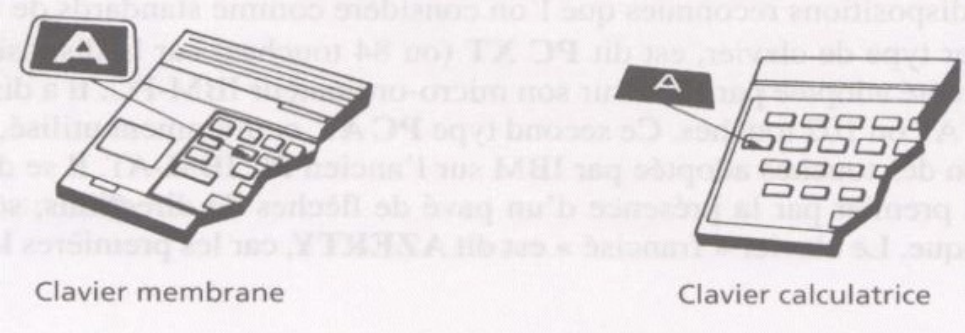
Les touches des claviers sont réalisées selon diverses techniques dépendant tant de l'usage que l'on en a, que du coût final prévu.

a) Type membrane

Les touches sont sérigraphiées sur un film plastique recouvrant hermétiquement des batteries de microcontacts. Ils sont moins chers et plus résistants (étanchéité) mais ils sont souvent pénibles à utiliser (mauvais contacts, répétition du caractère, rupture de la membrane…), hors d'application particulières.

b) Type calculatrice

Les touches sont en plastique dur et montées sur des ressorts. Ce type de clavier présente de nombreux inconvénients, sensibilité aux manipulations brutales, pas d'ergonomie, jeu dans les touches, contacts pas francs.

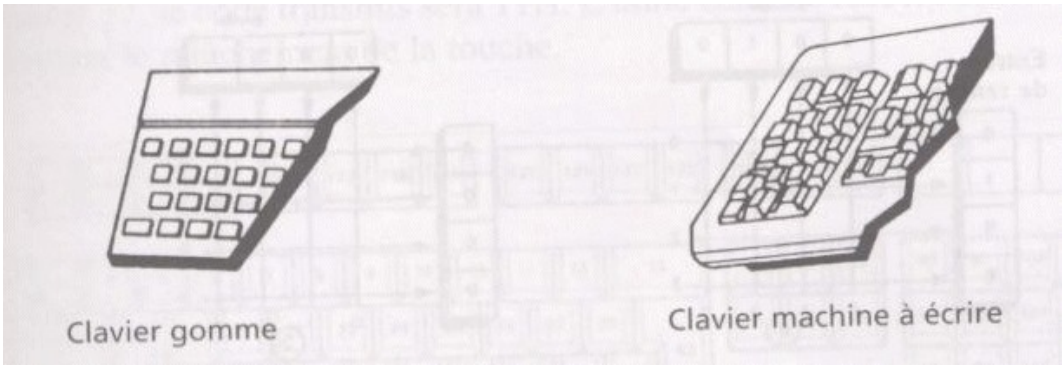


c) Type gomme

Les touches sont faites d'une matière dont le toucher rappelle celui de la gomme. Une frappe rapide et professionnelle n'est pas envisageable. De tels claviers sont donc réservés aux ordinateurs familiaux.

d) Type machine à écrire

Les touches sont celles d'une machine à écrire, avec une ergonomie prévue pour un travail intensif. La dureté des touches, leur prise aux doits et leur sensibilité varient d'un modèle à l'autre.



e) Les claviers à cristaux liquides

Ces claviers, bien qu'ils ne soient pas très répandus, permettent d'attribuer à chaque touche une fonction ou un caractère particulier (éventuellement avec plusieurs valeurs selon le mode Alt, Shift, Ctrl ou Normal). Chaque touche peut supporter un pictogramme de 20 * 8 pixels ce qui permet l'utilisation du clavier avec des alphabets différents.

21.1.3 Fonctionnement du clavier

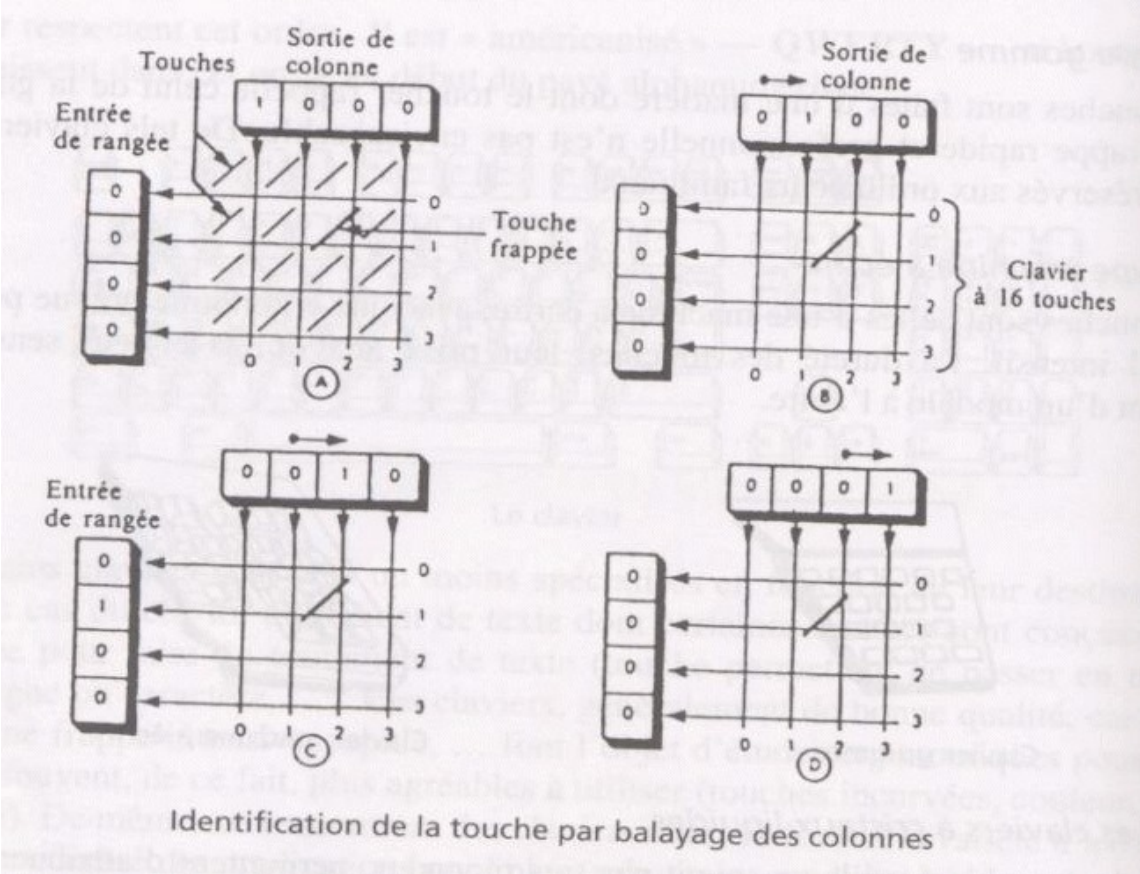
Le clavier est composé d'une série « d'interrupteurs » : chaque fois qu'une touche est actionnée, le mouvement ferme l'interrupteur. Ces interrupteurs sont placés en matrice, dont chaque rangée et chaque colonne est reliée à l'ordinateur par des lignes électriques.

Cette matrice est balayée en permanence pour vérifier si une touche a été actionnée. Ceci est généralement fait en émettant un signal dans chaque colonne et en vérifiant si ce signal revient par l'une des rangées. Dans ce cas, l'ordinateur identifie la touche actionnée en repérant le point où le signal a été dévié.

a) Technologie des contacts

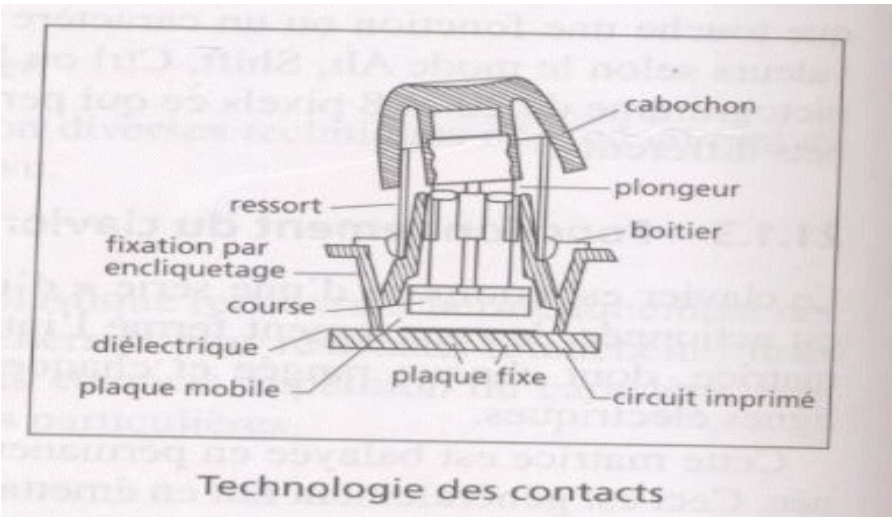
Les deux technologies de contacts les plus couramment employées sont les technologies résistives et capacitives.

Dans la technologie résistive, la touche est composée d'un simple interrupteur. Le contact est établi par deux barrettes croisées (*cross point*) en alliage d'or ou par le biais d'une membrane sérigraphiée qui vient s'appliquer sur le circuit imprimé constituant le support du clavier. Ces deux procédés sont aussi performants l'un que l'autre, mais le contact par membrane est meilleur marché.



Identification de la touche par balayage des colonnes

La technologie capacitive consiste à mesurer la variation de capacité d'un condensateur constitué de deux armatures, l'une solidaire de la partie mobile de la touche, l'autre de la partie fixe. L'enfoncement de la touche, rapproche les armatures et entraîne une variation de la capacité du condensateur. Cette technologie demande une électronique plus lourde que la précédente, puisqu'il faut transformer la variation de capacité en signal électrique, elle est par ailleurs plus sensible aux parasites.



Technologie des contacts

b) Le problème de la suppression du rebond

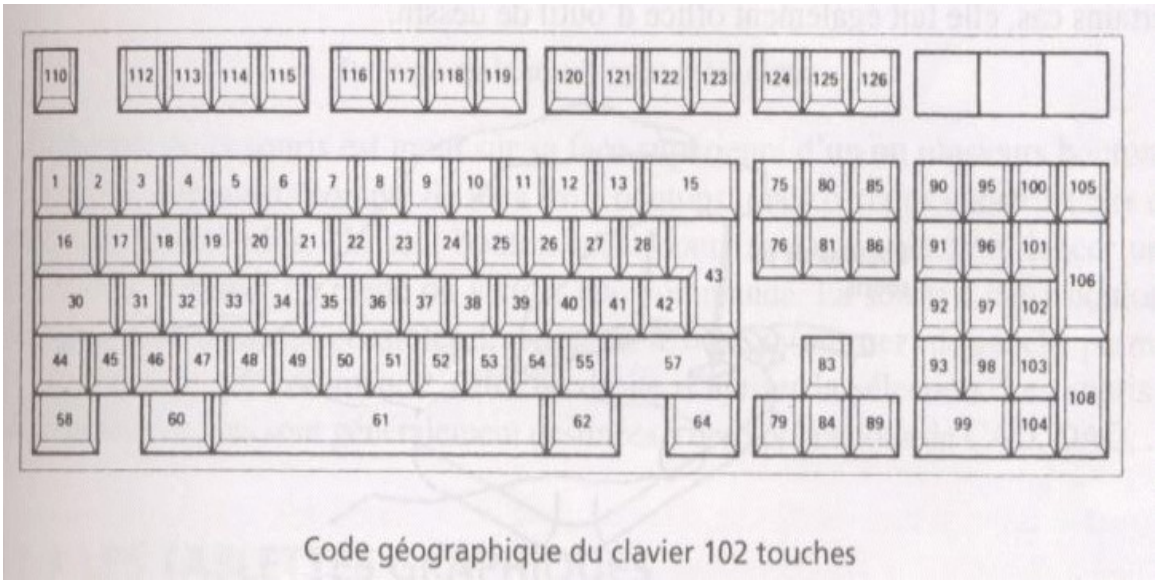
Dans tout contact faisant intervenir deux organes électromécaniques, le contact réel ne s'établit qu'après une période d'oscillation de 10 à 20 ms entre l'instant où on appuie sur la touche et le moment où le contact devient complètement établit. Le même phénomène apparaît lorsque la touche est relâchée. Une solution matérielle simple à ce problème consiste à utiliser un filtre résistance-condensateur, elle est utilisée lorsque le nombre de touches est faible. Une solution logicielle peut également être apportée à ce problème, en vérifiant que le contact a bien fermé au bout de quelques milli-secondes (de 5 à 20 ms, suivant la qualité du clavier utilisé).

c) Le code de transmission

Une fois la conversion mécanique/électrique réalisée, il faut coder le signal pour que l'action puisse être interprétée par l'unité centrale. On utilise la plupart du temps l'encodage géographique instauré par IBM sur son PC. Cette méthode consiste à transmettre à l'unité centrale un code hexadécimal, lié à

l'emplacement géographique de la touche enfoncée et non à son identité, puis le même code incrémenté de 80H est transmis pour indiquer le relâchement de la touche.

Par exemple, si l'utilisateur enfonce la touche correspondant au A du clavier AZERTY ou au Q du clavier QWERTY, touche qui porte le numéro d'emplacement géographique 17, le code transmis sera 11H. l'unité centrale recevra ensuite le code 91H, indiquant le relâchement de la touche.



Code géographique du clavier 102 touches

Lors de la mise en route du système, l'initialisation le renseigne sur le type de clavier (français, américain ou autre, rôle de la commande KEYB FR ou KEYB US… de DOS), l'unité centrale peut alors identifier correctement la touche enfoncée. L'intérêt de l'encodage géographique, par rapport à un codage direct est que l'on peut définir à sa guise l'affectation des touches du clavier du système.

21.1.4 Les qualités d'un clavier

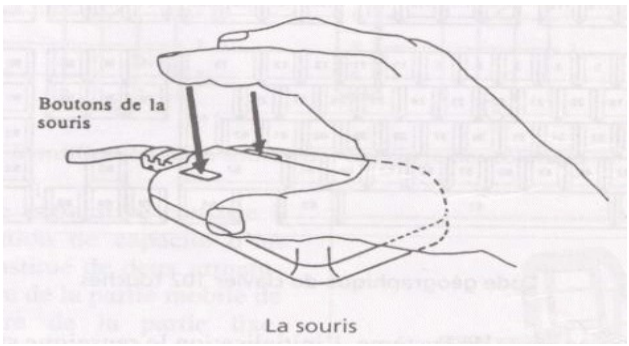
La qualité d'un clavier porte tant sur sa solidité que sur le nombre et la disposition de ces touches, la disposition des lettres répondant aux habitudes du pays. Il existe des normes (plus ou moins suivies), concernant la couleur des touches, l'inclinaison du clavier, le coefficient de réflexion de la lumière à la surface de la touche (ce qui explique que la surface des touches soit parfois légèrement rugueuse). Le plan de la surface de chaque touche peut également avoir diverses inclinaisons par rapport à la base du socle suivant l'orientation du plongeur qui peut être droit ou incliné.

Le clavier est soumis à de nombreuses pressions mécaniques, il s'agit donc d'un périphériques fragiles à n a pas martyriser, même s'il s'agit d'un périphérique de saisie au coût relativement abordable.

21.2 LES SOURIS

La première souris date des années 1970. D'une grande facilité d'utilisation c'est l'outil interactif le plus utilisé après le clavier. Elle offre, en effet, certains avantages par rapport à ce dernier. Il est, par exemple, plus naturel d'associer le déplacement d'une souris à celui du curseur (généralement présenté comme une petite flèche), que de faire appel à la combinaison des touches de directions du clavier. Dans le premier cas, ce sont les automatismes de l'utilisateur qui sont sollicités, et il ne réclament aucun délai d'exécution, alors que de diriger le curseur par l'action combinée des touches nécessite un certain laps de temps.

La souris ne sert toutefois pas uniquement à diriger le curseur mais permet aussi de « dérouler » les menus et d'y sélectionner (on dit cliquer) des commandes. Dans certains cas, elle fait également office d'outil de dessin.



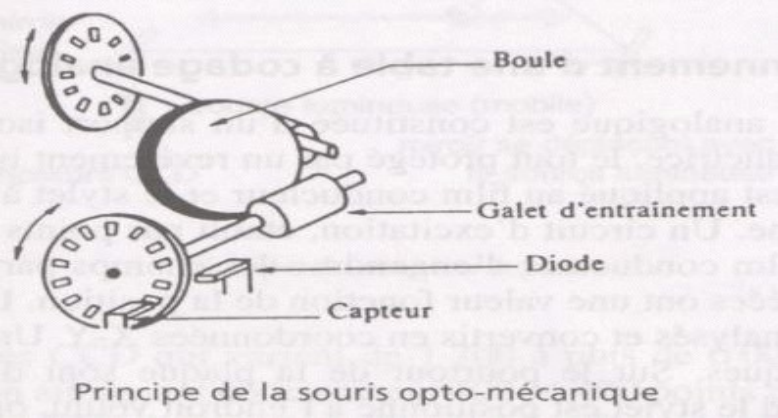
La souris

21.2.1 Technologie de la souris

La souris est constituée d'un boîtier sous lequel se trouve une sphère métallique recouverte de caoutchouc. Le déplacement du boîtier sur un plan fait tourner la sphère, entraînant par friction la rotation de galets disposés à l'extrémité d'axes orthogonaux, supportant deux disques codeurs. Dans le cas d'une souris mécanique, le codage est réalisé par l'intermédiaire de contacteurs qui détectent le sens de la rotation et les déplacements des points de contact disposés régulièrement à la périphérie du disque. A chaque signal détecté, une impulsion est envoyée à la carte contrôleur de l'ordinateur qui traduit alors à l'écran les informations reçues. Dans une souris opto-mécanique on utilise des capteurs photoélectriques et des diodes LED (*Light Emmetting Diode*) à la place des contacteurs. Le disque étant percé de trous à intervalles réguliers, le faisceau de la LED est interrompu par la rotation du disque et la cellule détecte ces changements qu'elle transmet à la carte électronique.

Signalons qu'il existe des souris optiques qui nécessitent pour fonctionner une tablette spéciale, revêtue d'une surface brillante et quadrillée par lignes qui absorbent la lumière. Le faisceau lumineux émis par la souris est alors réfléchi ou non selon qu'il rencontre les lignes ou la surface réfléchissante.

Une variante de la souris est le *TrackBall* où la souris est « le ventre en l'air » et où la sphère est actionnée a la main. Les principes de fonctionnement étant inchangés.



Principe de la souris opto-mécanique

Le boîtier de la souris est muni sur sa face supérieure d'un ou plusieurs boutons. En général, une souris compte de un à trois boutons, mais certains constructeurs en proposent parfois plus. Un seul bouton suffit pour faire une sélection, lancer une application, dérouler un menu ou valider une commande. La souris à deux boutons offre trois combinaisons possibles, l'action sur le bouton (cliquer) de gauche permet de sélectionner une commande, celui de droite d'ajuster la sélection. Les souris à trois boutons et plus sont généralement destinées à des applications de CAO, DAO, …

21.3 LES TABLETTES GRAPHIQUES

Les tablettes graphiques, (tables à numériser ou à digitaliser) permettent ce créer un environnement proche de celui de la table à dessin. Elles constituent une alternative intéressante à la souris et à tout autre outil interactif dès lors que des informations graphiques doivent être converties en coordonnées absolues (X,Y) exploitables par l'ordinateur. Il existe deux types de codage des coordonnées : le codage numérique, où chaque position du crayon est repérée par une suite de signaux numériques et le codage analogique nécessitant une conversion des informations recueillies.

21.3.1 Fonctionnement d'une table à codage numérique

La table à digitaliser se présente sous la forme d'une surface plane (table à dessin) sur laquelle on vient apposer une feuille de papier. A l'intérieur du plan de travail, se trouve un réseau de conducteurs (1 024 ou plus) maillés de façon orthogonale. Chaque réseau est couplé à un registre à *n* bits. Le circuit ainsi réalisé est semblable à un condensateur dont l'une des plaques serait constituée par la table et l'autre par le stylet. A intervalle régulier chaque réseau de conducteurs reçoit une série d'impulsions permettant d'identifier le rang de chacun de ces conducteurs. La position du stylet est alors obtenue par la lecture du contenu des registres associés aux coordonnées X et Y, au moment où le stylet produit un effet capacitif. La résolution obtenue peut atteindre
0,025 mm et la fréquence de saisie dépasser 200 coordonnées par seconde.

21.3.2 Fonctionnement d'une tabla à codage analogique

La table à codage analogique est constituée d'un support isolant recouvert d'une mince couche conductrice, le tout protégé par un revêtement isolant (verre, …). Un champ électrique est appliqué au film conducteur et le stylet à haute impédance est couplé à une bobine. Un circuit d'excitation, établi par points sur le pourtour de la table, permet au film conducteur d'engendrer des champs parallèles à chaque axe. Les lignes ainsi crées ont une valeur fonction de la position. Les signaux recueillis par le stylet sont

analysés et convertis en coordonnées X-Y. une variante utilise des propriétés acoustiques. Sur le pourtour de la plaque sont disposés des capteurs acoustiques. Quand le stylet est positionné à l'endroit voulu, on actionne un contact et il émet alors des ultrasons qui sont captés par les « radars » acoustiques, déterminant ainsi sa position.

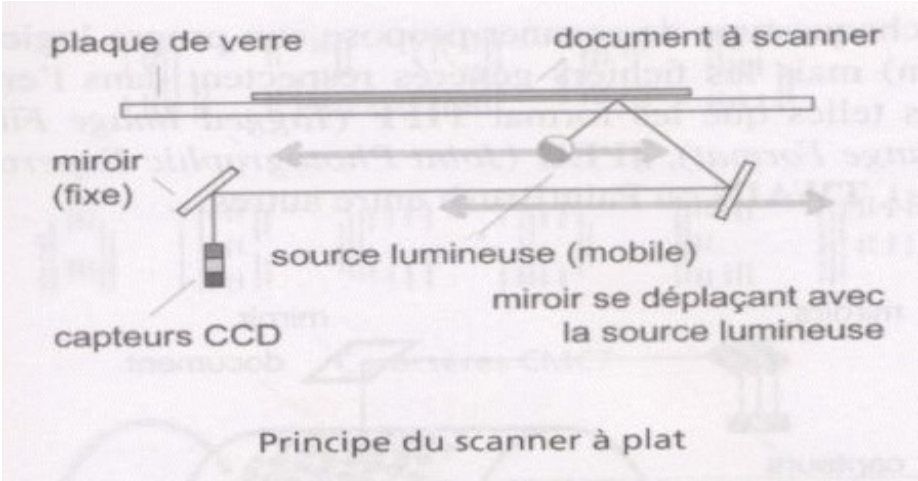
21.3.3 Critères de choix

La tablette et son pointeur constituent le facteur de choix d'un matériel de ce type. Le pointeur peut être un stylet ou un curseur à boutons éventuellement muni d'une loupe. Le stylet sert à dessiner et à sélectionner une commande dans un menu. Il peut être muni d'une cartouche d'encre, pour en visualiser le tracé. Le curseur à boutons est quant à lui, beaucoup plus précis que le stylet. Le positionnement, d'une grande finesse, peut encore être augmenté grâce à une loupe intégrée au curseur. Les dessinateurs et graphistes, travaillant dans un environnement de CAO, privilégient le curseur dont le maniement s'apparente davantage à celui d'une souris, la précision en plus.

21.4 LES SCANNERS

Le scanner est un périphérique qui permet de capturer (scanner, scanneriser, numériser, …) une image, et de convertir son contenu en un fichier de données – images bitmap ou « *raster* ». le fonctionnement en est relativement simple.

Le scanner comprend une source de lumière blanche et forte (néon, …) qui illumine le document. Plus la zone du document éclairé est sombre (nuance de gris ou couleur) et moins elle réfléchit la lumière. Par le biais d'un jeu de miroirs et d'une lentille focalisatrice, une barrette de cellules photosensibles CCD (*Charge Coupled Device*) recueille la luminosité réfléchie par le document. Chaque point du document est ainsi analysé et détermine un niveau de luminosité réfléchie, selon la lumière recueillie par la cellule. La source lumineuse est généralement mobile et la barrette de capteurs l'est parfois également. L'illumination du document n'est activée, afin de limiter l'usure des capteurs, qu'au niveau des zones choisies lors d'une prénumérisation.



Principe du scanner à plat

Grâce aux barrettes CCD qui varient de 1 700 à plus de 6 000 cellules, on peut obtenir une résolution atteignant couramment 400 * 400 points par pouce carré (*dot per inch* – dpi²) avec 256 niveaux de gris possibles. Dans le cas de vrais niveaux de gris, chaque point est codé sur plusieurs bits selon la luminosité, ce qui occupe environ 1 Mo de mémoire par page. Avec des capteurs à faux niveaux de gris, chaque point n'est converti qu'en blanc ou noir et c'est le tramé de points contigus qui simule un niveau de gris (comme sur une photo de journal, et comme sur les imprimantes laser d'ailleurs) la résolution est donc moins bonne mais le prix est moins élevé bien sûr. Les scanners monochromes ne sont quasiment plus commercialisés.

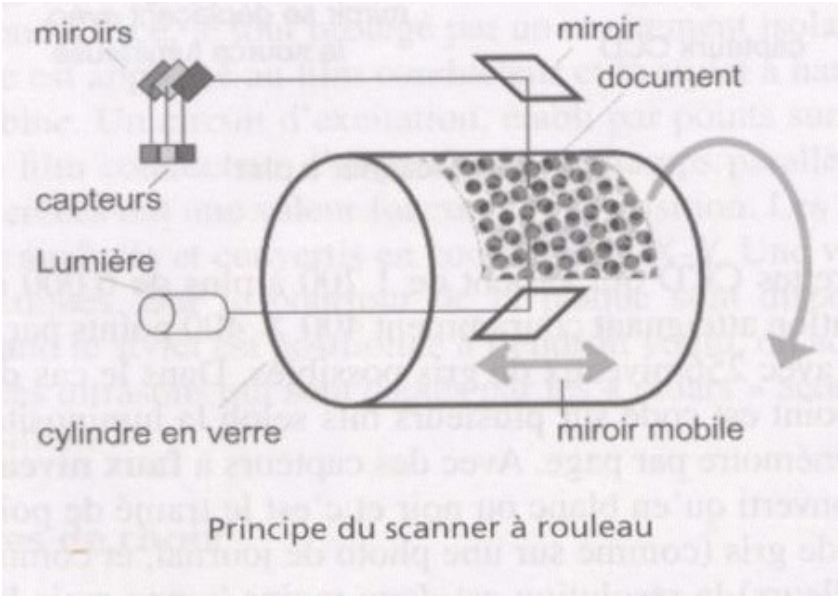
21.4.1 Scanner couleur

Les scanners noir et blancs sont actuellement abandonnés au profit des scanners couleurs. Il existe deux principaux systèmes de numérisation couleur. Dans le premier, trois lampes de couleur (rouge, verte et bleue) illuminent à tour de rôle une ligne du document, chaque faisceau étant successivement capté par les cellules CCD. Dans le second, plus souvent employé, une seule lampe éclaire trois fois de suite la même ligne, le faisceau lumineux passe ensuite dans un filtre RVB avant d'être reçu par les cellules CCD. Ce système présentait l'inconvénient de nécessiter trois passages, entraînant un risque de décalage entre les passages. Dorénavant cette opération est réalisée en un seul passage (scanner une passe) au moyen de trois barrettes comportant plus de
6 000 capteurs recevant le même faisceau lumineux au travers des filtres appropriés RVB.

Chaque point de couleur est ainsi échantillonné sur une plage allant de 8 à 20 bits, 24 bits (scanner « *true color* ») ou 30 bits (40 bits pour certains scanners haut de gamme) qui détermine le « profondeur de couleur ». Avec une numérisation couleur sur 8 bits, on peut obtenir 2^8 nuances soit 256 nuances sur

65 000 couleurs de base soit plus de 16,7 millions de teintes. On arrive actuellement, avec certains scanners couleur à atteindre
16 000 niveaux de gris, 256 milliards de couleurs et une résolution de 2 400 * 1 200 ppp (9 600 * 9 600 par interpolation). Le nombre de pages traitées par minute dépend du temps pris par le passage de la barrette (13 secondes en moyenne) et peut atteindre 47 pages par minute.

Généralement chaque type de scanner propose son propre logiciel de numérisation (digitalisation) mais les fichiers générés respectent dans l'ensemble une des normes classiques telles que les formats TIFF (*Tagged Image File Format*), GIF (*Graphic Interchange Format*), JPEG (*Joint Photographic Experts Group*), WMF (*Windows metafile*), TWAIN ou PaintBrush entre autres…



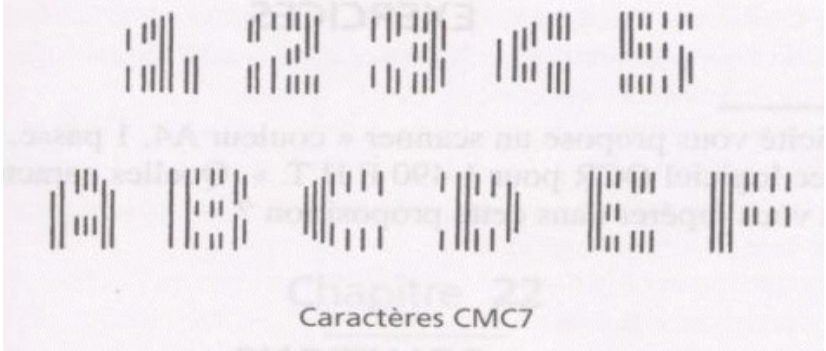
Principe du scanner à rouleau

Les scanners sont surtout utilisés en archivage de documents, car ils permettent de conserver les éléments d'un dossier et d'en prendre connaissance même à distance. Ils sont aussi employés en reconnaissance de caractères grâce aux logiciels d'OCR (*Optical Character Recognition*) qui permettent de scanner un texte dactylographié ou manuscrit et de le reprendre avec un logiciel de traitement de textes. Il existe quelques scanners à main ou c'est l'homme qui assure le déplacement (parfois guidé) des capteurs au-dessus du document avec les risques de déformation de l'image que cela induit (tremblement, déplacement irrégulier, …), mais le plus souvent le scanner est « à plat » et permet de numériser une page de format A4 voir A3. Quelques scanners rotatifs sont également utilisés dans les arts graphiques.

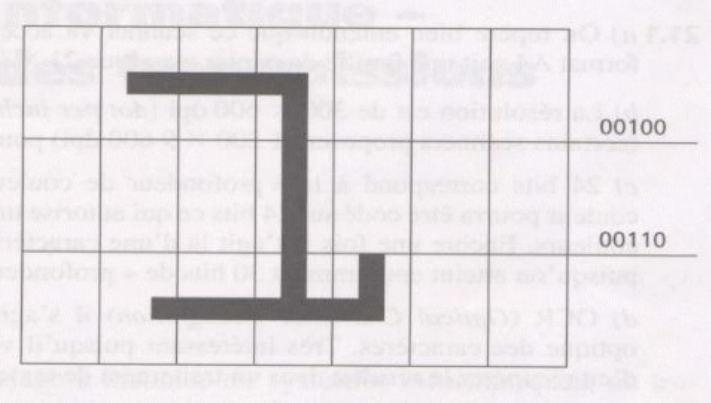
21.5 LES LECTEURS MAGNETIQUES ET OPTIQUES

La saisie de données peut être réalisée au moyen de dispositifs automatiques utilisant les principes magnétiques ou optiques. Ils sont principalement utilisés dans les banques.

Ces caractères que l'on retrouve sur les chèques sont appelés CMC7 (Caractères Magnétisables Codés à 7 barres). A l'origine magnétique, le caractère CMC7 est maintenant utilisé comme caractère optique. La composition d'un caractère est assurée par un assemblage de 7 barres verticales dont la longueur variable, et éventuellement fractionnée, permet de recomposer le caractère afin d'en assurer une lecture humaine.


Caractères CMC7

Chaque bâtonnet est séparé du suivant par un intervalle large ou étroit. On va donc avoir 6 intervalles, qui pouvant prendre chacun deux valeurs, vont déterminer un ensemble de 64 combinaisons possibles.



L'inconvénient majeur de cette technique est l'obligation d'employer une encre magnétisable (écriture spéciale), en revanche la lecture de ces caractères est très rapide (1 000 à 1 500 documents par minute pour le tri de chèques). Ils ont tendance à être remplacés par des optiques qui fonctionnent également par balayage des caractères et reconnaissance des séries binaires ainsi générées.

21.6 LES LECTEURS DE CODES A BARRES

Un autre système de marquage, les codes à barres, est employé dans la vente au détail. Les caractères sont codés par un ensemble de barres plus ou moins épaisses, séparées par des espaces plus ou moins importants. Il existe plusieurs codes utilisés pour reconnaître les caractères. La norme UPC (*Universal Product Code*), utilisée aux Etats-Unis et au Canada, comme la norme EAN (*European Article Number*) employée en Europe, utilise 7 champs pour coder un caractère soit 128 combinaisons.

EXERCICES

21.1 Une publicité vous propose un scanner « couleur A4, 1 passe, 300 × 600 dpi, 24 bits SCSI avec logiciel OCR pour 1 490 F H.T. ». Quelles caractéristiques de ce matériel pouvez vous repérer dans cette proposition ?

SOLUTIONS

21.1 *a)* On repère bien entendu que ce scanner va accepter des documents en couleur au format A4 soit une feuille de papier classique 21 × 29,7 cm.

b) La résolution est de 300 × 600 dpi (*dot per inch*) ce qui est correct mais sans plus (certains scanners proposent 1 200 × 9 600 dpi) pour à peine plus cher.

c) 24 bits correspond à la « profondeur de couleur » c'est-à-dire que chaque pixel couleur pourra être codé sur 24 bits ce qui autorise un nuancier de 2^{24} soit 16 millions de couleurs. Encore une fois il s'agit là d'une caractéristique correcte mais pas excessive puisqu'on atteint couramment 30 bits de « profondeur de couleur ».

d) OCR (*Optical Character Recognition*) il s'agit d'un logiciel de reconnaissance optique des caractères. Très intéressant puisqu'il vous permet de scanner un texte et d'en récupérer le résultat dans un traitement de textes.

Chapitre 22

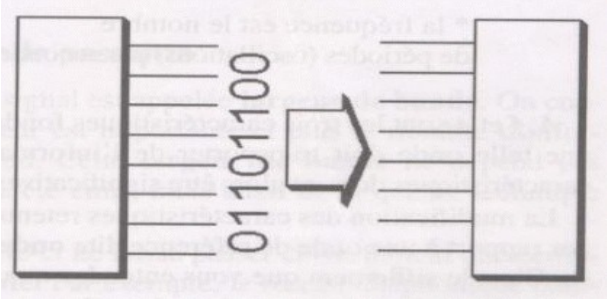
Téléinformatique – Théorie des transmissions

La téléinformatique désigne l'usage à distance de systèmes informatiques, au travers de dispositifs de télécommunications. Ainsi, plusieurs éléments d'un système informatique, doivent fonctionner comme

s'ils étaient côte à côte. Les applications de la téléinformatique sont très nombreuses (services commerciaux, banques de données, télématique, …), et se retrouvent dans tous les domaines.

22.1 LES PRINCIPES DE TRANSMISSION DES INFORMATIONS

Entre les constituants de l'ordinateur ou du réseau, les informations sont transmises sous forme de séries binaires. La solution la plus simple, pour faire circuler les bits représentant un caractère, consiste à utiliser autant de « fils » qu'il y a de bits. Ce mode de transmission est dit parallèle, mais n'est utilisable que pour de courtes distances, car coûteux et peu fiable sur des distances importantes. Ce type de transmission est utilisé sur les BUS de l'ordinateur et avec l'imprimante.



Pour augmenter la distance, on utilisera une seule voie (en fait au minimum deux fils) où les bits constituant les caractères sont transmis les uns après les autres, c'est la transmission série. Dans la transmission série, le temps est découpé en intervalles réguliers, un bit étant émis lors de chacun de ces intervalles. Le principe de base consiste à appliquer une tension +v pendant un intervalle pour un bit à 1, et une tension nulle pour un bit à 0.

Côté récepteur, on doit alors observer les valeurs de la tension aux instants convenables. Plusieurs implications apparaissent alors :

- le découpage du temps en intervalles réguliers nécessite la présence d'une horloge, auprès de l'émetteur comme du récepteur,

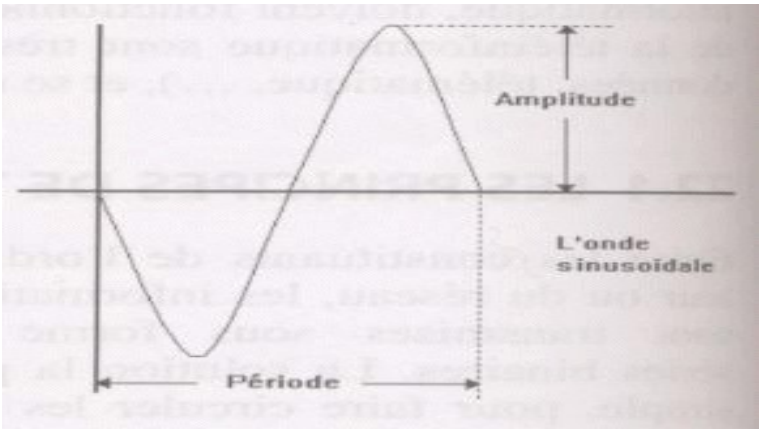
- une synchronisation est nécessaire entre l'émetteur et le récepteur, pour que ce dernier fasse ses observations aux instants corrects.

22.1.1 Les signaux utilisés

Les signaux digitaux (numériques) étant difficilement transmissibles « tels quels » sur de longues distances, on est amené à utiliser des signaux analogiques qui, eux, se transmettent plus aisément. Le signal analogique le plus élémentaire est l'onde sinusoïdale dont l'équation est : $a(t) = A \sin(\omega t + \Phi)$

$a(t)$ = amplitude à l'instant t, ou « a » est un point à l'instant t sur la sinusoïde,
A = amplitude* maximum,
ω (pulsation*) = $2\pi f$ où f exprime la fréquence* en Hertz,
t = temps en secondes,
Φ = déphasage (décalage de l'onde par rapport à l'origine, par rapport à l'onde porteuse)

*** L'amplitude est une valeur indiquant l'écart maximal d'une grandeur qui varie périodiquement.**
*** La pulsation est la quantité caractérisant la variation temporelle de phase d'une grandeur sinusoïdale. Celle-ci s'exprime en radian par secondes [rad/s]. Sorte d'énergie, de débit.**
*** La fréquence est le nombre de périodes (oscillations) par seconde.**



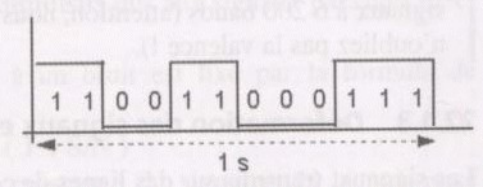
A, f et Φ sont les trois caractéristiques fondamentales d'une onde sinusoïdale, et si une telle onde doit transporter de l'information binaire, une ou plusieurs de ces caractéristiques doivent alors être significatives des états logiques 0 ou 1 à transmettre.

La modification des caractéristiques retenues pour repérer les états binaires se fait par rapport à une onde de référence dite onde porteuse ou plus simplement porteuse. C'est le sifflement que vous entendez quand vous faites un 3611 sur un minitel.

Le laps de temps pendant lequel une ou plusieurs de ces caractéristiques est significative d'une valeur binaire s'appelle moment élémentaire et le nombre de moments élémentaires qu'il est possible de transmettre en 1 seconde est la rapidité de modulation (notée R). Cette rapidité de modulation s'exprime en Bauds, du nom de l'ingénieur Baudot, inventeur d'un code du même nom utilisé en téléinformatique.

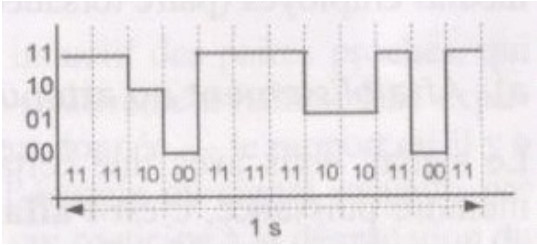
Il ne faut pas confondre la rapidité de modulation et le débit binaire (noté D) qui est le nombre de bits que l'on peut émettre en 1 seconde. En effet, un moment élémentaire peut permettre de coder un nombre variable de bits en fonction de la valence du signal.

a) Si on considère qu'un moment élémentaire ne permet de coder qu'un bit 0 ou qu'un bit 1



Dans ce cas, 2 niveaux d'amplitudes sont significatifs, la valence est de 2. La rapidité de modulation étant de 12 moments élémentaires par seconde (12 bauds), le débit sera alors de 12 bits/s.

b) Si on considère qu'un moment élémentaire permet de coder deux bits simultanément



La rapidité de modulation étant toujours de 12 moments élémentaires par seconde (12 bauds), le débit sera ici de 24 bits/s car chaque moment élémentaire permet de coder 2 bits.

La généralisation de ces exemples nous donne la relation existant entre le débit binaire D, la rapidité de modulation R et la valence V par la formule :

$$D = R * Log^2 (V)$$

En fait, ce qui sera utile par la suite, n'est pas tant la rapidité de modulation que le débit binaire. En effet, plus on pourra faire s'écouler de bits par seconde (on emploie souvent le terme « tuyau de communication », le débit représentant la « largeur » du tuyau), et moins longtemps durera la communication entre les deux systèmes ; or une communication a un coût qui dépend généralement, de près ou de loin, de la durée.

22.1.2 Largeur de bande et bande passante

La zone de fréquences utilisée par un signal est appelée largeur de bande. On conçoit intuitivement que plus cette largeur est importante et plus le nombre d'informations pouvant y transiter sera grand. Cette

largeur de bande ne dépend pas seulement de la façon dont le signal a été émis, mais aussi de la qualité technique de la voie de transmission.

Or, aucune voie n'étant parfaite, celle-ci ne laisse passer correctement que certaines fréquences, c'est la bande passante. Par exemple, le réseau téléphonique commuté classique (RTC), tel que nous l'utilisons pour parler, assure une transmission jugée correcte des fréquences comprises entre 300 et 3 400 Hertz, soit une bande passante de 3 100 Hz.

Pour transmettre des signaux numériques (signal digital « carré) il faut que la voie de transmission possède une large bande passante. Les signaux analogiques nécessitent une bande passante plus étroite.

La bande passante joue un rôle important sur la rapidité de modulation qu'elle limite. Ainsi le mathématicien Nyquist a démontré que le nombre d'impulsions qu'on peut émettre et observer par unité de temps est égal au double de la bande passante du canal. Soit R = 2 * W, où R est la rapidité de modulation et W la bande passante.

Ainsi, une ligne téléphonique de bande passante de 3 100 Hz peut transmettre des signaux à 6 200 bauds (attention, nous n'avons pas dit à 6 200 bits par seconde… n'oubliez pas la valence !).

22.1.3 Déformation des signaux et caractéristiques des médias

Les signaux, transmis sur des lignes de communication, tant en numérique (digital) qu'en modulé (analogique) sont soumis à des phénomènes divers qui les altèrent. Ces phénomènes sont liés pour partie aux caractéristiques et à la qualité des divers médias employés (paire torsadée, câble coaxial, fibre optique, …)

a) Affaiblissement ou atténuation

Le signal, émis avec une certaine puissance, est reçu par le récepteur avec une moindre puissance, c'est l'affaiblissement ou atténuation.

L'atténuation dépend, en courant continu, du diamètre du conducteur et la qualité du cuivre. En courant alternatif l'atténuation varie également en fonction de la fréquence. L'atténuation peut donc provoquer des déformations du signal transmis et les lignes de transmission doivent répondre à certaines caractéristiques – gabarits – quant à l'affaiblissement qu'elles apportent aux signaux. L'atténuation s'exprime en décibel (dB) par unité de longueur et traduit l'énergie perdue par le signal au cours de sa propagation sur le câble, elle dépend de l'impédance* du câble et la fréquence des signaux.

$$A = 10 * \text{Log}(P1/P2)$$

Où P1 est la puissance du signal en entrée et P2 la puissance du signal en sortie.
Plus l'atténuation est faible et meilleur c'est. Par exemple, 5dB pour de la fibre optique.

*** Impédance : Rapport de l'amplitude complexe d'une grandeur sinusoïdale (tension électrique « différence de potentiel », pression acoustique) à l'amplitude complexe de la grandeur induite (courant électrique « correspond au débit du a une différence de potentiel », flux de vitesse), dont le module se mesure en ohms. C'est en quelque sorte une forme de résistance au sein même du câble.**

b) Impédance

L'impédance traduit le comportement du câble vis-à-vis d'un courant alternatif. C'est le rapport entre la tension appliquée en un point du câble et le courant produit par cette tension (le câble étant supposé infini). L'impédance est exprimée en ohms (Ω).

Ce rapport détermine l'impédance itérative (action de répéter, fréquentatif) c'est-à-dire l'impédance du « bouchon de charge » que l'on peut placer en fin de ligne pour éviter les réflexions parasites du signal. Par exemple, 100 Ω pour de la paire torsadée et 50 Ω pour du câble coaxial.

c) Distorsions

On rencontre deux types de distorsion, les distorsions d'amplitude, qui amplifient ou au contraire diminuent l'amplitude normale du signal à un instant t, et les distorsions de phases, qui provoquent un déphasage intempestif de l'onde par rapport à la porteuse.

d) Bruits – Diaphonie – Paradiaphonie

Il existe deux types de bruits, le bruit blanc (bruit Gaussien), dû à l'agitation thermique dans les conducteurs, et les bruits impulsifs dus aux signaux parasites extérieurs.

Le débit maximal d'un canal soumis à bruit est fixé par la formule de Shannon :

$$C = W \log^2 (1 + S/N)$$

W représente la bande passante, S la puissance du signal et N la puissance du bruit. Ainsi, pour une ligne téléphonique de bande passante de 3 100 Hz avec un rapport signal/bruit de l'ordre de 1 000, on obtient un débit maximal d'environ 31 000 bits/s.

La diaphonie est un phénomène dû au couplage inductif des paires proches, qui limite l'utilisation de la paire torsadée à des distances relativement faibles. Elle exprime – pour une fréquence donnée et pour une longueur donnée – le rapport qu'il y a entre l'énergie du signal transmis sur une paire et l'énergie du signal recueilli par induction sur une paire voisine. Ce signal parasite – qui participe à la dégradation du rapport signal/bruit ou ACR (*Attenuation to Crosstalk loss Ratio*) – se mesure en décibels (dB), c'est un facteur important indiquant l'écart qu'il y a entre le signal utile et les parasites liés à la diaphonie. Plus la diaphonie est faible, c'est-à-dire plus la valeur en décibels est élevée, meilleur c'est. Ainsi, pour un câble de cuivre catégorie 5, souvent utilisé en réseau local, l'ACR est en général de 3,1 dB minimum.

La paradiaphonie ou NEXT (*Near End CrossTalk loss*) indique l'atténuation du signal transmis sur une paire, en fonction du signal transmis sur une paire voisine. Elle s'exprime en décibels et plus cette valeur est élevée, meilleur est le câble. Ainsi, avec un câble catégorie 5 à 100 Mhz, le NEXT est en général de 27,1 dB minimum.

e) Vitesse de propagation ou coefficient de vélocité => (grande vitesse)

Sur une voie de transmission les signaux se propagent à des vitesses différentes selon les caractéristiques des matériaux traversés. Les fabricants indiquent la vitesse de propagation en pourcentage de la vitesse de la lumière dans le vide soit 300 000 km/s. La vitesse de propagation varie couramment de 60 % à 85 %.

f) Temps de propagation

Le temps de propagation (Tp) est le temps nécessaire à un signal pour parcourir un support d'un point à un autre. Ce temps de propagation dépend directement du coefficient de vélocité.

Par exemple, ce temps est de 5 µs / km sur un réseau Ethernet (1s / 66% * 300 000 km). Le temps de propagation est généralement négligeable.

g) Temps de transmission

Le temps de transmission (Tt) dépend de la taille du message à transmettre et du débit supposé par la voie de transmission. Il correspond au rapport entre ses deux données.

h) Délai d'acheminement

Le délai d'acheminement (Da) correspond à la somme des temps de propagation et temps de transmission

$$Da = Tp + Tt$$

Soit la transmission d'un message de 10 000 bits à 10 Mbits/s sur 100 m.
Tt = 10 000 bits / 10 000 000 bits/s = 1 ms
$Tp = 5\ \mu s_{/km} * 0{,}1$ km = 0,5 µs = 0,0005 ms

22.2 LES DIFFERENTES METHODES DE TRANSMISSION

On peut utiliser différentes méthodes pour transporter de l'information binaire sur des voies de transmission.

22.2.1 La bande de base

La transmission en bande de base consiste à émettre l'information sous sa forme digitale, c'est-à-dire sans autre modification qu'une éventuelle amplification destinée à éviter les phénomènes d'affaiblissement et une codification assurant la transmission de longues suites de 0 ou de 1 (code NRZI, Manchester, code de Miller, MLT3, …) afin d'éviter les embrouillages et donc de pouvoir synchroniser aux instants convenables.

Compte tenu de l'affaiblissement apporté aux signaux par les caractéristiques de la ligne, ils subissent une dégradation qui limite l'usage de cette technique à une distance maximale théorique de 50 km. Ce type de transmission nécessite donc des voies présentant une large bande passante telles que câble coaxial, fibre optique ou voie hertzienne. Dans la pratique on considère que 5 km est la distance maximale efficace avec des supports tels que les fils de cuivre de type téléphone. C'est la technique de transmission la plus utilisée dans les réseaux locaux.

22.2.2 La modulation

La modulation – réalisée par un MODEM dont le rôle est de transformer le signal numérique en signal analogique et inversement – permet de pallier aux limitations de distance dues à une transmission en bande de base.

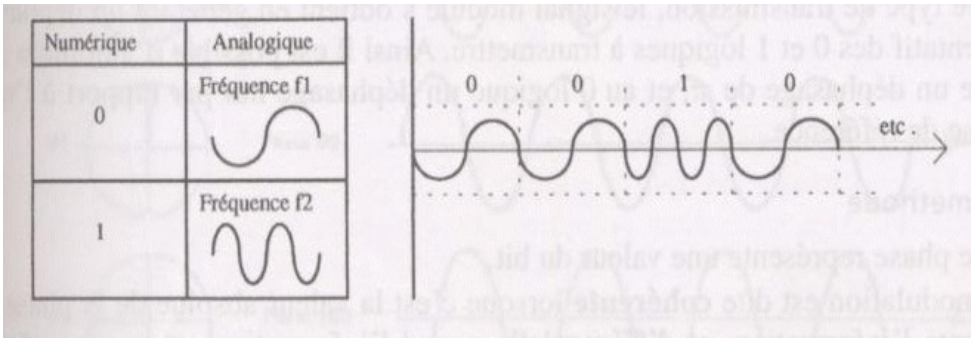
Ce mode de transmission, s'il reste encore très utilisé, est en forte régression devant la montée en puissance de la numération des voies d'abonnés. Les voies analogiques sont encore essentiellement utilisées au niveau de la « boucle locale » c'est-à-dire sur le tronçon de voie qui lie le centrale télécom (CAA = Commutateur d'autonomie d'acheminement ou d'attachement d'abonné, voir CL « faux CAA, relié en fait au CAA le plus proche » = Commutateur local pour province) à l'équipement de l'abonné.

a) La modulation de fréquence

Dans ce type de transmission, le signal modulé s'obtient en associant une fréquence f1 à la codification d'une information binaire 1 et une fréquence f2 à la codification du 0.

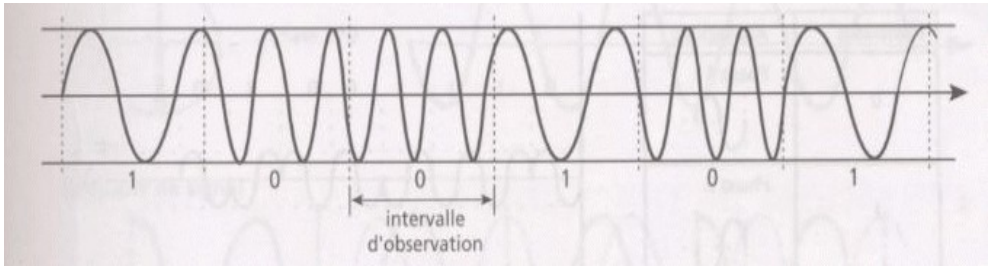
- **1ère méthode**

Chaque fréquence représente une valeur du bit.



- **2ème méthode**

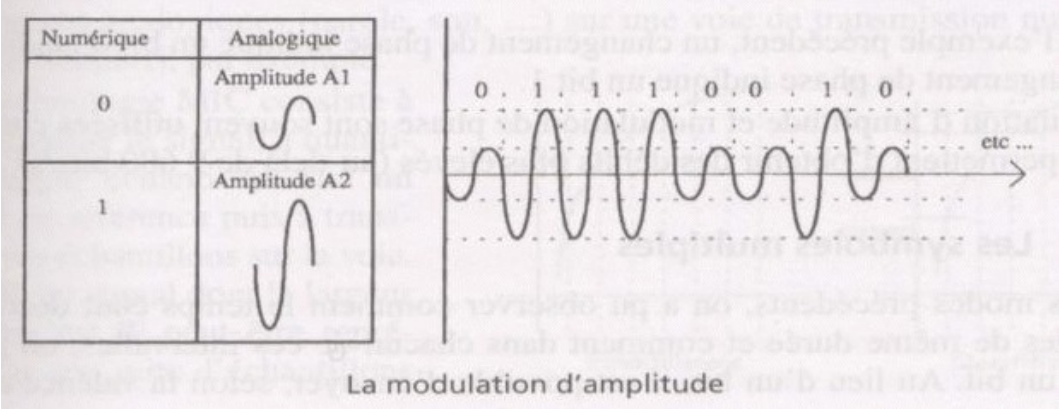
Le changement ou le non-changement de fréquence donne la valeur du bit.



Cette technique de modulation permet de réaliser avec un matériel simple des transmissions peu sensibles aux perturbations, mais, compte tenu de l'influence de la fréquence sur la largeur de bande, elle ne pourra être utilisée que pour des vitesses faibles (jusqu'à 1 800 bits/s).

b) La modulation d'amplitude

Dans ce type de transmission, le signal modulé s'obtient en associant à une information logique 1, une amplitude donnée et une autre amplitude à un 0 logique.



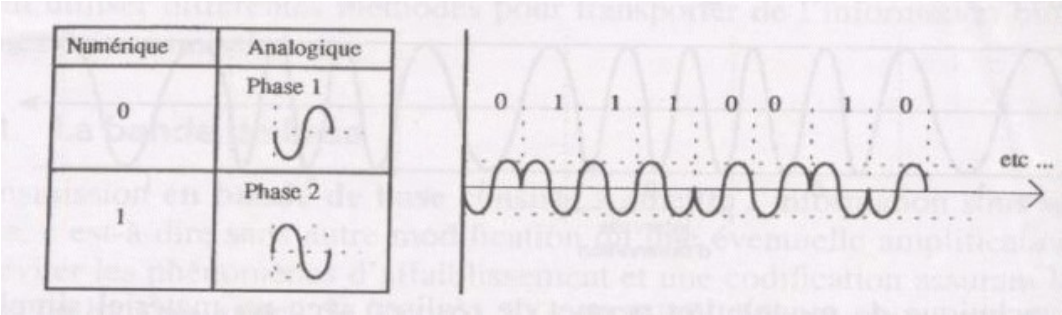
Le principale inconvénient de ce type de modulation réside dans le fait que l'information utile est transmise deux fois, c'est-à-dire dans chacune des bandes latérales supérieures et inférieures, ce qui élargit inutilement la bande de fréquences utilisée. Il existe deux techniques (Bandes Latérale Unique (BLU) ou Bande Latérale Résiduelle (BLR)) permettant de limiter ces contraintes.

c) La modulation de phase

Dans ce type de transmission, le signal modulé s'obtient en générant un déphasage représentatif des 0 et 1 logiques à transmettre. Ainsi il est possible d'adjoindre au 1 logique un déphasage de π, et au 0 logique un déphasage nul par rapport à l'onde porteuse de référence.

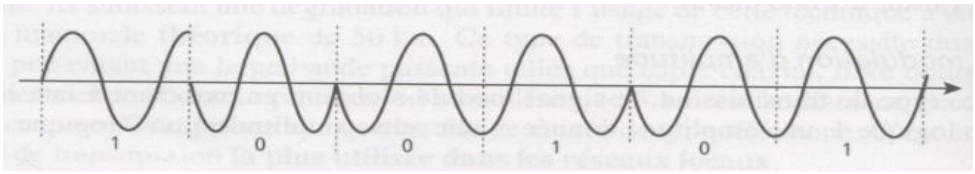
➢ **1ère méthode**

Chaque phase représente une valeur du bit.
La modulation est dite cohérente lorsque c'est la valeur absolue de la phase qui représente l'information, et différentielle quand l'information est représentée par les variations de la phase entre deux instants successifs.



➢ **2ème méthode**

Le changement ou le non-changement de phase donne la valeur du bit.



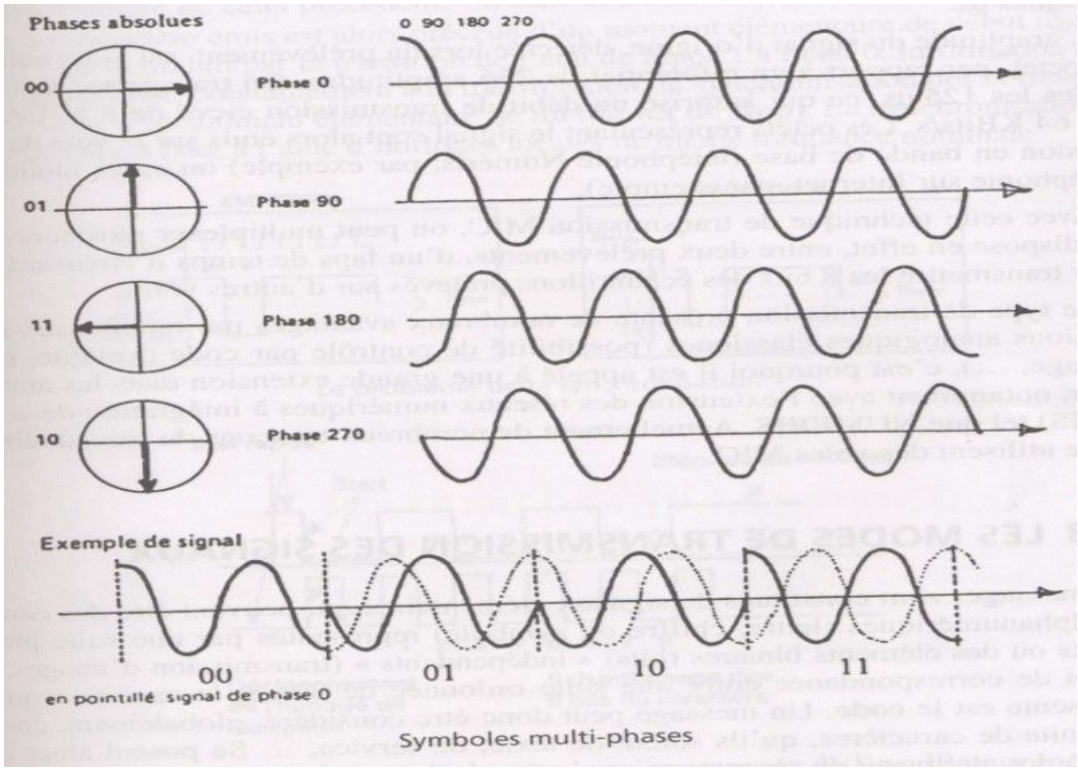
Dans l'exemple précédent, un changement de phase indique un bit 0 tandis qu'un non-changement de phase indique un bit 1.

Modulation d'amplitude et modulation de phase sont souvent utilisés conjointement et permettent d'obtenir des débits plus élevés (au-delà de 9 600 bits/s).

22.2.3 Les symboles multiples

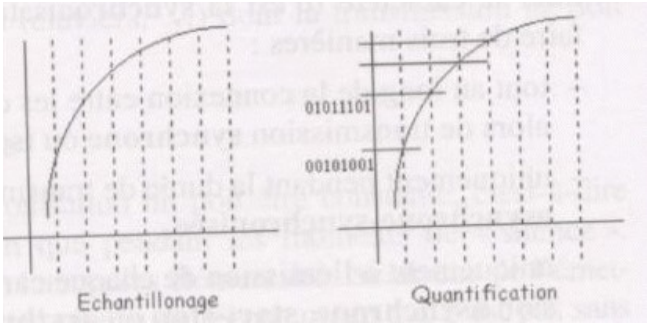
Dans les modes précédents, on a pu observer comment le temps était découpé en intervalles de même durée et comment dans chacun de ces intervalles, on pouvait émettre un bit. Au lieu d'un bit, il est possible d'envoyer, selon la valence choisie, un « symbole » qui peut prendre plusieurs valeurs. On peut

émettre de tels symboles selon les trois techniques précédentes (multi-niveaux pour la modulation d'amplitude, multi-fréquences ou multi-phases pour la modulation de phase).



22.2.4 La modulation par impulsions codées

Ce procédé de modulation par impulsions codées (MIC) permet de transmettre des informations analogiques (paroles, son, …) sur une voie de transmission numérique telle que Numéris, par exemple. La technologie MIC consiste à échantillonner (mesure à intervalles de temps réguliers) le signal, à quantifier (transformation d'une grandeur physique en un nombre sur une échelle discontinue) chaque échantillon sur un modèle de référence puis à transmettre ces échantillons sur la voie.



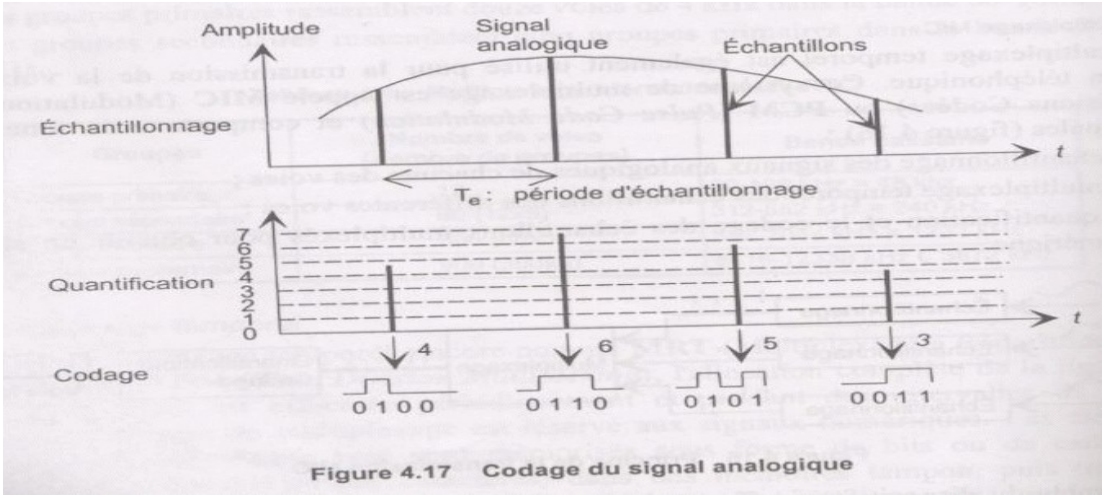


Figure 4.17 Codage du signal analogique

En effet, un signal dont la largeur de bande est W peut être représenté par une suite d'échantillons prélevés à une fréquence minimum de 2 fois W. Une voie de transmission dont la bande de fréquence irait, pour simplifier, jusqu'à 4 000 Hz, peut ainsi être reconstituée à partir de ces échantillons, prélevés à une fréquence de 8 000 Hz, soit un échantillon toutes les 125 µs, le prélèvement de l'échantillon durant quant à lui quelques µs.

L'amplitude du signal d'origine, détectée lors du prélèvement, est alors codée sur un octet, par rapport à un référentiel de 256 amplitudes. On transporte ainsi 8 bits toutes les 125µs, ce qui autorise un débit de transmission élevé de 8 * 1s/125 µs soit 64 KBits/s. Les octets représentant le signal sont alors émis sur la voie de transmission de bande de base (téléphonie, Numéris, par exemple) ou après modulation (téléphonie sur Internet, par exemple).

Avec cette technique de transmission MIC, on peut multiplexer plusieurs voies. On dispose en effet, entre deux prélèvements, d'un laps de temps d'environ 120 µs pour transmettre les 8 bits des échantillons prélevés sur d'autres voies.

Ce type de transmission présente de nombreux avantages par rapport aux transmissions analogiques classiques (possibilité de contrôle par code cyclique, multiplexage, …), c'est pourquoi il est appelé à une grande extension dans les années à venir, notamment avec l'extension des réseaux numériques à intégration de service (RNIS) tel que NUMERIS. Actuellement de nombreux tronçons du réseau téléphonique utilisent des voies MIC.

22.3 LES MODES DE TRANSMISSION DES SIGNAUX

Les messages sont constitués de signaux élémentaires qui peuvent être des caractères alphanumériques (lettre, chiffre ou symbole) représentés par une suite précise de bits ou des éléments binaires (bits) « indépendants » (transmission d'images, …). La loi de correspondance entre une suite ordonnée de bits et le caractère qu'elle représente est le code. Un message peut donc être considéré, globalement, comme une suite de caractères, qu'ils soient de texte, de service, … Se posent alors deux problèmes au niveau du récepteur :

a) découper correctement chaque message en caractères (c'est la synchronisation caractère),

b) découper correctement chaque caractère en éléments binaires permettant d'identifier le caractère (c'est la synchronisation bit). La synchronisation bit peut se faire de trois manières :

b) 1) tout au long de la connexion entre les divers composants du réseau, et on parle alors de transmission synchrone ou isochrone,

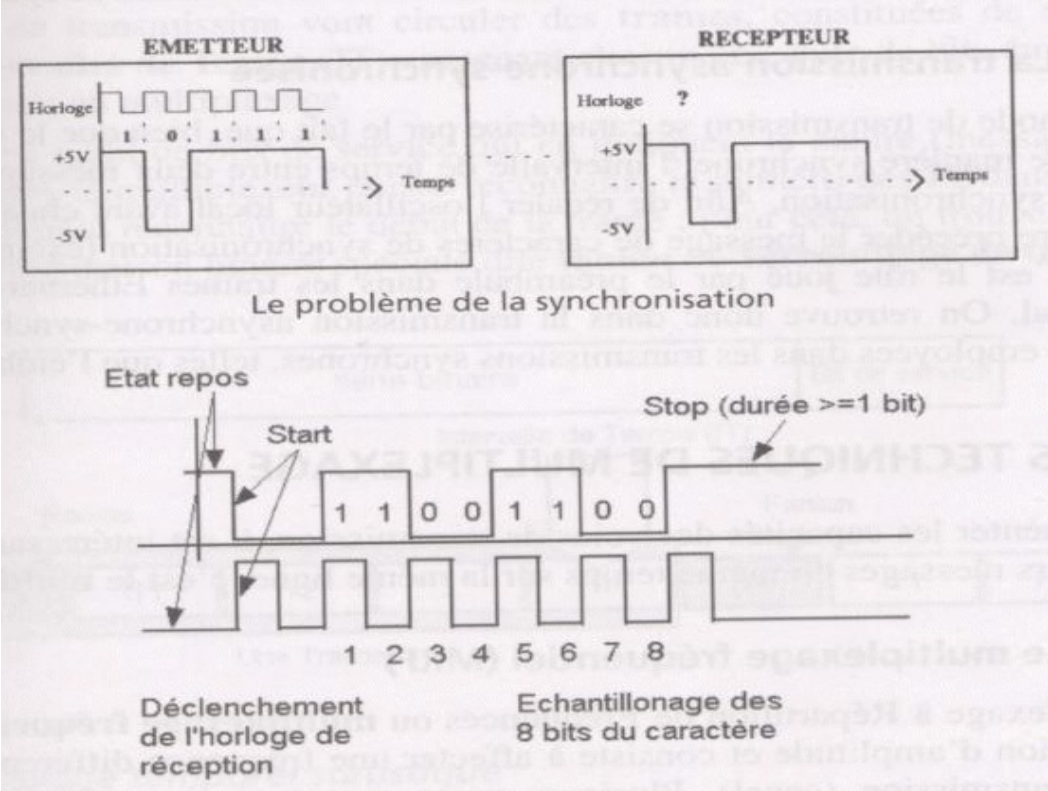
b) 2) uniquement pendant la durée de transmission du message, c'est la transmission asynchrone-synchronisée,

b) 3) uniquement à l'émission de chaque caractère, auquel cas on parle de transmission asynchrone, start-stop ou arythmique.

22.3.1 La transmission asynchrone

Quand la source produit des caractères à des instants aléatoires (cas de la frappe de caractères sur un clavier de terminal), il peut être intéressant de les transmettre, sans tenir compte de ceux précédents ou sans attendre ceux suivants.

Chaque caractère émis est alors précédé d'un moment élémentaire de début (dit bit de *start*) qui se traduit par la transition de l'état de repos 1) l'état 0, information destinée à déclencher, préalablement à la transmission, la synchronisation des correspondants et suivi d'un moment élémentaire de fin (dit bit de stop). La synchronisation au niveau du bit est faite à l'aide d'horloges locales de même fréquence nominale.



A la réception, le signal start déclenche la mise en route de l'oscillateur local qui permet l'échantillonnage des bits contenus dans le caractère. La légère dérive, qui peut alors se produire par rapport à l'instant idéal, est sans conséquence, compte tenu de la faible durée concernée.

Ce mode de transmission est dit asynchrone ou encore start-stop, et est généralement réservé à des équipement lents (claviers, …) dont la transmission ne doit pas dépasser 1 200 Bps.

22.3.2 La transmission synchrone

Dans ce type de transmission la synchronisation bit doit être constante, c'est-à-dire aussi bien lors des périodes d'émission que pendant les moments de « silence ». Le temps est donc sans cesse découpé en intervalles élémentaires au niveau de l'émetteur. Ces intervalles doivent se retrouver au niveau du récepteur, ce qui n'est pas sans poser problèmes. En effet, l'usage à la réception d'une horloge de fréquence même très légèrement différente de celle de l'émetteur conduirait, du fait de la taille des blocs de caractères émis, à une dérive des instants significatifs pouvant entraîner des erreurs de reconnaissance des caractères. Pour éviter cela, l'horloge de réception doit être sans cesse resynchronisée (recalée) sur celle d'émission, ce qui peut se faire par l'envoi de transitions binaires alternant 1 et 0. Si les données à transmettre comportent de longues suites de 1 ou de 0, on est amené à utiliser un code dit embrouilleur qui intègre dans le message les transitions nécessaires au recalage des horloges. Une telle technique est donc assez difficile à mettre en œuvre et on utilisera plus souvent une transmission asynchrone-synchronisée (d'ailleurs souvent qualifiée abusivement de synchrone).

22.3.3 La transmission asynchrone-synchronisée

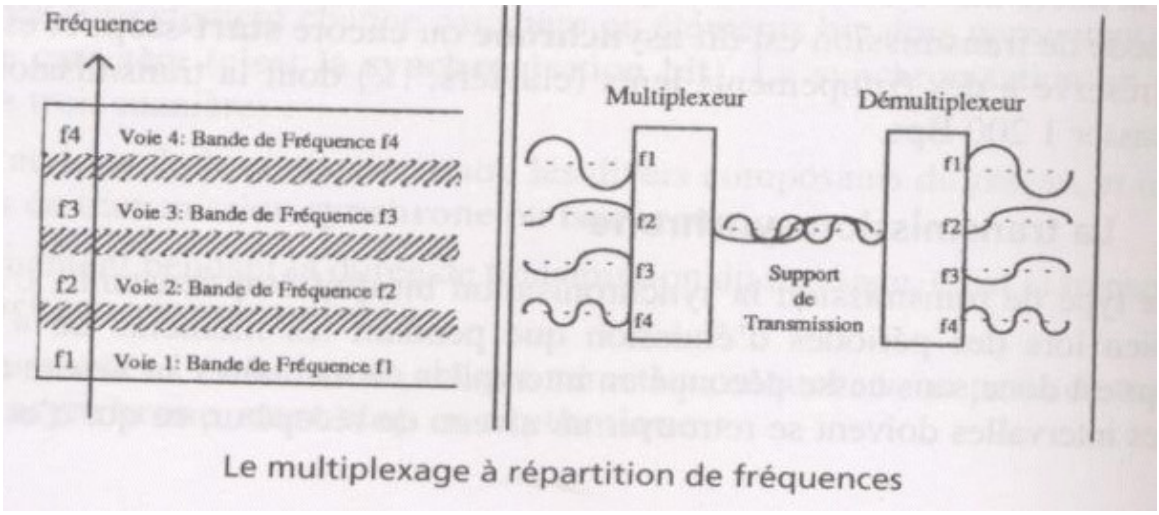
Cette méthode de transmission se caractérise par le fait que, bien que le message soit transmis de manière synchrone, l'intervalle de temps entre deux messages ne donne pas lieu à synchronisation. Afin de recaler l'oscillateur local avant chaque message, on doit faire précéder le message de caractères de synchronisation (exemple SYN en ASCII). C'est le rôle joué par le préambule dans les trames Ethernet utilisées en réseau local. On retrouve donc dans la transmission asynchrone-synchronisée, les techniques employées dans les transmissions synchrones, telles que l'embrouillage.

22.3.4 LES TECHNIQUES DE MULTIPLEXAGE

Pour augmenter les capacités des voies de transmission, il est intéressant de faire passer plusieurs messages en même temps sur la même ligne, c'est le multiplexage.

22.4.1 Le multiplexage fréquentiel (MRF)

Le Multiplexage à Répartition de Fréquence ou multiplexage fréquentiel, utilise la modulation d'amplitude et consiste à affecter une fréquence différente à chaque voie de transmission (canal). Plusieurs voies seront ainsi combinées pour être émises sur un même support. Ce système a une capacité relativement faible (de 50 à 200 bauds) du fait que, pour éviter la diaphonie entre les voies, on est amené à séparer les bandes de fréquences jointives par des « marges » inutilisées.



22.4.2 Le multiplexage temporel (MRT-TDMA)

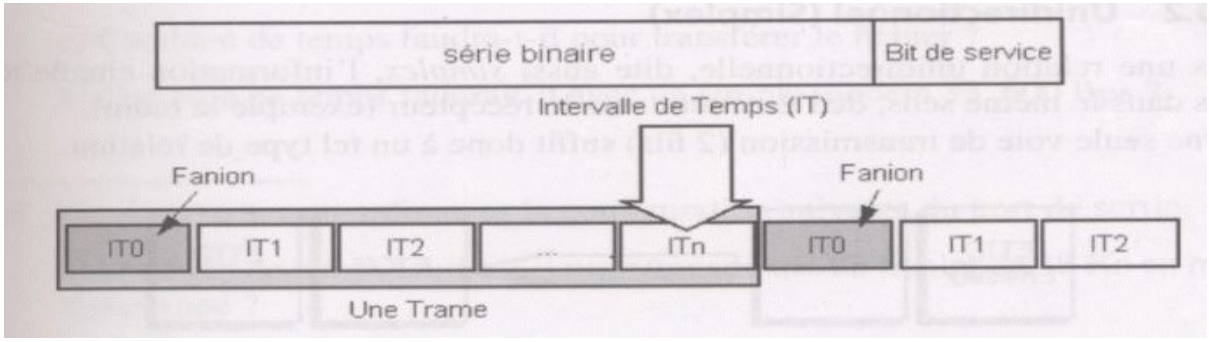
Le principe du MRT – Multiplexage à Répartition dans le Temps, dit également TDM (*Time Data Multiplex* ou *Time Division Multiplexer*) ou TDMA (*Time Division Multiple Access*), consiste à attribuer un intervalle de temps à chaque voie de communication.

Le MRT peut se présenter sous deux forme : fixe ou statistique.

a) Multiplexage temporel fixe

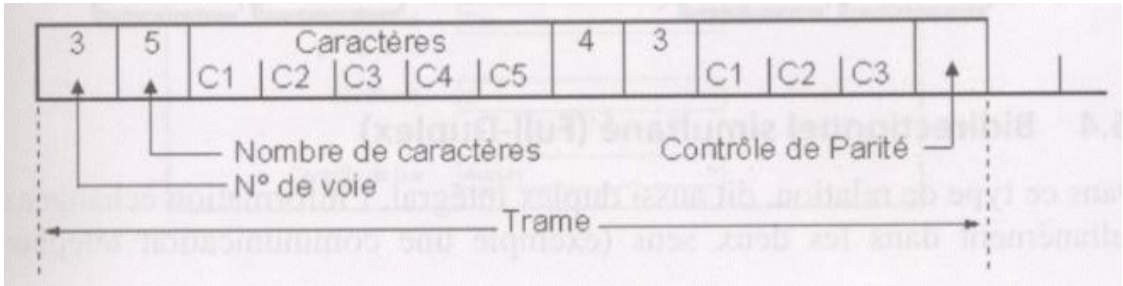
Sur la voie de transmission vont circuler des trames, constituées de sous-blocs appelés Intervalles de Temps (IT) contenant chacun une suite de bits émis par une voie participant au multiplexage.

Chaque IT est muni de bits de service qui en indiquent la nature (message ou service). Pour que le multiplexeur puisse reconnaître le numéro des IT dans la trame, il faut qu'il puisse reconnaître le début de la trame ; pour cela, on trouve en tête de trame une combinaison binaire spéciale dite fanion ou verrouillage de trame.



b) Multiplexage temporel statistique

Cette technique consiste à allouer de manière dynamique, les IT d'une trame aux seules voies actives à un moment donné et non plus à toutes les voies comme dans les méthodes précédentes, ce qui permet de gagner en efficacité. Ce type de multiplexage offre un bon rendement sauf, évidement, si toutes les voies sont actives en même temps, car il peut se produire alors un phénomène de saturation.



22.5 LES DIFFERENTES TYPES DE RELATIONS

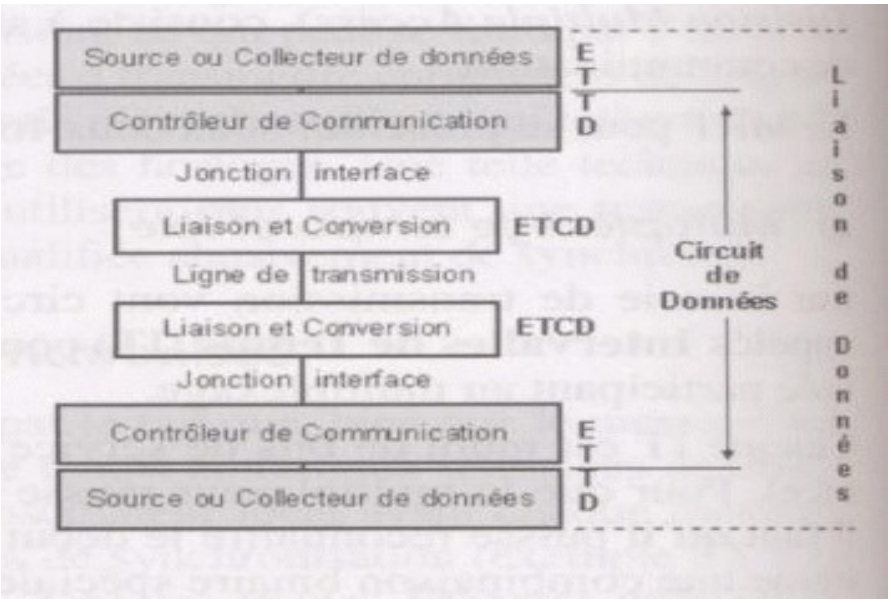
22.5.1 Terminologie globale

ETTD : Equipement Terminal de Traitement de Données. Il assure le traitement des données transmises

(ordinateur, terminal, écran, clavier, …)

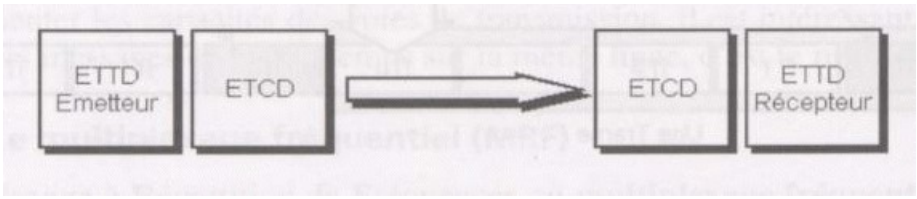
ETCD : Equipement Terminal du Circuit de Données. Il assure la gestion des communications et la bonne émission et réception des signaux.

En téléinformatique, la relation est établie par l'intermédiaire d'une voie – ou ligne de transmission – entre deux ETTD, mais cette relation peut se faire de différentes façons.



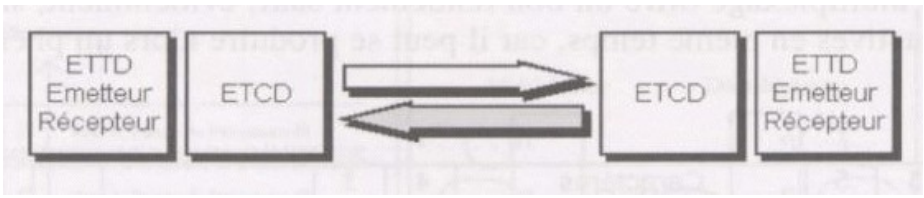
22.5.2 Unidirectionnel (Simplex)

Dans une relation unidirectionnelle, site aussi *simplex*, l'information circule toujours dans le même sens, de l'émetteur vers le récepteur (exemple la radio).
Une seule voie de transmission (2 fils) suffit donc à un tel type de relation.



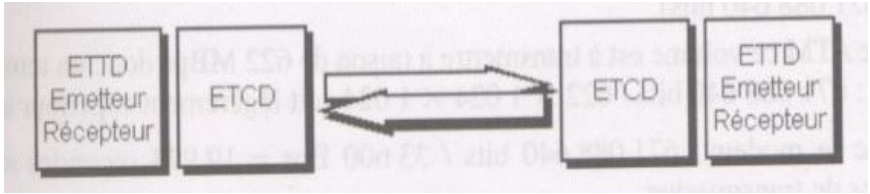
22.5.3 Bidirectionnel à l'alternat (Half-Duplex)

Dans une relation bidirectionnelle à l'alternat, chaque ETTD fonctionne alternativement comme émetteur puis comme récepteur (exemple le talkie-walkie). Une seule voie de transmission (2 fils) suffit donc à un tel type de relation.



22.5.4 Bidirectionnel simultané (Full-Duplex)

Dans ce type de relation, dit aussi duplex intégral, l'information échangée circule simultanément dans les deux sens (exemple une communication téléphonique). Le bidirectionnel simultané nécessite en général deux voies de transmission (4 fils), bien qu'il soit possible, techniquement, de la réaliser sur une seule voie.



EXERCICES

22.1 Une encyclopédie comportant des images est stockée sur un serveur et occupe 80 Mo. On souhaite la transférer sur un autre serveur. On dispose d'un réseau ATM autorisant un débit de 622 MBps. Ne vous préoccupez pas d'éventuels bits supplémentaires de synchronisation ou autre…

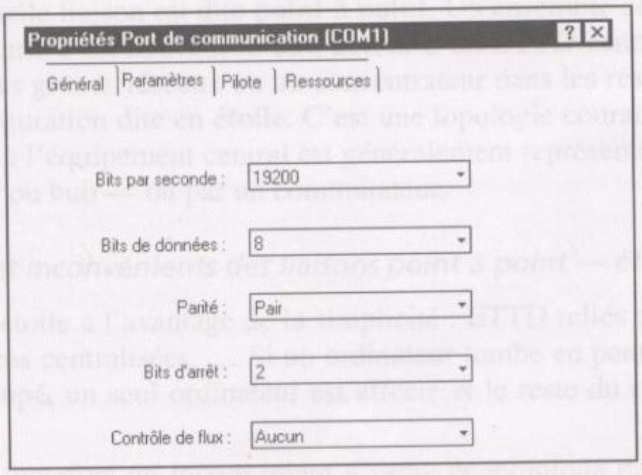
a) Combien de temps faudra-t-il pour transférer le fichier ?

b) Combien de temps faudrait-il avec un simple modem 33 600 Bps ?

22.2 On observe sur un ordinateur la configuration suivante du port de sortie.

a) Combien de temps faudra-t-il pour transmettre un fichier de 48 Ko en mode asynchrone ?

b) Quel est, en pourcentage, le volume de bits supplémentaires transmis ?



SOLUTIONS

22.1 Commençons par déterminer le volume en bits : 80 Mo = 80 × 8 soit 671 MBits (en réalité 671 088 640 bits).

a) Avec ATM ce volume est à transmettre à raison de 622 MBps donc un temps de transfert de : 671 088 640 bits / 622 × 1 024 × 1 024 soit légèrement supérieur à 1 s.

b) Avec le modem : 671 088 640 bits / 33 600 Bps = 19 973 secondes soit plus de 5 heures de transmission.
Ce qui démontre bien l'intérêt de disposer d'un débit le plus rapide possible !

22.2 *a)* Chaque octet (8 bits) est accompagné d'un bit de parité et de 2 bits de stop ce qui porte le total des bits émis par caractère à 11 bits.
Volume du fichier initial en bits : 48 × 1 024 × 8 soit 393 216 bits.
Volume du fichier réellement transmis : 48 × 1 024 × 11 soit 540 672 bits.
Temps théorique mis pour transmettre : 540 672 bits / 19 200 bits /s
soit 28.16 secondes.

b) Pourcentage de bits supplémentaires : (540 672 / 393 216) —1 soit environ 37 % de bits supplémentaires.

Chapitre 23

Téléinformatique – Structures des réseaux

23.1 LES CONFIGURATIONS DE RESEAUX OU TOPOLOGIES

Il existe de nombreuses possibilités de relier les ETTD entre eux, mais on peut cependant distinguer quelques grands types de configuration ou topologies (Branche des mathématiques née de l'étude des propriétés géométriques se conservant par déformation continue, puis généralisée pour englober les notions de limite et de voisinage).

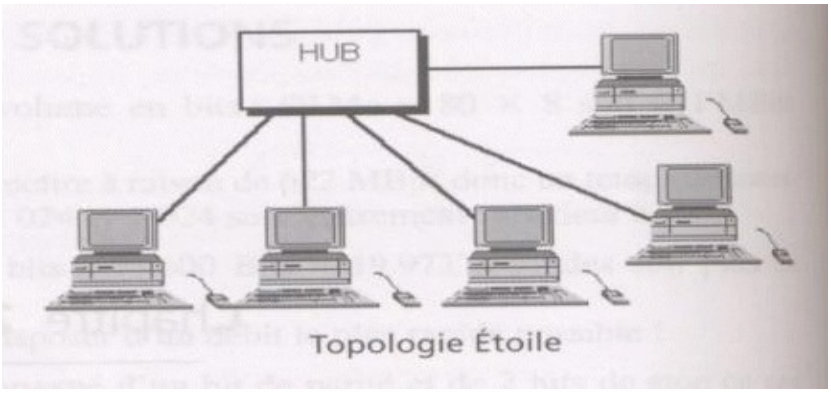
23.1.1 Réseau en étoile

La liaison la plus simple entre deux ETTD est celle qui ne comporte que deux extrémités. Une telle liaison est dite point à point. Un ensemble de liaisons point à point, axées comme c'est souvent le cas, autour d'un ETTD central (par exemple un frontal dans les grands réseaux ou un concentrateur dans les réseaux locaux), va former une configuration dite en étoile. C'est une topologie couramment employée en réseau local où l'équipement central est généralement représenté par un répéteur – concentrateur ou HUB – ou par un commutateur Switch.

a) Avantages et inconvénients des liaisons point à point – étoile

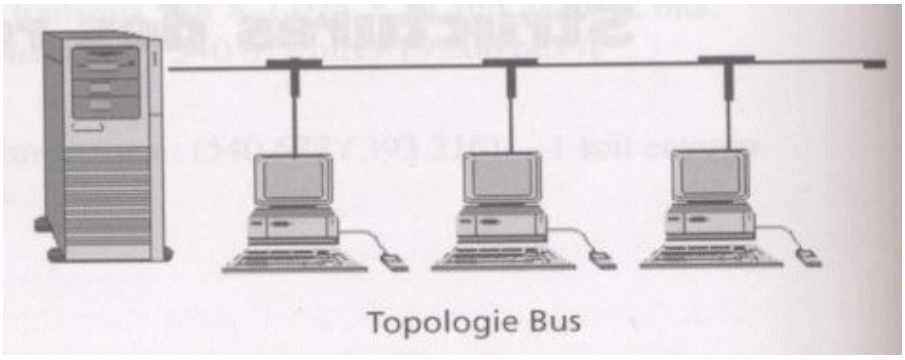
La topologie en étoile a l'avantage de la simplicité : ETTD reliés directement, gestion des ressources centralisées, … Si un ordinateur tombe en panne ou si un câble de liaison est coupé, un seul ordinateur est affecté et le reste du réseau continue à fonctionner.

Elle présente toutefois un inconvénient d'ordre économique dans la mesure ou elle nécessite autant de voies de liaisons que d'ETTD reliés au nœud central ce qui est généralement de coûts, notamment en cas de réseaux géographiquement étendus de type MAN (*Metropolitan Area Network*) ou WAN (*Wide Area Network*). De plus, si le site central – ou le hub sans le cas d'un réseau local – tombe en panne c'est tout le réseau qui est hors service.



23.1.2 Réseau multipoints ou en BUS

Dans la liaison en bus, les ETTD connectés se partagent une même voie de transmission. C'est une topologie courante de réseau d'ordinateurs, notamment avec du câble coaxial. Toutefois, du fait des faibles débits supportés par ces câbles coaxiaux, cette topologie est en régression dans les réseaux locaux. Les stations sont connectées à la voie unique bus, par le biais de connecteurs spécialisés (*transceivers*, connecteurs en T, …). Dans la mesure où les données ne circulent que sur une voie commune, il ne peut y avoir qu'une seule station en train d'émettre à un instant t, si on ne veut pas risquer la « cacophonie ». il faut donc partager la voie entre les diverses stations qui interviennent sur le réseau. Ce partage peut se faire selon deux procédures : le *polling-selecting* ou la diffusion.



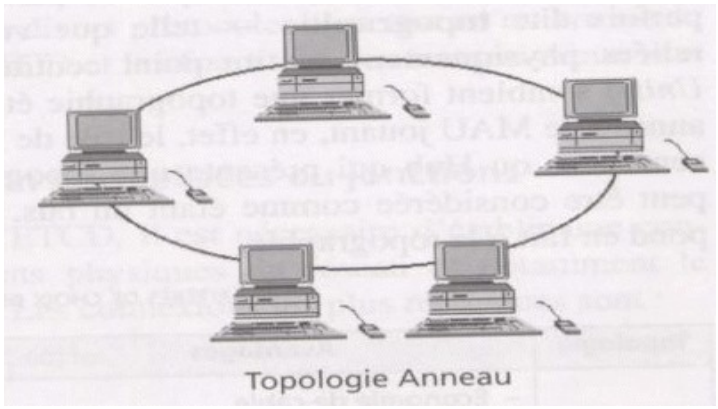
Le *polling-selecting* est une technique ancienne utilisée avec des protocoles tels que BSC… Elle comporte deux phases. Lors du *polling* (invitation à émettre), le calculateur demande à chaque station, dans un ordre prédéfini, si elle a des informations à émettre et lui accorde alors, provisoirement, le statut de maître. La station peut donc émettre vers le site central ou, si elle n'a rien à émettre, « redonner la main » au site central qui passe le contrôle à une autre… Lors du *selecting* (invitation à recevoir) la station maître demande au terminal esclave s'il est prêt à recevoir les données qui lui sont destinées.

La diffusion consiste à émettre les données vers toutes les stations. Seule, la station concernée, repérée par son adresse (Mac, NetBios ou TCP/IP par exemple) « écoutera » le message, les autres n'en tiendront pas compte. Si plusieurs ordinateurs émettent en même temps il y a collision des paquets de données – c'est la contention. Nous reviendrons plus en détail sur cette technique de la diffusion.

a) Avantages et inconvénients des liaisons multipoints ou bus

Dans la liaison en bus, la voie physique est optimisée et utilisée à moindre coût dans la mesure ou elle est unique. Des contraintes techniques limitent cependant le nombre de tronçons et d'ETTD. Les stations ne peuvent pas communiquer en même temps, ce qui limite les temps de réponse et plus le nombre de stations connectées augmente, plus les performances se dégradent du fait de l'augmentation des collisions. Si un tronçon est défectueux, il y a perte de communication pour tous les ETTD situés en deçà (de ce côté-ci) du tronçon.

23.1.3 Réseau en boucle ou anneau

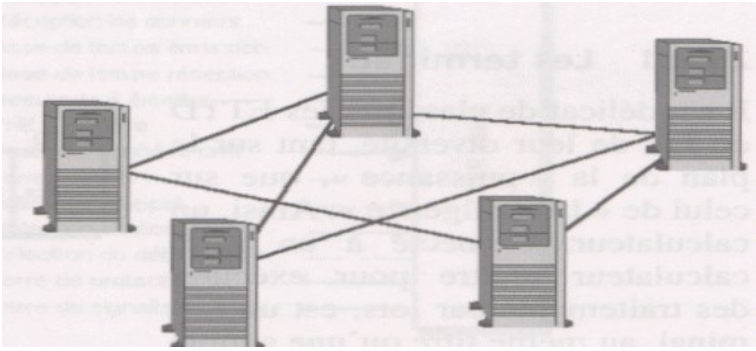


Composé d'une suite de liaisons point à point, ce type de réseau en boucle est aussi dit en anneau (*Ring*). L'accès des stations au réseau en anneau est généralement réglementé par le passage d'un « relais » appelé jeton (*Token*). Dans cette configuration, la station n'est autorisée à émettre, que si elle dispose du jeton. Si elle n'a rien à émettre, elle passe le jeton à la suivante… Si elle veut émettre, elle place sur le circuit un en-tête de message, le message et le jeton. Tous les participants au réseau sont à l'écoute, et s'il y a concordance entre l'adresse de la station et l'adresse du destinataire du message, ce dernier copie le message et le réinjecte dans la boucle avec un acquittement. Quand le message revient acquitté à l'émetteur, il est supprimé de la boucle, sinon il continue à circuler un nombre limité de fois. Nous reviendrons sur le principe du jeton lors de l'étude des modes d'accès.

a) Avantages et inconvénients des liaisons en boucle ou anneau

Dans une liaison en anneau, chaque station régénère le signal avant de passer le relais à la suivante. Il s'agit ici d'une topologie active. En théorie, dans la mesure ou jeton et trames de données passent de machine en machine, le fait qu'un ordinateur de l'anneau tombe en panne interrompt l'anneau. Dans la réalité des mécanismes permettent généralement de court-circuiter le passage dans une machine en panne et de considérer qu'il s'agit simplement d'un tronçon plus long.

23.1.4 Réseau maillé



« Topologie Maillée »

Constitué d'une série de liaisons point à point reliant divers ETTD, ce type de réseau est dit plus ou moins fortement maillé selon le nombre de relations établies.
En général, de telles configurations sont réservées à la connexion d'ordinateurs entre eux, ainsi les ordinateurs du réseau Transpac sont disposés en configuration fortement maillée (les voies sont même doublées par sécurité).

23.1.5 Critères de choix de topologie

Choisir une topologie de réseau dépend de nombreux critères différents et chacune offre avantages et inconvénients. On peut aussi faire la distinction entre topologie « logique » telle qu'elle est exploitée par le réseau et topologie « physique » parfois dite topographie - telle que vue par l'utilisateur. Ainsi, des stations reliées physiquement sur un point central de type MAU (*Multi-station Access Units*) semblent former une topographie étoile alors que la topologie réelle est un anneau, le MAU jouant, en effet, le rôle de l'anneau. Il en va de même pour le concentrateur ou Hub qui présente une topographie en étoile alors que la topologie peut être considérée comme étant un bus. Souvent la topologie reconnue correspond en fait à la topographie.

CRITÈRES DE CHOIX DE LA TOPOLOGIE

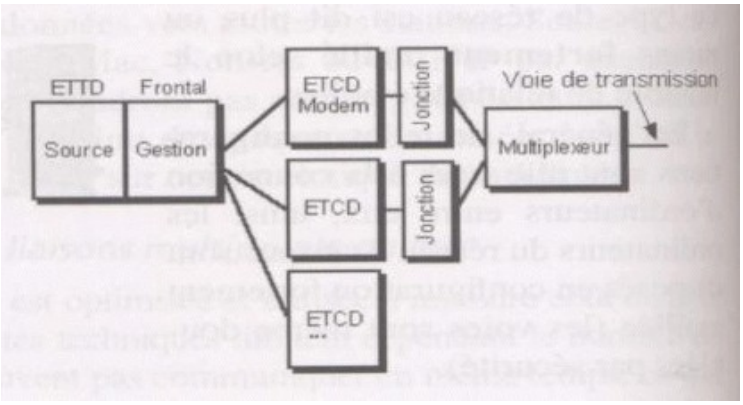
Topologie	Avantages	Inconvénients
Bus	– Économie de câble – Mise en œuvre facile – Simple et fiable – Facile à étendre	– Ralentissement du trafic en cas de nombreuses stations – Problèmes difficiles à isoler – Une coupure de câble affecte de nombreux utilisateurs
Anneau	– Accès égalitaire de toutes les stations – Performances régulières même avec un grand nombre de stations	– Une panne d'ordinateur peut affecter l'anneau – Problèmes difficiles à isoler – La reconfiguration du réseau peut interrompre son fonctionnement
Étoile	– Ajouts de stations facile – Surveillance et gestion centralisée – Une panne d'ordinateur est sans incidence sur le réseau	– Si le site central tombe en panne tout le réseau est mis hors service

23.2 ELEMENTS CONSTITUTIFS DES RESEAUX

La réalisation physique d'un réseau nécessite un nombre important d'appareillages, plus ou moins complexes, dont nous allons étudier rapidement le rôle et la constitution.

23.2.1 Les terminaux

Il est délicat de classifier les ETTD du fait de leur diversité, tant sur le plan de la « puissance », que sur celui de « l'intelligence ». Ainsi, un calculateur, connecté à un autre calculateur maître pour exécuter des traitements par lots, est un terminal, au même titre qu'une simple console utilisée en interrogation.



En règle générale, on parlera de terminal lourd ou terminal intelligent s'il est capable d'effectuer des traitements sur les informations reçues, et de terminal léger s'il ne peut, par exemple, faire que de la saisie ou de l'émission d'information.

Le frontal est un équipement (souvent un ordinateur spécialisé) placé entre le réseau et l'ETTD. II prend en charge les divers protocoles à mettre en oeuvre sur le réseau ainsi que la gestion des divers ETCD et la répartition des transmissions vers les divers interlocuteurs.

23.2.2 Les interfaces de connexion normalisées ou jonctions

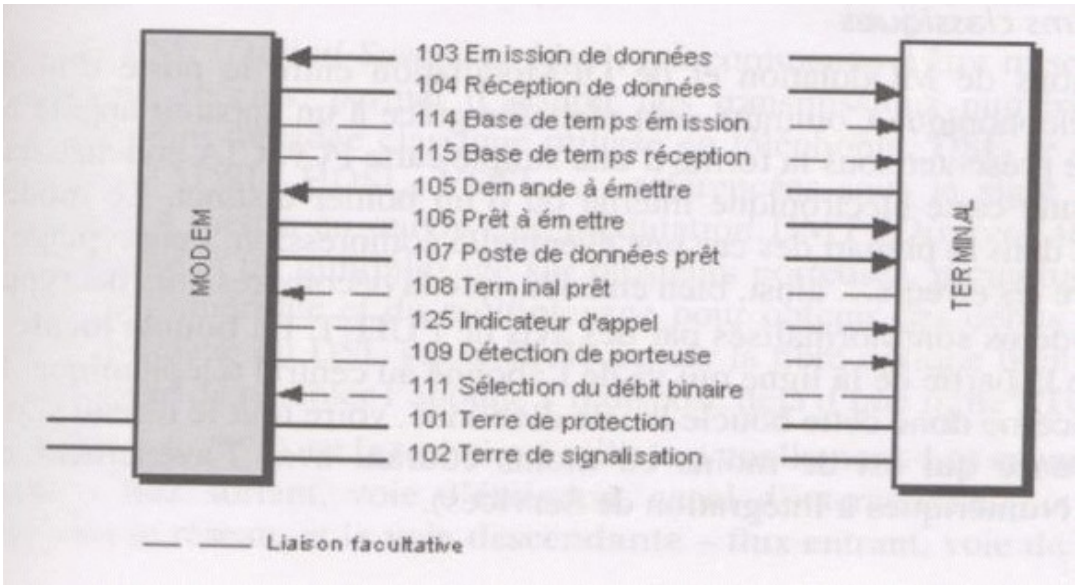
Pour mettre l'ETTD en relation avec l'ETCD, il est nécessaire d'établir une connexion qui puisse relier les constituants physiques du réseau et notamment le modem ou la carte réseau avec le câble. Les connexions les plus répandues sont :

- DB25 ou RS232C - Avis V24 ou port série
- DB 15 et DB9
- RJ 11 et RJ45
- BNC

Ces jonctions font l'objet, de la part de FUIT (Union Internationale des Télécommunications) - anciennement CCITT (Comité Consultatif International pour le Télégraphe et le Téléphone), de règles de normalisation qui portent le nom d'avis.

a) Connexion DB25 – RS232C ou avis V24

Normalisée par l'avis V24, connue sous son nom américain de jonction RS232C, de connecteur DB25 (*Data Bus* - 25 broches) ou bien de port série, cette connexion repose sur l'utilisation de circuits physiques distincts matérialisant commande ou signalisation. La connexion entre l'ETTD et l'ETCD est réalisée au moyen d'un câble électrique (d'une longueur maximale de 100 mètres), enfermant autant de fils qu'il y a de circuits. Le connecteur, situé en bout de câble, a aussi été normalisé par l'ISO ; le plus courant comprend 25 broches. Il est connu sous le nom de prise Canon 25 points, connecteur DB25, sortie série RS232C ou connecteur V24.

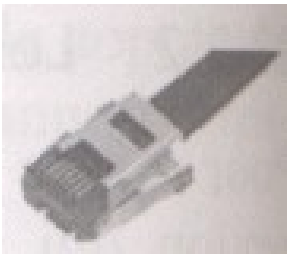


b) Connexion DB 15 et DB9

Les connecteurs DB 15 (*Data Bus* - 15 broches) ou interface IEEE 802.3 sont utilisés pour relier des stations de travail à une dorsale Ethernet. Le connecteur DB9 utilisé pour le port série ou comme connecteur Token-Ring, ressemble sensiblement au connecteur DB 15 comme au connecteur DB25, si ce n'est le nombre de broches qui passe à 9. II existe également des adaptateurs DB9-DB25.

c) Connexions RJ11 et RJ45

Dans les réseaux locaux, ou pour relier le modem à la voie téléphonique, on peut rencontrer d'autres connecteurs tels que le connecteur RJ11 utilisé essentiellement en téléphonie et surtout le connecteur RJ45 - légèrement plus grand que le RJ11 de manière à ne pas pouvoir être utilisé sur une ligne téléphonique. Le RJ45 comporte 8 connecteurs (4 paires) alors que le RJ11 n'utilise que 4 ou 6 broches. Selon les type de câble auquel il est associé, le connecteur RJ45 peut être blindé ou non blindé. À noter que sur les 4 paires de fils reliées au connecteur Ethernet peut n'utiliser que 2 paires. Avec Ethernet Gigabits on utilise les 4 paires.



d) Connexions BNC

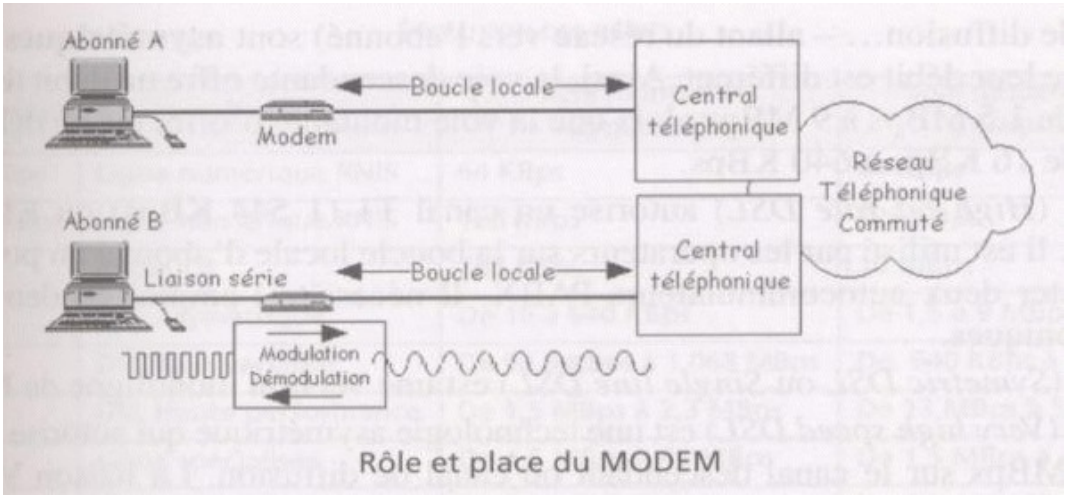
Les connecteurs BNC (*British Naval Connector*) servent à connecter des câbles coaxiaux. Ils se présentent la plupart du temps sous la forme de connecteurs sertis (rabattre ensemble les bords de deux pièces, ou le bord d'une pièce contre celui d'une autre, afin de les fixer) ou soudés à l'extrémité d'un câble coaxial fin ou épais, de connecteurs en T servant à relier deux segments de câble à une carte ou de terminaison - bouchon de charge - servant à éviter les phénomènes de rebond de signaux en extrémité de câble (Réflexion de signaux avec rayon incident « émis » et rayon réfléchi « réflexion »).

23.2.3 Modems

Ainsi que nous l'avons vu dans la partie consacrée à la théorie du signal, il est encore nécessaire, à l'heure actuelle, de transformer le signal numérique issu de l'ETTD en un signal analogique transmis sur la ligne et inversement.

a) Modems classiques

Les fonctions de MOdulation et de DEModulation entre le poste d'abonné et le Réseau Téléphonique Commuté sont réalisées grâce à un appareil appelé MODEM, qui peut se présenter sous la forme d'une simple carte PCMCIA enfichée dans l'ordinateur, d'une carte électronique interne ou d'un boîtier distinct. Le modem assure également dans la plupart des cas une éventuelle compression, l'encryptage et le contrôle contre les erreurs... ainsi, bien entendu, que la décompression, décryptage, ...
Les modems sont normalisés par des avis de l'UIT-T. La boucle locale d'abonné représente la partie de la ligne qui va de l'abonné au central téléphonique. La modulation concerne donc cette boucle locale d'abonné, voire tout le réseau si on reste en analogique ce qui est de moins en moins courant avec l'avènement des RNIS (Réseaux Numériques à Intégration de Services).



Rôle et place du MODEM

Depuis quelques années, les débits binaires offerts par les modems ont beaucoup évolué – un modem 56 000 Bps est actuellement courant. Avec la mise en oeuvre des techniques de compression on peut atteindre, selon certains fabricants, un débit de 768 KBits/s (attention, il faut, dans ce cas, que les modems situés à chaque extrémité de la ligne répondent aux mêmes caractéristiques). Dans la mesure ou ils respectent les avis de l'UIT-T cela ne pose en principe pas de problème mais il peut en être tout autrement dans le cas contraire.

Les modems continuent à évoluer grâce aux nouvelles technologies telles que les modems vocaux, modem xDSL, modems câbles, ...

b) Modems vocaux

Ces modems sont capables d'intégrer voix et données et notamment de numériser et compresser la voix. Ils permettent, grâce aux techniques du DSVD (*Digital Simultaneous Voice and Data*) ou ASVD (*Analogie SVD*), de transformer un micro-ordinateur en répondeur-enregistreur, serveur vocal interrogeable à distance, gestionnaire de fax... Ainsi, un modem DSVD V34 utilisera 4 800 Bps pour transmettre de la voix et 24 400 Bps pour transmettre, simultanément, des données.

c) Modems DSL

La technologie DSL (*Digital Suscriber Line*), qui commence à être mise en oeuvre dans les modems récents, permet d'assurer des transmissions numériques haut débit, sur de la paire torsadée classique utilisée en téléphonie. DSL se décline en diverses versions ADSL, HDSL, VDSL, ... référencées sous le sigle xDSL. Le principe consiste à mettre en oeuvre une modulation DMT (*Discrete Multi-Tone*) par échantillonnage et un multiplexage sur plusieurs porteuses, permettant d'allier les avantages du numérique et du multiplexage pour obtenir des débits atteignant 60 MBits/s. L'avantage du DSL sur le RNIS ou sur la fibre optique tient à ce qu'il

n'est pas nécessaire de recâbler l'abonné s'il dispose déjà d'une ligne RTC.

- ADSL (*Asymetric DSL*) est la technique utilisée actuellement. Les canaux (la voie montante - flux sortant, voie d'émission, canal d'interactivité... - allant de l'abonné vers le réseau, et la voie descendante - flux entrant, voie de réception, canal de diffusion... - allant du réseau vers l'abonné) sont asymétriques c'est-à-dire que leur débit est différent. Ainsi, la voie descendante offre un débit théorique allant de 1.5 MBps à 9 MBps alors que la voie montante n'offre qu'un débit théorique de 16 KBps à 640 KBps.

- HDSL (*High bit rate DSL*) autorise un canal T1 (1 544 KBps) ou E1 (2 048 KBps). Il est utilisé par les opérateurs sur la boucle locale d'abonné ou pour interconnecter deux autocommutateurs PABX (*Private Auto-Branch Exchange* = Commutateur privé de l'entreprise). Il nécessite l'emploi de deux paires téléphoniques.

- SDSL (*Symetric DSL* ou *Single line DSL*) est une version monoligne de HDSL.

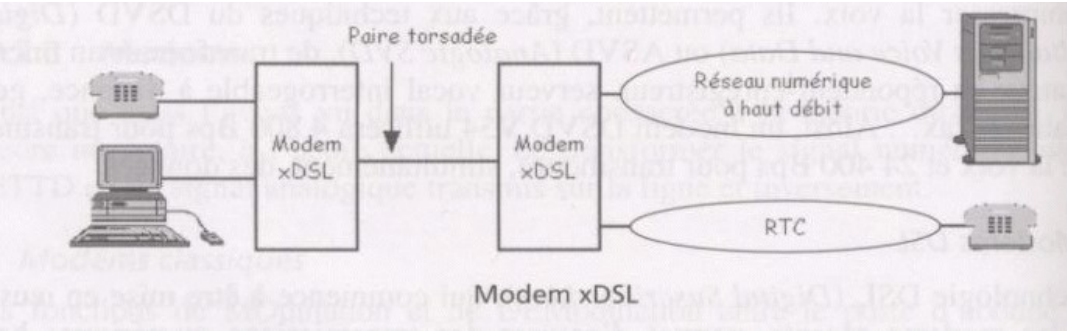
- VDSL (*Very High speed DSL*) est une technologie asymétrique qui autorise un débit de 60 MBps sur le canal descendant ou canal de diffusion. La liaison VDSL se subdivise en 2 048 porteuses que l'on peut allouer à l'utilisateur selon les besoins.

- RADSL (*Rate Adaptive DSL*) ou RDSL offre la particularité de mettre en œuvre des mécanismes de replis permettant l'adaptation du débit aux caractéristiques physiques du canal.

Avec DSL deux modes de modulation peuvent être employés : CAP et DMT.

- CAP (*Carrierless Amplitude and Phase modulation*) utilise une modulation d'amplitude à deux porteuses en quadrature ou QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) avec suppression de la porteuse.

- DMT (*Discrete Multi Tone*) divise chacune des plages de fréquence haut débit en sous-canaux - porteuses ou tonalités - espacés de 4,3 KHz. Chaque sous-canal modulé en phase et en amplitude constitue un symbole DMT permettant de coder 8 bits sur un temps d'horloge.



d) Modems câble

Les modems câble sont destinés à utiliser les réseaux câblés de télévision pour faire communiquer les systèmes. Le gros avantage tient au fait que le modem n'a plus besoin d'être normalisé car les informations ne circulent plus sur des voies publiques, comme avec le téléphone, mais sur des voies privées.

L'autre avantage important du modem câble est le débit de 4 MBps que peut offrir le câble qui est de type coaxial, offrant donc une large bande passante d'environ 500 MHz, ce qui laisse loin derrière les 128 KBps que l'on peut atteindre avec deux voies Numéris ! Certains modems câbles offrent actuellement des débits théoriques de 768 KBps/s à l'émission et de 10 à 30 MBits/s en réception.

ÉVOLUTION DES DÉBITS

Technologie	Type	Voie montante (émission)	Voie descendante (réception)
DSL 64 KBps	Ligne numérique RNIS	64 KBps	64 KBps
DSL 128 KBps	Ligne numérique RNIS	128 KBps	128 KBps
Câble	Câble TV	768 KBps	10 MBps
ADSL	DSL Asymétrique	De 16 à 640 KBps	De 1,5 à 9 MBps
RADSL	DSL Taux variable	De 90,6 KBps à 1,088 MBps	De 640 KBps à 7,2 MBps
VDSL	DSL Haute performance	De 1,5 MBps à 2,3 MBps	De 13 MBps à 52 MBps
T1 à T3	Ligne spécialisée	De 1,5 MBps à 45 MBps	De 1,5 MBps à 45 MBps
E1 à E4	Ligne spécialisée	De 2 à 140 MBps	De 2 à 140 MBps

L'usage des modems câble comme point d'entrée Internet est en train de se répandre dans les agglomérations disposant de réseaux câblés. Il faut cependant rester conscient que le fait de disposer d'un tel modem – disons à 10 Mbits/s – ne va rien changer en terme de rapidité si l'interlocuteur ne dispose que d'un simple modem à 33 600 bits/s.

LES PRINCIPAUX AVIS DU CCITT

AVIS	Débit	Réseau	4 Fils	2 Fils
V23 (Minitel)	1 200 / 600 75 / 1 200 Bauds	RTC / LS	Full	Half/Full
V24	Sortie RS232C série asynchrone			
V25 V25 bis	Numérotation automatique Appel ou réponse automatique			
V28	Caractéristiques des signaux (tension...)			
V29	9 600 / 7 200 / 4 800 Bps	LS	Full	Half
V32	9 600 / 4 800 / 2 400 Bps	RTC / LS		Full
V32 bis	14 400 Bps	RTC / LS		Full
V33	14 400 / 12 200 Bps	LS		Full
V34 (Vfast)	28 800 Bps	RTC / LS		Full
V34 bis	33 600 Bps	RTC / LS		Full
V54	Boucle de test			
V90	33 600 / 56 000 Bps (1)	RTC / LS		Full

Half : Half-Duplex ou Bidirectionnel à l'alternat
Full : Full-Duplex ou Bidirectionnel simultané
(1) voie montante / voie descendante

23.2.4 Les voies de transmission

Matériellement, les divers équipements que nous venons de décrire sont reliés entre eux par des lignes métalliques, des lignes coaxiales, des fibres optiques, des liaisons hertziennes, des liaisons radioélectriques, …

a) Les lignes métalliques

Les lignes métalliques, ou câbles à quarte, sont généralement utilisées pour constituer des lignes d'abonnés (boucle locale d'abonné) et entre centraux urbains. Les fils sont groupés par paires, torsadées afin d'éviter les phénomènes de capacité parasite.

Ces câbles peuvent être regroupés en multipaires - jusqu'à plus de 2 600 paires, Ils sont bon marché et de ce fait très employés sur la boucle locale (le fil de téléphone qui va de chez vous au central) - mais sujets à la diaphonie. La ligne de cuivre permet d'atteindre une bande passante proche des 1,1 MHz ; or en téléphonie classique seule la bande 0 à 4 KHz est utilisée. Des technologies comme xDSL permettent à présent d'exploiter au mieux la bande passante disponible.

b) La paire torsadée

La paire torsadée est le média le plus employé actuellement en réseau local du fait de son faible coût. Elle est en fait constituée de fils de cuivre (2 ou 4 paires de fils par câble), tels qu'utilisés en téléphonie. En ce qui concerne les réseaux locaux, cette paire torsadée se présente en général sous deux formes :

- paire torsadée non blindée UTP (*Unshielded Twisted Pair*),
- paire torsadée blindée STP (*Shielded Twisted Pair*).

➢ Paire torsadée non blindée (UTP)

Le câble UTP (*Unshielded Twisted Pair*) respectant la spécification (la norme de réseau local) 10BaseT (« 10 » pour 10 Mbits/s, « Base » pour codage en bande de base, et « T » pour paire torsadée) est un type de paire torsadée très employé en réseau local. Théoriquement le segment UTP peut atteindre 100 mètres. Selon le nombre de torsades par pied de long, le câble UTP va appartenir à l'une des catégories suivantes :

- Catégorie 1 : c'est le traditionnel fil téléphonique, prévu pour transmettre la voix mais pas les données.

- Catégorie 2 : autorise la transmission des données à un débit maximum de 4 MBps. Il contient 4 paires torsadées.

- Catégorie 3 : peut transmettre des données à un débit maximum de 10 MBps. II contient 4 paires torsadées à 3 torsions par pied. Il convient aux réseaux Ethernet 10 MBps et est aussi appelé l0BaseT car il était très employé sur ce type de réseau.

- Catégorie 4 : peut transmettre des données à un débit maximum de 16 MBps. Il contient 4 paires torsadées. Il est utilisé avec des réseaux Token Ring à 16 MBps.

- Catégorie 5 : peut transmettre des données à un débit pouvant atteindre 1 000 MBps. Dit aussi appelé 100Base-T car il est employé sur ce type de réseau, il contient 4 paires torsadées. Il est utilisable en 10BaseT, 100Base-T, ainsi que pour les derniers réseaux Ethernet à 1 000 MBps.

Les catégories 3 (anciennes) et 5 sont les plus employées actuellement.

Les futurs câblages de catégorie 5, 5+ ou 5^E (*Enhanced*), 6, 7 et 8 sont déjà à l'étude auprès de l'ISO-IEC (*International Electrotechnic Commission*). Les catégories 6A et 6B permettraient d'atteindre des fréquences de 200 MHz, la catégorie 7 est prévue pour des fréquences de 600 MHz et la catégorie 8 supporterait 1 GHz. Ces fréquences permettraient d'atteindre de hauts débits sur du cuivre, sachant que le débit ne dépend pas uniquement de la fréquence mais également du codage (Manchester, MLT3, ...). Ainsi *Fast* Ethernet à 100 MBps nécessite une bande de fréquences de 62,5 MHz en codage NRZE et de seulement 31,25 MHz en codage MLT3 (On joue ici sur la notion de spectre, à travers des codages).
Le connecteur utilisé sur la paire torsadée traditionnelle est en général du type RJ45. Par contre les nouvelles catégories posent encore quelques problèmes de connecteurs. On hésite ainsi entre des connecteurs propriétaires tels que le mini C d'IBM, des connecteurs hermaphrodites (deux sexes) de type Gigascore ou des RJ45 munis de broches complémentaires GC45 (femelle) et GP45 (mâle).

➢ Paire torsadée blindée (STP)

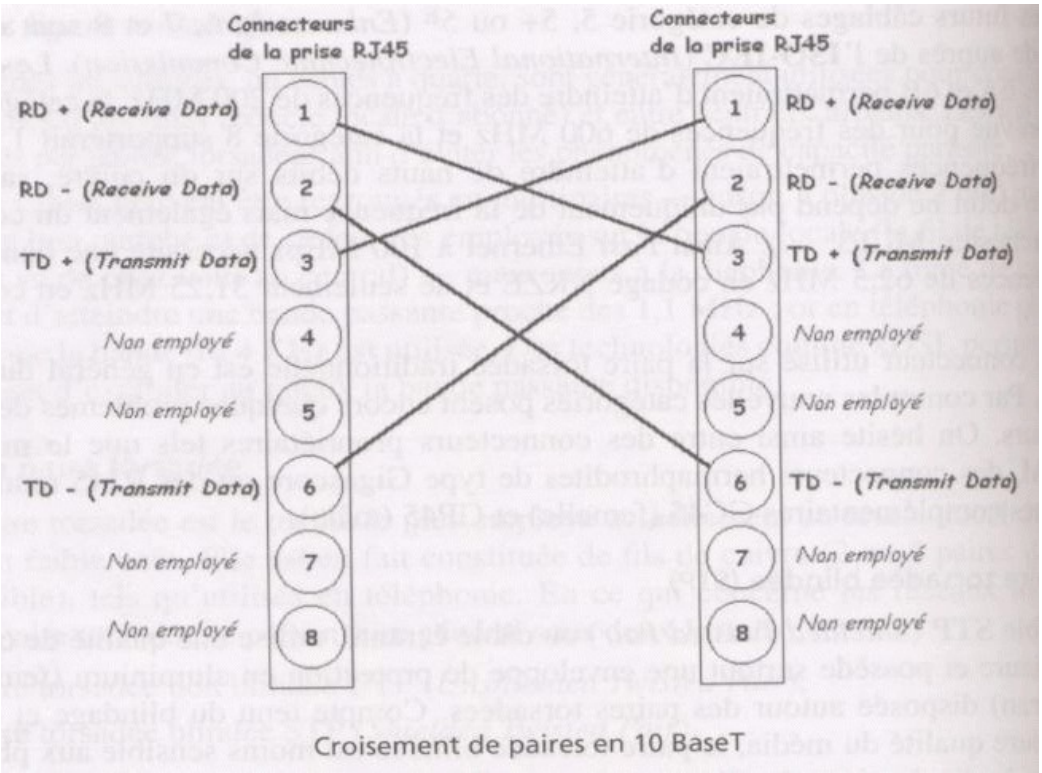
Le câble STP (*Shielded Twisted Pair*) ou câble écranté, utilise une qualité de cuivre supérieure et possède surtout une enveloppe de protection en aluminium (feuillard ou écran) disposée autour des paires torsadées. Compte tenu du blindage et de la meilleure qualité du média, la paire torsadée blindée est moins sensible aux phénomènes de diaphonie entre fils et moins sensible aux parasites extérieurs. Elle peut assurer le transport des données avec un débit plus important et sur des longueurs théoriquement plus importantes. Le câble STP est toutefois plus onéreux que le câble UTP. On rencontre également, au lieu de STP, les termes de FTP (*Foiled Twisted Pair*) ou SUTP (*Screened Unshielded Twisted Pair*), dit également « câble écranté ».

Les paires torsadées possèdent donc 8 fils repérés par leur couleur. Ce repérage est différent selon qu'il s'agit de catégorie 3 (10 MBps) ou de catégorie 5 (100 MBps). Dans le cas d'un câble blindé un « drain » métallique sera mis en contact avec la partie métallique de la fiche RJ45.

BROCHAGE DES CÂBLES DE CATÉGORIE 3 ET CATÉGORIE 5

	1	2	3	4	5	6	7	8
Catégorie 3	Incolore	Bleu	Gris	Orange	Jaune	Blanc	Violet	Marron
Catégorie 5	Blanc/ Vert	Vert	Blanc/ Orange	Bleu	Blanc/ Bleu	Orange	Blanc/ Marron	Marron

En Ethernet 10 Base-T la liaison en paire torsadée n'utilise que deux paires de fils (4 paires en 100 BaseT4). Une paire à l'émission et une autre à la réception. Bien entendu, l'émission des signaux d'une station doit arriver sur la réception de l'autre. Ce croisement de fils entre émission et réception est normalement effectué par le concentrateur, HUB, ou par un autre équipement du même type et il n'est donc en principe pas possible de relier directement deux adaptateurs réseau à l'aide d'un simple fil, sauf à croiser volontairement les fils émission et réception.

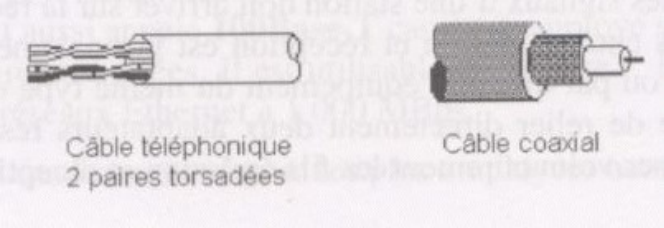


Croisement de paires en 10 BaseT

Avec certains commutateurs, les câbles peuvent être utilisés en agrégation de liens (*port trunking*), c'est-à-dire que l'on va en mettre plusieurs, en parallèle, pour faire passer plus de données à la fois et donc augmenter les débits. Cette technique se rencontre sur des réseaux locaux de type Ethernet ou ATM et présente l'avantage de la sécurité puisque, si un lien est rompu - coupure de fil, connexion défectueuse... - les données continuent à circuler sur les liens restants, à un débit moindre bien entendu.

c) Les lignes coaxiales

Utilisées dans les transmissions à grande distance les lignes coaxiales sont constituées de deux conducteurs cylindriques de même axe séparés par un isolant. Elles permettent de faire passer des fréquences allant jusqu'à plus de 500 MHz. Le débit supporté n'excédant généralement pas les 10 MBps. Le conducteur extérieur sert de blindage au conducteur intérieur, elles sont donc moins sensibles aux parasites. Il existe deux types de câbles coaxiaux câble coaxial fin (*Thinnet*) et câble coaxial épais (*Thicknet*). Le câble coaxial ressemble en fait à celui utilisé avec les postes de télévision.



➢ **Câble coaxial fin**

Le câble coaxial fin (*Thinnet*), également connu, comme 10Base-2, du nom de la norme Ethernet où il est utilisé, mesure environ 6 mm de diamètre. Il est donc relativement souple et peut être utilisé dans de nombreux cas. En réseau local un câble coaxial fin permet de transporter les données sur une distance pouvant atteindre 185 mètres avant que le signal ne soit soumis à un phénomène d'atténuation. Il existe différentes catégories de coaxial fin :

- RG-58 /IJ : il comporte un brin central monofibre en cuivre. C'est sans doute le plus utilisé,
- RG-58 A/LT : Il comporte un brin central torsadé ce qui lui donne plus de souplesse mais en augmente le prix,
- RG-58 C/U : Il s'agit de la spécification militaire du RG-58 A/U,
- RG-59 : utilisé en transmission à large bande telle que la télévision par câble,
- RG-6 : Il est d'un diamètre plus large que le RG-59 et est conseillé pour des transmissions à large bande (modulation) ou des fréquences plus élevées,
- RG-62 : il est en principe utilisé par des réseaux particuliers ArcNet.

➢ **Câble coaxial épais**

Le câble coaxial épais (*Thicknet*) est également connu comme 10Base-5, du nom de la norme Ethernet où il est utilisé, ou encore sous l'appellation de standard Ethernet car c'est le premier type de câble utilisé par les réseaux

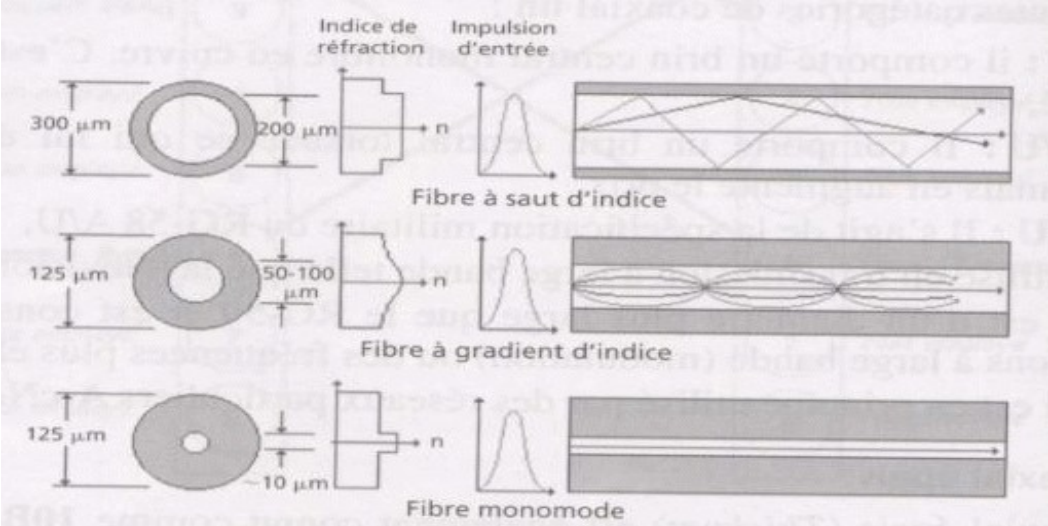
de type Ethernet. On le connaît parfois encore comme « câble jaune » du fait de la couleur employée au départ.
Son diamètre est d'environ 12 mm. Il est de ce fait moins souple que le coaxial fin mais permet d'atteindre des débits et des distances plus importantes puisque la longueur du brin peut être de 500 mètres avant que ne se fasse sentir le phénomène d'atténuation. Il est souvent utilisé comme épine dorsale (*backbone*) pour interconnecter plusieurs réseaux de moindre importance. Toutefois le coaxial épais est plus cher que le fin.

d) La fibre optique

La fibre optique est constituée d'un brin central en fibre de verre - GOF (*Glass Optic Fiber*) - ou en plastique - POF (*Polymer Optic Fiber*) -, extrêmement fin et entouré d'une gaine protectrice. Chaque fibre est gainée de plastique de manière à l'isoler des autres.

Elle permet de réaliser des liaisons à très grande distance et offre l'avantage d'être insensible à un environnement électrique ou magnétique. Elle est d'un diamètre très faible et permet de faire passer des fréquences très élevées.

Quoique d'un prix de revient très bas, elle est techniquement encore assez difficile à mettre en oeuvre et son utilisation est de ce fait encore limitée au niveau des réseaux.
Les fibres optiques, anciennement référencées FOIRL (*Fiber Optic Interrepeater Link*) sont dorénavant normalisées par le comité IEEE 802.3 sous le standard 10Base-F. Elles permettent de réaliser des liaisons à grande distance et offrent l'avantage d'être pratiquement insensibles à un environnement électrique ou magnétique.



Les fibres peuvent être de divers types, selon la façon dont circule le flux lumineux. Si le flux ne peut suivre qu'un seul trajet la fibre est dite monomode tandis que si le flux peut emprunter divers trajets elle est dite multimode.

La fibre à saut d'indice est une fibre multimode constituée d'un coeur et d'une gaine optique en verre dont les indices de réfraction sont différents. Du fait de l'importante section du coeur, cette fibre pèche par une grande dispersion des signaux la traversant, ce qui génère une déformation du signal reçu.

La fibre à gradient d'indice est une fibre multimode constituée d'un coeur composé de couches de verre successives ayant un indice de réfraction proche. On s'approche ainsi d'une égalisation des temps de propagation, ce qui veut dire que l'on a réduit la dispersion. Ainsi une fibre 62,5/125 présente un cour de 62,5 microns pour un diamètre total de 125 microns.

La fibre monomode, plus performante, se caractérise par une moindre atténuation. Le coeur de la fibre est si fin que le chemin de propagation des ondes lumineuses est pratiquement direct et la dispersion quasiment nulle. La bande passante transmise est presque infinie (> 10 GHz/km). Le très faible diamètre du coeur (10 µ) nécessite toutefois une grande puissance d'émission, donc des diodes au laser onéreuses. L'affaiblissement de la lumière dans une fibre - fonction de la longueur d'onde de la source - se mesure en nanomètres (nM). Elle est constante pour toutes les fréquences du signal utile transmis. Plus la longueur d'onde est faible et plus l'affaiblissement du signal est important. Le transceiver optique est le composant qui convertit les signaux électriques en signaux optiques véhiculés par la fibre. À l'intérieur des deux transceivers partenaires, les signaux électriques seront traduits en impulsions optiques par une LED et lus par un phototransistor ou une photodiode. On utilise, en général, une fibre à l'émission et une fibre à la réception.

Les émetteurs utilisés sont de trois types :

- Les LED (*Light Emitting Diode*) qui émettent dans le rouge visible (850 nM).
Elles sont utilisées dans le standard Ethernet FOIRL.

- Les diodes à infrarouge qui émettent dans le rouge invisible (1 300 nM)
- Les lasers, avec la fibre monomode (longueur d'onde de 1 300 ou 1 550 nM).

Compte tenu de ses performances, la fibre optique peut être mise en place sur des distances atteignant 1 000 kilomètres avec un débit de 1 TBps (CNET, mars 1999). Cependant, les débits utilisés ne sont généralement que de 155 MBps à 622 MBps et les distances d'environ 2 kilomètres, compte tenu des technologies de réseau employées.

La technique de transmission de base est actuellement SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) à 155 MBps : trames STMl (*Synchronous Transfert Mode*). En multiplexant en fréquences on atteint 622 MBps : trames STM4, 2,5 GBps : trames STM16, et 10 GBps.

Avec la technologie de multiplexage en longueur d'onde WDM (*Wave length Division Multiplexing*) on atteint 1000 GBps en combinant 16 trames SDH. Chaque longueur d'onde étant séparée de la suivante d'un pas de 0,8 manomètre. Cette technologie nécessite, pour multiplexer ou démultiplexer ces longueurs d'onde, l'emploi de composants particuliers destinés à filtrer la lumière. La technique classique utilise un support transparent où sont déposées de très fines couches de matériaux dont les indices de propagation de la lumière sont différents. Une nouvelle solution exploite les « réseaux de Bragg photo-inscrits » qui enregistrent la fonction de filtrage directement au coeur d'une fibre de 10 cm de long. Le signal ne passe plus au travers de substrats différents et reste donc dans la fibre.

DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) correspond à l'évolution actuelle de WDM, il augmente la densité des signaux optiques transmis en associant jusqu'à 160 longueurs d'onde dans la même fibre. On atteint ainsi des débits de 300 à 400 GBps avec une évolution d'ores et déjà prévue à 6,4 TBps.

Actuellement, dans la majorité des cas, chaque fibre ne transmet l'information que dans un seul sens ce qui nécessite l'emploi systématique d'une fibre à l'émission et d'une autre à la réception. On est toutefois en train de réaliser les premiers multiplexages dans les deux sens sur une seule fibre.

Les fibres optiques sont assez délicates à mettre en oeuvre, notamment en ce qui concerne leurs connexions où le moindre défaut peut être fatal. Les connecteurs, jusqu'alors de type « propriétaire », sont en train de se standardiser autour de modèles se rapprochant de la classique prise RJ45. Le modèle proposé par AMP et soutenu par 3Com, CISCO, ... est le MT-RJ, et VF-45 pour la société 3M. Le choix du connecteur est à considérer car il permet de regrouper sur une façade d'équipement de connexion, un maximum d'arrivées contrairement aux traditionnels connecteurs de type Opti-Jack.

La fibre est sensible aux températures, en effet une chaleur excessive dilate la fibre et modifie les caractéristiques de sa bande passante, alors que le froid la fragilise, notamment lors des opérations de pose. Enfin, il faut penser au trajet de la fibre dans le milieu environnant et prendre en compte les éventuels produits chimiques, rongeurs, ... Leur utilisation est donc encore restreinte en ce qui concerne les petits réseaux locaux mais les progrès en connectique et en débits sont très rapides et la fibre gagne du terrain, essentiellement pour interconnecter des équipements distants.

e) Les liaisons par satellites

Apparentées aux voies hertziennes les liaisons satellites permettent d'utiliser pleinement la technique de la diffusion, mais sont encore d'un prix de revient élevé. Elles sont de ce fait réservées à des applications de transmission de données bien particulières même si un usage plus courant commence à se répandre (faisceau réservé à Internet par exemple). On place chez le client une antenne VSAT (*Very Small Aperture Terminal*) qui autorise, selon sa taille, des débits de 144 KBps, 384 KBps et 2 MBps. De nouveaux services VSAT devraient offrir, courant 2 000, des débits allant jusqu'à 24 MBps en voie descendante et 256 KBps en voie montante.

f) Les liaisons infrarouge

La norme 802.11 a mis en place les règles d'exploitation des réseaux sans fil. Une telle liaison sans fil peut être mise en oeuvre par une liaison radio ou une liaison infrarouge. L'émission infrarouge peut se présenter sous deux formes :

- Infrarouge diffus (*Diffused infrared*) où les ondes infrarouges peuvent se refléter sur des surfaces passives telles que mur, sol ou plafond et qui permettent ainsi à un émetteur d'être en relation avec plusieurs récepteurs et,

- Infrarouge en émission directe (*Direct infrared*) où le signal infrarouge est concentré ce qui autorise des liaisons à plus longue distance et à débit plus élevé mais à conditions que les points qui communiquent soient en vis-à-vis.

Théoriquement les liaisons infrarouges assurent des débits allant jusqu'à 10 MBps. Elles trouvent leur intérêt essentiel dans des cas particuliers ou une liaison câble n'est pas facilement envisageable (immeubles en vis-à-vis avec une route entre les deux, ...).

g) Les liaisons hertziennes

Ces liaisons permettent des transmissions de type radio pour des bandes de fréquences allant jusqu'à 11 GHz mais nécessitent une relation à vue entre les émetteurs qui peuvent être espacés de 50 à 100 km.

h) Les liaisons radio pour réseaux locaux

Afin de disposer de souplesse dans l'implantation des réseaux, on est parfois amené à utiliser des liaisons radio. Actuellement la bande de fréquence définie par le standard IEEE 802.11 (de 2,4465 à 2,4835 GHz), permet d'atteindre un débit de 2 MBps et une portée de 15 km. La version IEEE 802.11 b permet de passer au débit théorique de 11 MBps (4,3 MBps efficaces) et d'atteindre 10 km de portée. Ces normes 802.11 et 802.11 b régissent les couches physiques et la couche MAC. Elles sont très proches de la norme 802.3 de l'Ethernet.

Deux technologies de transmission sont concurrentes sur le créneau des 2,4 GHz.

- DS (*Direct Sequence*) ou DSSS (DS *Spread Spectrum*), qui consiste à émettre les données en continu sur un même canal, dans la bande des 2,4 GHz.

- FH (*Frequency Hopping*) ou FHSS (FH *Spread Spectrum*) dite à saut de fréquences qui consiste à émettre les données en changeant sans cesse de canal.
La bande de fréquence (de 2,4465 à 2,4835 GHz) des réseaux locaux sans fil est alors divisée en 37 canaux de 1 MHz.

Les nouvelles normes en préparation - Hiperlan 1 (*High Performance Radio Lan*) défini par l'ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), conforme à la norme 802.11TGb, permettant d'ores et déjà, d'atteindre un débit théorique de 24 MBps en exploitant la bande de fréquence des 5 GHz (de 5,15 à 5,25 GHz) et
Hiperlan 2, devraient permettre d'atteindre des débits de 25, - 54 puis 74 MBps.

i) Les liaisons longue distance

Les 3RD - Réseaux Radioélectriques Réservés aux Données - permettent de se libérer d'une infrastructure figée, rendant l'implantation des terminaux à relier, souple, non figée, voire mobile. Les liaisons radio seront donc de plus en plus employées dans les réseaux du futur, notamment avec le développement des « mobiles ». Ainsi GSM (*Global Service for Mobile Communications*), qui a vu le jour en 1982, permet d'atteindre 12 KBps en utilisant les bandes de fréquences européennes situées autour de 900 MHz, 1 800 MHz et 1 900 MHz (DCS 1 800, DCS 1 900). GSM est une norme européenne de transmission en radiotéléphonie numérique, basée sur un découpage géographique en cellules, utilisant la commutation de circuits à travers l'interface radio. On parle ici de réseau cellulaire.

GSM exploite la technique TDMA (*Time Division Multiple Access*) qui divise chaque porteuse de fréquences utilisée en intervalles de temps très brefs (*slots*) de 0,577 milliseconde. On réalise ainsi un multiplexage de type MRT fixe. Quand un abonné appelle, il compose son numéro et l'appel est transmis par radio vers la station de base - BTS (*Base Terminal Controler*) - qui couvre la cellule la plus proche. Le mobile émettant des paquets d'identification, dès qu'il est sous tension, évite que toutes les BTS aient à le rechercher sur l'ensemble des cellules. La taille des cellules varie selon l'environnement et la bande de fréquence utilisée. Elle va actuellement de 300 m à 35 km de diamètre. L'appel est ensuite relayé vers un multiplexeur - BSC (*Base Station Controler*) - qui va router le message vers son destinataire au travers des commutateurs MSC (*Main Switch Center*) du réseau filaire. Si l'appel est destiné à un autre mobile il sera pris en charge par un BSC puis émis par une station de base.

Une autre norme en vigueur est CDMA (*Code Division Multiple Access*), d'origine américaine et malheureusement incompatible avec GSM.

➢ Evolution

D'autres normes – HSCSD, GPRS et UMTS – sont à l'étude auprès de l'ETSI (*European Telecommunications Standard Institute*) afin d'améliorer les débits en réduisant les coûts, ceci en respectant ou pas l'architecture du réseau GSM. De leur côté les américains penchent pour TDMA.
HSCSD *(High Speed Circuit Switched Data)* vise à obtenir un débit supérieur aux 9,6 KBps actuels, en utilisant plusieurs intervalles temporels (jusqu'à 8) de la trame ARMT, ce qui permettrait d'atteindre un débit théorique de 76,8 KBps (8 * 9,6 KBps). Évidemment on risque alors de monopoliser l'ensemble de la trame pour une seule communication radio ce qui entraînerait une saturation du réseau. Pour pallier ce défaut, il est envisagé de transmettre, lors de l'établissement de la communication, deux paramètres : débit désiré et débit minimal requis. En fonction des disponibilités en ressources de la cellule (IT disponibles) le réseau pourrait attribuer un débit entre ces deux valeurs, s'adaptant à l'évolution des ressources de la cellule, ainsi qu'à celles des cellules traversées. Toutefois HSCSD est en passe d'être détrôné par GPRS.

GPRS *(General Packet Radio Service)* est une évolution technologique de GPS (GPS Phase 2+) utilisant un TDMA statistique et la commutation de paquets. De même qu'avec HSCSD, la transmission sur plusieurs IT (8 par usager) est envisageable, et permet d'atteindre un débit théorique de 158,4 KBps. Toutefois GPRS nécessite d'aménager l'architecture des relais GSM en diminuant la taille des cellules - de 500 m à moins de 2 km. La mobilité de l'abonné étant inversement proportionnelle à la bande passante dont il dispose.

UMTS *(Universal Mobile Telephonv Service)* basé sur CDMA, doit permettre d'atteindre 380 KBps dans un premier temps puis 2 MBps en utilisant la commutation de paquets. Toutefois les bandes de fréquence radio utilisées devraient être différentes de celles employées par TDMA, GSM ou GPRS, ce qui remet en cause l'infrastructure du réseau et risque de freiner sa mise en place.

EDGE *(Enhanced Data for GSM Evolution)* évolution de GSM, autoriserait un débit de 384 KBps, et serait compatible avec TDMA. Basé sur GPRS il reprend les mécanismes du TDMA statistique. Là encore l'infrastructure de réseau doit être remise en cause et les cellules passer à 300 m de portée !

Comme on le constate, les 3RD en sont encore au stade de la recherche d'une normalisation, acceptée par la majorité des constructeurs et des opérateurs.

23.3 TECHNIQUES DE COMMUNICATION

Pour établir une relation il faut faire communiquer physiquement les composants du réseau au moyen de voies de communication (« tuyaux » ou « tubes » de communication) qui peuvent emprunter diverses formes, c'est la commutation.

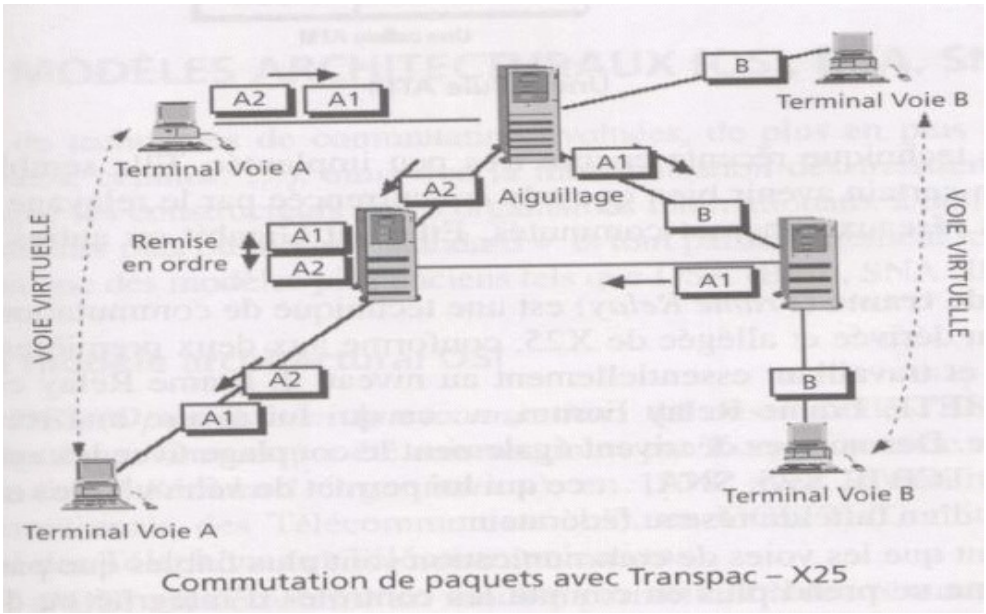
23.3.1 Communication des circuits

La commutation de circuits est la technique la plus simple et la plus ancienne qui consiste à établir, à la demande - et préalablement à l'échange d'informations - le circuit joignant deux stations, par la mise bout à bout de circuits partiels avant la communication (principe du Réseau Téléphonique Commuté). La voie de transmission ainsi établie reste physiquement inchangée tant que les interlocuteurs ne libèrent pas expressément les circuits. Indépendamment du trafic, les interlocuteurs monopolisent toute les ressources employées à établir la connexion (commutateur, ...).

23.3.2 Communication des circuits

La commutation de paquets est une technique employée par le protocole X25 et utilisée par le réseau TRANSPAC. Dérivée de l'ancienne commutation de messages, elle travaille essentiellement au niveau 3 de l'OSI et permet de traiter des entités de faible taille - les paquets - qui ne sont conservées que peu de temps au niveau des commutateurs. Les messages émis par un ETTD sont découpés en morceaux, munis d'informations de service (contrôle d'erreurs, ...) et de l'adresse du destinataire, formant ainsi un paquet. Ces paquets circulent sur la voie logique et sont remis au destinataire mais leur séquencement (leur ordre) n'est pas obligatoirement garanti (cas de TCP/IP).

En cas de rupture d'une voie ou d'encombrement, les ordinateurs du réseau peuvent décider, de faire passer les paquets par des voies différentes, qui ne sont pas forcément les plus directes. De tels réseaux offrent un service dit de Circuits Virtuels assurant une relation logique entre deux ETTD quelles que soient les voies physiques empruntées par les paquets. Ces Circuits Virtuels peuvent être Commutés (CVC), c'est-à-dire établis lors d'une demande de connexion ou, dans certains cas, Permanents (CVP), auquel cas ils sont, comme leur nom l'indique, établis de manière permanente.



Commutation de paquets avec Transpac – X25

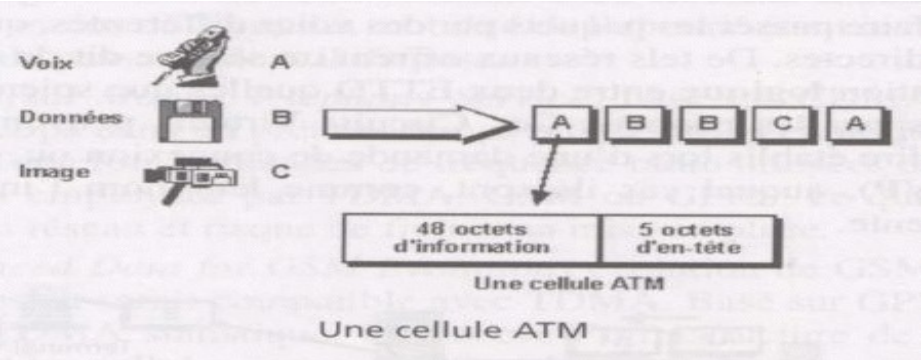
Ce mode de commutation optimise donc l'emploi des ressources puisque les paquets de différentes sources peuvent être multiplexés sur un même chemin.

23.3.3 Communication de cellules et relais de trames

Afin d'optimiser les performances, on recherche toujours de nouvelles techniques. Parmi celles ci on peut distinguer la commutation de cellules et le relais de trames *(Frime Relay)*. Ces techniques reprennent sensiblement les principes de X25 à cette différence qu'on va généralement utiliser des trames de petite taille afin d'améliorer les performances du réseau. De plus on n'ajoute pas de bits supplémentaires de contrôle aux informations ce qui permet de diminuer la taille des trames.

La commutation de cellules est une technique mise en oeuvre dans la technologie ATM *(Asvnchronous Transfert Mode)* - travaillant essentiellement au niveau 2 de l'OSI - qui est basée sur une transmission de paquets de très petite taille et de longueur fixe (53 octets), les cellules. Ces cellules

doivent être capable de transporter aussi bien de la voix que de l'image ou des données informatiques. On est donc obligé de multiplexer les cellules sur une même trame si on ne veut pas que le son arrive désynchronisé par rapport à l'image. ATM permet d'atteindre des débits très importants (plus de 150 MBits/s) avec des temps de commutations très rapides.



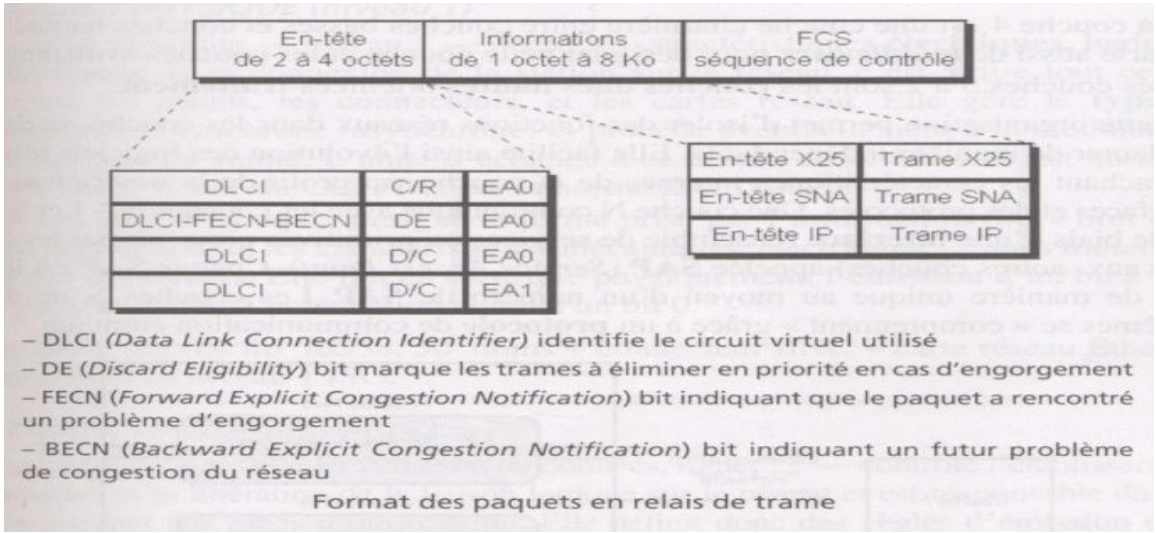
Une cellule ATM

C'est une technique récente encore très peu implantée. Elle semble cependant promise à un certain avenir bien que très concurrencée par le relayage de trame ou l'arrivée des réseaux Ethernet commutés, Ethernet Gigabit ou autres Token Ring Gigabit.

Le relais de trame *(Frame Relay)* est une technique de commutation qui date de 1991, version dérivée et allégée de X25, conforme aux deux premières couches du modèle OSI et travaillant essentiellement au niveau 2. Frame Relay est normalisé ANSI, UIT, IETF, Frame Relay Forum, ... ce qui lui assure une reconnaissance internationale. Des normes décrivent également le couplage avec les autres couches protocolaires TCP/IP, X25, SNA, ... ce qui lui permet de véhiculer les trames de ces protocoles et d'en faire un réseau fédérateur.

Considérant que les voies de communication sont plus fiables que par le passé, le relais de trame ne prend plus en compte les contrôles d'intégrité ou de séquencement des trames, ce qui permet de diminuer le volume de données émis et d'augmenter les débits jusqu'à 45 MBits/s. La longueur de la trame qui peut atteindre 8 Ko est variable et permet d'encapsuler des paquets X25, TCP/IP, ...

Il semble cependant que la technologie du relayage de trames ne soit qu'une technologie intermédiaire permettant d'attendre la standardisation d'ATM et sa montée en charge. Ceci est peut être également dû au fait que France Télécom privilégie X25 et ATM qui sont des techniques françaises alors que le relais de trame est d'origine américaine. Toutefois Transpac propose, depuis 1992, une offre *Frame Relay* basée sur un backbone de commutateurs ATM.



Format des paquets en relais de trame

23.4 TECHNIQUES DE COMMUNICATION

L'apparition de techniques de commutation évoluées, de plus en plus performantes (paquets, trames, cellules, ...), ainsi que la mondialisation des transferts d'informations ont amené les constructeurs et les organismes internationaux à définir des architectures de réseaux plus ou moins « standard » et tout particulièrement le modèle OSI de l'ISO ainsi que des modèles plus anciens tels que DSA (Bull), SNA (IBM), ...

23.4.1 Le modèle architectural OSI

Le modèle OSI *(Open System Interconnection)* dit aussi modèle ISO (Interconnexion de Systèmes Ouverts) a été mis au point par l'organisme de normalisation *ISO (International Standard Organisation),* en 1978, avec le contrôle de l'UIT (Union Internationale des Télécommunications), ex

CCITT (Comité Consultatif International des Téléphones et Télécommunications).

L'objectif d'OSI est de fournir un modèle permettant à des réseaux hétérogènes de communiquer. L'élaboration de cette norme, a rencontré beaucoup de difficultés dues à l'existence de standards de fait comme TCP/IP, ou propriétaires comme SNA de IBM. Cette norme a été reprise en 1984 et a permis de faciliter les travaux d'inter-connexion de matériels supportant des normes différentes... On est cependant encore loin de la notion de système ouvert et la norme est loin d'être toujours respectée...

Le modèle OSI repose sur trois termes importants : les couches, les protocoles et les interfaces normalisées.

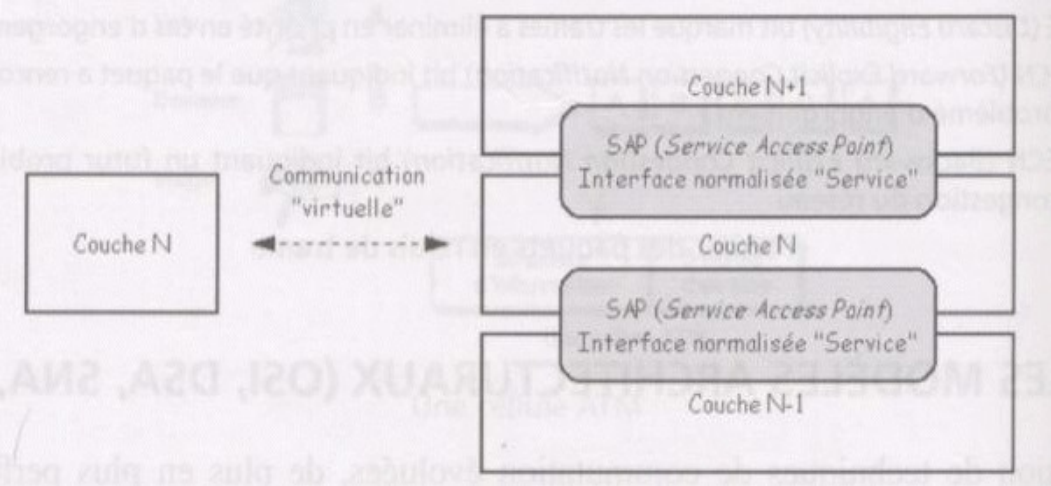
Le modèle OSI est composé de sept couches :

- Les couches 1 à 3 sont les couches dites basses orientées transmission,

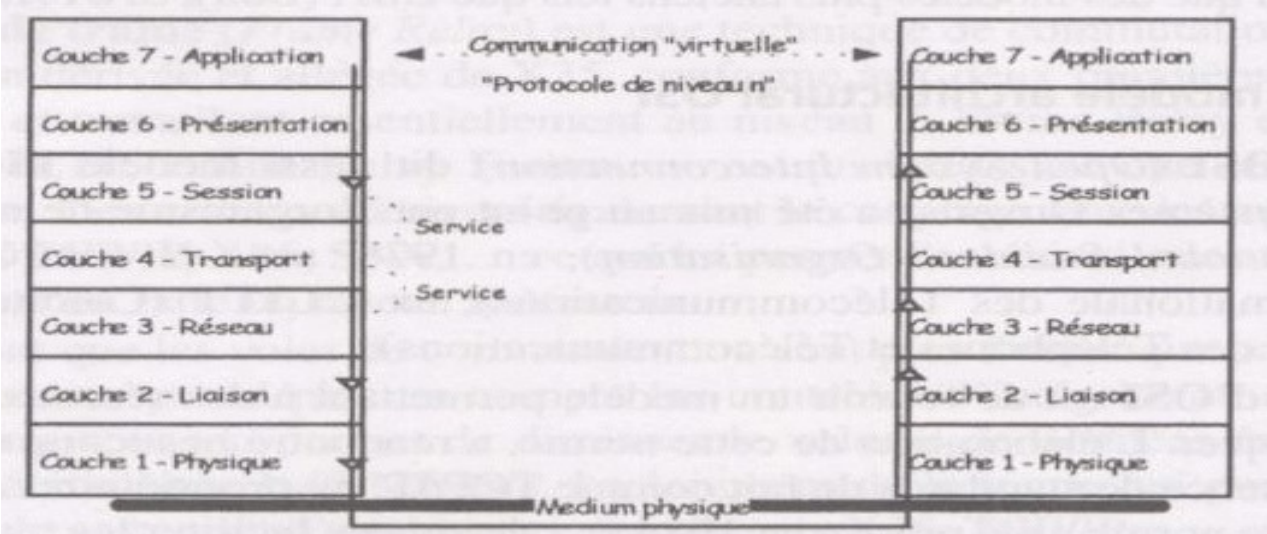
- La couche 4 est une couche charnière entre couches basses et couches hautes. On parle aussi de *middleware* pour désigner cette couche et les couches avoisinantes,

- Les couches 5 à 7 sont les couches dites hautes orientées traitement.

Cette organisation permet d'isoler des fonctions réseaux dans les couches et de les implanter de manière indépendante. Elle facilite ainsi l'évolution des logiciels réseau, en cachant les caractéristiques internes de la couche, au profit de la description des interfaces et des protocoles. Une couche N communique avec les couches N - 1 et N + 1 par le biais d'une interface (ensemble de services ou primitives proposés par les couches aux autres couches) appelée SAP *(Service Access Point).* Chaque SAP est identifié de manière unique au moyen d'un numéro de SAP. Les couches N de deux systèmes se « comprennent » grâce à un protocole de communication commun.



Le modèle OSI normalise, de manière conceptuelle (sans imposer de règles physiques), une architecture de réseau en couches (ISO 7 couches) attribuant à chaque couche du réseau un rôle particulier.



Le modèle ISO 7 couches

Les protocoles utilisés en transmission de données font souvent référence à tout ou partie de ce modèle. Chaque couche indépendante échange des informations avec les couches voisines sans se préoccuper de ce qui se passe dans ces autres couches.
Le média (qui peut être considéré comme un niveau 0) désigne le support physique de la transmission (cuivre, libre optique...).

a) Couche PHYSIQUE (niveau 1)

La couche physique - niveau I - décrit les caractéristiques électriques, logiques et physiques de la connexion de la station sur le réseau, c'est-à-dire tout ce qui concerne les câbles, les connecteurs, et les cartes réseau. Elle gère le type de transmission (synchrone /asynchrone) et procède éventuellement à la modulation/ démodulation du signal. L'unité d'échange à ce niveau est le bit. Elle est normalisée par l'avis X.211 du CCITT et par la norme ISO 10022.
Le niveau 1 (Physique) désigne la forme prise par l'information (bit « brut » ou signal analogique) et les caractéristiques mécaniques, électriques, ... sans traitement explicite des erreurs. Elle fait en sorte que physiquement, l'émission d'un bit à 1 ne soit pas considérée à la réception comme un bit 0.
Le câble coaxial fin RG58, 50 ohms + connecteur BNC + carte réseau Ethernet travaillent au niveau 1 ISO.

b) Couche LIAISON (niveau 2)

La couche liaison - niveau 2, liaison de données, ligne, ... - contrôle l'établissement, le maintien et la libération de la liaison logique sur le réseau et est responsable du bon acheminement des blocs d'information. Elle définit donc des règles d'émission et de réception des données à travers la connexion physique de deux systèmes. Elle doit transmettre les données sans erreurs et déterminer la méthode d'accès au support.
Les informations qui circulent sur le réseau, sont généralement structurées en trames *(frame)* contenant les données proprement dites et des informations supplémentaires de détection et de correction d'erreurs. La couche liaison gère ces trames et assure la détection et la correction des erreurs, la retransmission éventuelle... Elle est normalisée par l'avis X.212 du CCITT et par la norme ISO 8886.

La carte réseau (dite aussi « adaptateur réseau ») insérée dans un PC gère les couches physique et liaison : émission/réception des données + méthode d'accès au support.

HDLC *(High-level Data Link Control Procedures)* est un protocole qui définit une structure de trame travaillant au niveau 2 ISO.

EXEMPLE DE TRAME

Fanion	Adresse	Commande	Information	FCS	Fanion	Trame
01111110	8 bits	8 bits	n bits	16 bits	01111110	HDLC

– Fanion : séquence de bits particuliers délimitant la trame
– Adresse : adresse de la station destinataire
– Commande : type de la trame (données, trame spécifique...)
– FCS (*Frame Check Sequence*) : séquence de contrôle permettant la détection des erreurs de transmission (CRC)

c) Couche RÉSEAU (niveau 3)

La couche réseau - niveau 3 - est chargée de l'acheminement des données sur l'ensemble du réseau en utilisant des informations d'adressage. On y gère ainsi le choix des trajets (adressage et routage des paquets de données entre les noeuds du réseau) les multiplexages éventuels et le contrôle de flux.... Si un nœud est surchargé ou hors-service, le contrôle de flux doit éviter les congestions et les données doivent être déroutées vers un autre noeud. L'unité de données est le paquet. La couche réseau assure également la traduction des adresses logiques en adresses physiques. Il existe plusieurs normes à ce niveau : ISO 8348, 8208, 8473, ... et CCITT X.213, X.25, ...

Les protocoles X25, IP, IPX assurant l'acheminement des données respectivement sur des réseaux TRANSPAC, Ethernet ou Netware travaillent au niveau 3 ISO.

d) Couche TRANSPORT (niveau 4)

La couche transport - niveau 4 - fournit un service de transport de bout en bout transparent pour l'utilisateur (même à travers plusieurs réseaux). Elle doit assurer également les services qui n'auraient pas été assurés dans les couches inférieures (erreurs, routage...). C'est en effet le dernier niveau chargé de l'acheminement de l'information. La couche transport de l'émetteur segmente les messages de données en paquets et la couche transport du récepteur reconstitue les messages en replaçant les paquets dans le bon ordre. Elle permet de multiplexer plusieurs flux d'informations sur le même support et inversement de démultiplexer. Il existe également plusieurs normes à ce niveau : ISO 8072, 8073, 8602, ... et CCITT X.214, X.224, ...

TCP, UDP, SPX, NetBios, NetBEUI... sont autant de protocoles qui travaillent au niveau 4 ISO.

e) Couche SESSION (niveau 5)

La couche session - niveau 5 - est la première couche orientée traitement. Elle permet l'ouverture et la fermeture d'une session de travail entre deux systèmes distants et assure la synchronisation du dialogue. C'est à ce niveau que l'on décide du mode de transmission *(simplex, half-duplex, full-duplex).* C'est la couche la plus concernée par le modèle client-serveur *(middleware).* La couche session ajoute au paquet de données des informations de contrôle déterminant entre autre le type de trame, le numéro de la trame dans le message... Ainsi, quand un problème se produit, seules les données émises après le dernier point de contrôle correctement reçu seront réexpédiées. Il existe plusieurs normes chargées de gérer ce niveau 5 ISO 8326, 8327, ... et CCITT X.215, X.225, ...

f) Couche PRÉSENTATION (niveau 6)

La couche présentation - niveau 6 - se charge de transcrire les données dans une syntaxe compréhensible par les systèmes mis en relation. Elle assure la conversion, éventuellement la compression et le cryptage/décryptage des données. Il existe plusieurs normes chargées de gérer ce niveau : ISO 8824, 8326, 8327, ... et CCITT X.208, X.215, X.225, ...

La conversion d'un fichier texte MS-DOS (fin de ligne représentée par le couple de caractères cr/lt) en un fichier texte Unix (fin de ligne représentée par le caractère ll) se fait au niveau 6 ISO.

Le redirecteur du réseau (composant logiciel chargé de déterminer si la demande concerne l'ordinateur local ou un autre ordinateur du réseau) travaille aussi à ce niveau.

g) Couche APPLICATION (niveau 7)

La couche application - niveau 7 - fournit des services utilisables par les applications installées sur le réseau. Il ne s'agit pas forcément à ce niveau de l'application terminale de l'usager, mais on peut plutôt dire que « l'application de l'usager va utiliser cette couche application ». Il existe de nombreuses normes chargées de gérer ce dernier niveau : ISO 9545, ... et CCITT X.207, ...

Les principaux services proposés sont :

- Transfert de fichiers FTP *(File Transfert Protocol) ;*
- Messagerie ou courrier électronique *(electronic mail* ou *e-mail)*
- Soumission de travaux à distances (client-serveur) ;
- Accès aux fichiers distants NFS *(Network File System) ;*
- Terminal (Telnet...).

23.4.2 Le modèle architectural DSA-DCM

DSA *(Distrihuted System Architecture)* est un modèle proposé par Bull, qui depuis les années 1980 tente de se plaquer sur le modèle OSI. DSA distingue un réseau primaire, qui gère les connexions entre sites distants, et un réseau secondaire chargé de gérer les ressources d'un site. Depuis quelques années,

DSA a évolué vers DCM *(Distributing Computing Model)* n'utilisant plus que des protocoles OSI fonctionnant avec Unix.

23.4.3 Le modèle architectural SNA

SNA *(System Network Architecture)* est le modèle architectural proposé par IBM. Il est basé sur l'emploi de ressources logiques *(Logical Units)* et physiques *(Phvsical Units).* SNA repose sur une architecture en couches assez proche du modèle OSI.

Il existe également d'autres modèles architecturaux tels que DNA (*Digital Network Architecture*) de DEC… ou ceux offerts par Hewlett Packard, Sun ou NCR… mais ils reprennent dans l'ensemble le modèle en couche de l'OSI.

23.5 LES PROTECTIONS CONTRE LES ERREURS

Les signaux émis sur une voie de transmission risquent d'être détériorés par les bruits, les distorsions, l'affaiblissement, ... Si, pour la voix humaine, cette déformation est peu importante, il en va tout autrement dans le cas de signaux binaires. On utilisera donc des codes et des encodages particuliers ainsi que des protocoles spécifiques pour tenter d'éviter au maximum les erreurs (codes ASCII, HDB3. B5B, 8B10B, ...) et des contrôles sur les messages transmis (parité, VRC, LRC, codes polynomiaux, ...).

L'étude de certains de ces codes ou modes d'encodage a déjà fait l'objet de chapitres précédents, reportez vous à ces chapitres en cas de doute.

La correction des erreurs se fera en règle générale, par la retransmission pure et impie du message. L'émetteur envoie un message et attend en retour un accusé de réception positif ou négatif. Si l'accusé est négatif, le message est émis à nouveau; 'il est positif, on passe au message suivant. Si l'accusé tarde à venir
(Time-0ut),* le bloc non accusé est émis à nouveau ; éventuellement un nombre limité de fois. Ce type de retransmission, quoique ancien, reste encore très utilisé et est souvent noté ARQ-ACK *(Acknowledge Request-Acknowledgement).

Une autre méthode consiste à tout émettre sans attendre d'accusé, l'émission ne 'interrompt que si on reçoit un accusé négatif, auquel cas on reprend à partir du message signalé comme accusé négativement. Cette méthode est dite ARQ-NAK *(Acknowledge Request-No Acknowledgement).*

Ces méthodes de transmission anticipées et retransmission éventuelles seront revues lors de l'étude des protocoles. Reportez vous éventuellement à ces chapitres.
Ces techniques de détection et de gestion des erreurs par retransmission ou correction sont mises en œuvre au travers de protocoles de contrôle tels que les « standards de fait » MNP *(Microcom Network Protocol)* de la société Microcom. Ainsi MNP-4 gère la correction des erreurs, MNP-5 la compression des données... Ces protocoles sont donc à observer lors du choix d'un modem, par exemple.

Chapitre 24

Téléinformatique – Procédures et protocoles

Les communications entre les constituants des réseaux de téléinformatique ne se font pas « n'importe comment » mais sont régies par des lois permettant à des équipements différents de communiquer dans les conditions optimum. Ces lois sont concrétisées par les procédures et les protocoles qui régissent les échanges de données ou d'informations nécessaires au bon fonctionnement des réseaux. Signalons que ces deux termes de procédures et protocoles sont bien souvent employés de manière indistincte.

24.1 PROCEDURES

On appelle procédure l'ensemble des phases successives qui régissent toute communication téléinformatique, depuis l'établissement de la liaison entre les constituants interlocuteurs, jusqu'à sa libération. II est possible de faire une distinction entre les procédures hiérarchisées et les procédures équilibrées :

- dans une procédure hiérarchisée, on trouve les notions maître, dirigeant les opérations à un moment donné, et de station esclave, obéissant aux commandes du maître. Le protocole BSC répond à ce type de procédure,

- dans une procédure équilibrée (*Peer to Peer*), n'importe quelle station peut prendre « la main ». La technique de la contention telle que le CSMA/CD utilisé en réseaux locaux correspond à ce type de procédure.

Les procédures peuvent se décomposer en 5 phases :

1. La phase d'établissement : elle a pour but d'établir la connexion physique entre les différents équipements

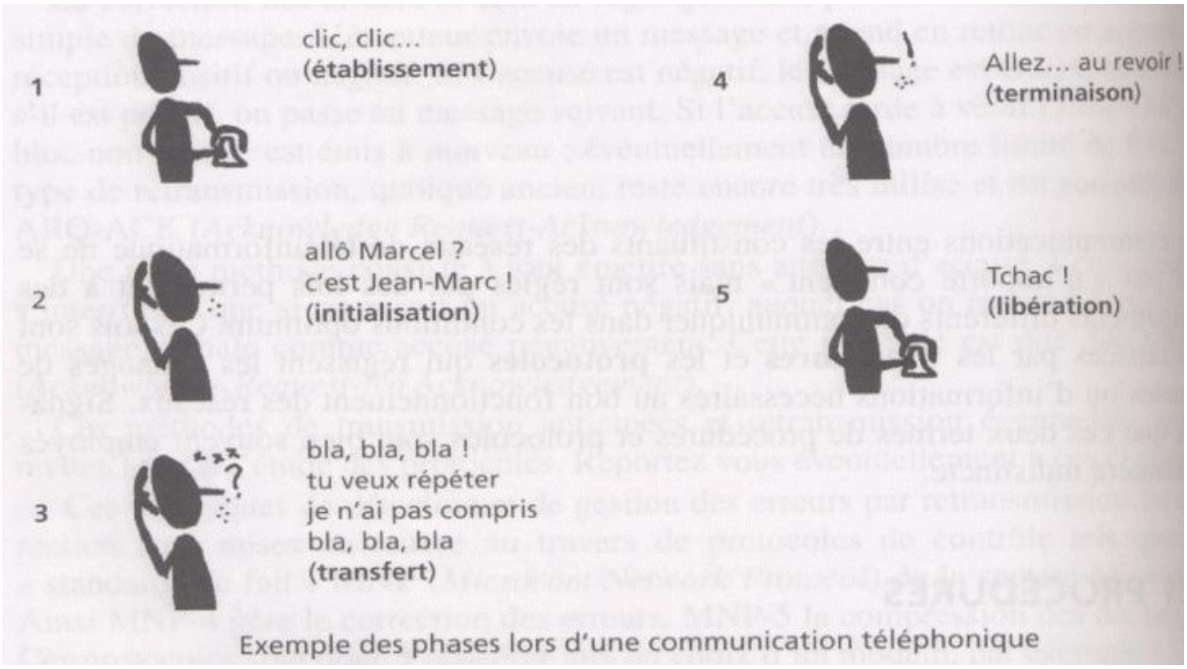
à relier. Cette phase comprend, par exemple, la commutation des différents circuits nécessaires à la relation.

2. La phase d'initialisation : elle établit la connexion logique entre les équipements, en vérifiant s'ils sont bien en mesure de communiquer. En fait, elle s'assure que les équipements sont bien capables de se reconnaître et de « parler le même langage ».

3. La phase de transfert : elle assure le transfert proprement dit des informations qui doivent être échangées entre les interlocuteurs.

4. La phase de terminaison : elle clôture la liaison logique, s'assurant que la liaison se termine correctement.

5. La phase de libération : elle permet la remise à la disposition des autres utilisateurs des circuits physiques empruntés par la communication.



Exemple des phases lors d'une communication téléphonique

Pour mener ces différentes phases à bien, les systèmes s'appuient sur des règles de communication très précises, les protocoles.

24.2 PROTOCOLES

Les protocoles dépendent essentiellement du mode de synchronisation adopté dans la relation entre ETTD participant à la liaison téléinformatique. On rencontrera donc deux grandes familles de protocoles, les protocoles asynchrones et les protocoles synchrones.

En mode asynchrone, les caractères étant émis indépendamment les uns des autres, on ne dispose donc pas de protocoles particulièrement développés.

En transmission synchrone, les protocoles peuvent être de deux types :

- de type synchro-caractère COP *(Character Oriented Protocol),* si les données qu'ils transportent sont considérées comme des caractères,

- de type synchro-bit BOP *(Bit Oriented Protocol)* si les données qu'ils transportent sont considérées comme de simples suites binaires.

Apparus dans les années 1960, les protocoles synchro-caractère sont nombreux mais maintenant anciens. Nous ne présenterons donc pas de fonctionnement pour ce type de protocole et nous intéresserons plutôt aux protocoles orientés vers la transmission de kits. Parmi les protocoles orientés synchro-caractère on peut néanmoins citer :

- BSC *(Binary Synchronous Communication)* développé par IBM en 1964,
- VIP *(Visualing Interactive Processing)* développé par BULL.

Les principaux protocoles de communication orientés bit sont à l'heure actuelle :

- SDLC *(Synchronous Data Link Control) :* développé par IBM dans le cadre de son architecture SNA,

- HDLC *(High level Data Link Control procedures) :* issu de SDLC, ce protocole normalisé par l'ISO, et très utilisé, notamment dans les réseaux X25 ou RNIS,

- X25: basé sur HDLC, ce protocole normalisé est très utilisé, notamment dans le réseau Transpac. Il autorise un fonctionnement synchrone en commutation de paquets et peut même fonctionner avec des terminaux asynchrones,

- TCP/IP : «standard de fait», partiellement normalisé, ce protocole, issu du monde des réseaux locaux est un acteur fondamental des réseaux. Il doit sa médiatisation au développement spectaculaire du réseau Internet.

Ces protocoles, relativement similaires présentent des caractéristiques communes :

- communications en bidirectionnel simultané *(full duplex ou duplex* intégral),

- les messages - trames, paquets, cellules... - peuvent contenir des données et/ ou des informations de service telles que des accusés de réception, ...,

- les trames sont en principe protégées contre les erreurs de transmission. Elles ont toutes le même format et présentent un délimiteur unique de début et de fin appelé fanion ou drapeau,

- il n'y a pas d'attente d'acquittement systématique de la part du destinataire, et plusieurs trames peuvent être émises en séquence sans qu'un accusé de réception soit renvoyé pour chacune d'elles,

- les transmissions concernent des suites binaires et non des caractères. Le transfert de l'information s'effectue sans interprétation du contenu, ce qui assure une transparence totale vis-à-vis des codes éventuellement utilisés.

24.2.1 Mode connecté – mode non connecté

En mode connecté le protocole doit se préoccuper de la capacité du destinataire à recevoir les données - trames, paquets, ... Pour cela diverses techniques peuvent être employées telles que les acquittements systématiques ou ACK NAK *(ACKnowledge-No ACKnowledge), ou* plus souvent le crédit de trame ou fenêtre d'anticipation qui consiste à envoyer un certain nombre de trames puis à recevoir un acquittement global pour cet ensemble de trames. HDLC, X25 et TCP/IP travaillent ainsi en crédit de trames. À l'inverse UDP/IP travaille dans un mode non connecté c'est-à-dire que les trames sont émises sans se préoccuper de la disponibilité du récepteur, charge à lui de redemander leur retransmission au besoin.

24.2.2 Etude du protocole HDLC

HDLC *(High level Data Link Control)* est un protocole issu de SDLC, et normalisé par l'ISO. Il est très utilisé, notamment dans les réseaux de type X25 ou sur les RNIS (Réseaux Numériques à Intégration de Service) tels que Numéris...

a) Différents types de liaisons sous HDLC

Liaison non équilibrée *(Unbalanced) :* qu'elle soit point à point ou multipoints, une liaison non équilibrée est constituée d'une station primaire chargée de gérer la liaison, et d'une ou plusieurs stations secondaires. Les trames émises par la station primaire sont des commandes, celles émises par les stations secondaires sont des réponses.
Liaison équilibrée *(Balanced) :* une telle liaison comporte des stations « mixtes », c'est-à-dire pouvant émettre, et/ou recevoir, des commandes, et/ou des réponses. Cette partie du protocole HDLC a été reprise par l'UIT-T et a pris le nom de LAP *(Link Access Protocol).* LAP a été modifié pour devenir LAP-B (LAP*Balanced)* puis a été complété par LAP-D, où D représente le canal D, qui est la voie destinée aux commandes (voie de signalisation) du réseau Numéris. On trouvera donc plus souvent cette appellation de LAP-B ou LAP-D dans les ouvrages sur les réseaux.

b) Modes de fonctionnement des stations

Mode de réponse normal - NRM *(Normal Response Mode) :* ce mode ne s'applique qu'aux liaisons non-équilibrées, où une station secondaire ne peut émettre que si elle est invitée à le faire par la station primaire. Quand elle a fini, elle rend le contrôle à la station primaire.
Mode de réponse asynchrone - ARM *(Asynchronous Response Mode) :* une station secondaire peut émettre à tout moment sans y avoir été invitée par une station primaire.
HDLC définit ainsi trois classes de procédures, également baptisées classes LAP *(Link Access Protocol).* Ces trois classes sont :

- UNC *(Unbalanced Normal Class),*

- *UAC (Unbalanced Asvnchronous Class)* - LAP-A.

- BAC *Balanced Asynchronous Class.* Cette classe, la plus rencontrée, se décompose en LAP-B utilisé en mode équilibré (point à point) en duplex intégral, et LAP-D, plus récent, employé pour des protocoles tels que X25 ou Numéris. Elle fonctionne en mode multipoints ou même en mode diffusion.

c) Structure de la trame HDLC

Dans le protocole HDLC, les transmissions se font par l'intermédiaire d'une trame LAP-B (niveau 2 de la norme ISO) de format unique, qu'elle soit destinée à transporter des données ou uniquement des informations de service.

Fanion	Adresse	Commande	Informations	FCS	Fanion

Fanions : les fanions ou drapeaux débutent et terminent toute trame HDLC et sont utilisés pour réaliser la synchronisation bit à l'intérieur d'une trame. Ils ont une configuration binaire unique 01111110. Il convient donc, dans un message, d'éviter les suites de I supérieures à 5 bits afin de ne pas les confondre avec un fanion. On insérera ainsi, systématiquement, un bit à 0 derrière chaque suite de 5 bits à 1.

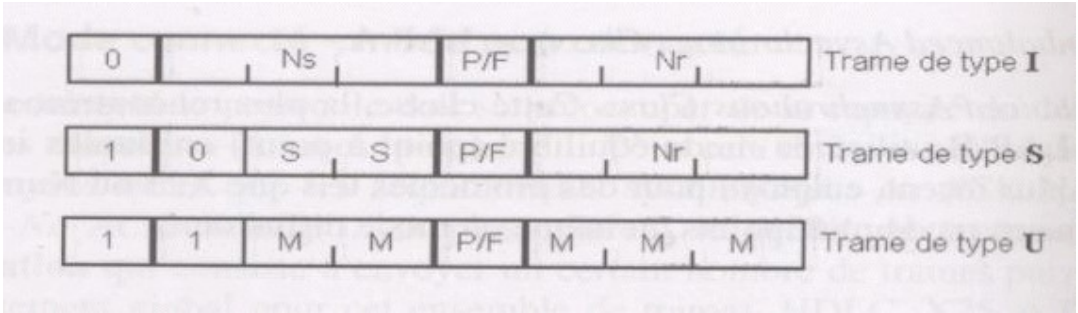
Adresse : identifie la (les) station secondaire concernée. Selon que l'on est en LAP-B ou en LAP-D cette zone est légèrement différente. Les autres zones sont identiques.

Commande : le champ de commande définit le type de trame parmi les trois possibles (I, S ou U), ainsi que le numéro d'ordre de la séquence :

- Trame de type I (*Information) :* commande ou réponse, ce type de trame transporte l'information. HDLC offre l'avantage d'accepter l'émission d'un certain nombre de trames consécutives sans demander d'accusé de réception pour chacune. Les trames I, et seulement celles là, sont numérotées et les stations doivent tenir à jour un compteur des trames reçues ou émises. Si une trame est incorrectement reçue, le compteur Nr reste inchangé. Afin d'éviter les erreurs, une station ne doit pas avoir plus de 7 trames maximum en attente d'acquittement ; ce nombre de trames en attente est appelé crédit de trame ou fenêtre d'anticipation.

- Trame de type S (*Supervision*) : ce type de trame ne transporte pas d'information mais doit gérer la communication. Ainsi une trame S signalera-t-elle à l'émetteur que le crédit de la station réceptrice est atteint et qu'elle ne peut plus recevoir temporairement d'autres trames d'information (rôle des bits S). Elle est utilisée comme accusé de réception et permet de contrôler le flux de données sur une liaison.

- Trame de type U (*Unumbered*) : ce type de trame non numérotée dite aussi trame de gestion, est utilisé pour définir le mode de réponse d'une station, l'initialiser ou la déconnecter, indiquer les erreurs de procédure ou la tester.



- Ns est le compteur séquentiel de gestion des émissions indiquant le numéro (de 0 à 7) de la trame de type I envoyée.

- Nr est le compteur séquentiel de gestion des réceptions indiquant le numéro (de 0 à 7) de la prochaine trame I attendue.

- P/F est un bit unique dit P (*Poll bit*) quand il est dans une trame de commande et bit F (*Final bit*) quand il est dans une trame de réponse. Si le bit P est à 0 il ordonne à la station de recevoir sans avoir à répondre. Si le bit P est à 1 il ordonne à la station de recevoir sans avoir à répondre. Si le bit F à 1 indique que la station secondaire a fini son émission et qu'elle redonne le droit d'émettre à la station primaire. Normalement il n'y a pas de bit F à 0. Jouant en quelque sorte le rôle de jeton, ce bit attribue à la station qui le reçoit le droit d'émettre (P = 1 la station secondaire a le droit d'émettre ; F = 1 le droit est restitué à la station primaire).

- S : ces deux bits codent 4 typent de fonctions de supervision :

- RR (*Receive Ready*) réception prête. RR (00) est utilisé par une station pour indiquer qu'elle est prête à recevoir de l'information,

- REJ (*REJect*) rejet. REJ (01) est utilisé par une station pour demander la transmission ou la retransmission de trames d'informations à partir de la trame numérotée Nr, ce qui confirme la bonne réception des trames allant jusqu'à Nr-1,

- RNR (*Receive Not Ready*) réception non prête. RNR (10) est utilisé par une station pour indiquer qu'elle,'est temporairement pas en mesure de recevoir des trames d'information, mais confirme la bonne réception des trames allant jusqu'à Nr-1.

- SREJ (*Selective REJect*) rejet sélectif. SREJ (11) est utilisé par une station pour demander de transmettre ou retransmettre la seule trame numérotée Nr, et confirmer la bonne réception des trames allant jusqu'à Nr-1.

- M : ces cinq bits permettent de coder 32 (2^5) types de commandes ou de réponses supplémentaires.

- Information : ce champ contient les données à émettre. Il peut contenir n'importe quelle configuration binaire sauf une simulation de fanion (série binaire 01111110).

- FCS (*Frame Check Sequence*) est un champ de vérification qui contient sur deux octets le reste de la division du message transmis (Adresse + Commande + Informations) par le polynôme générateur retenu (codes polynomiaux du CCITT).

d) Abandon de trame

Il est possible de terminer prématurément une trame en émettant un signal d'abandon formé d'au moins 7 bits consécutifs à 1. Ainsi, à la réception, quand on détecte une suite de 5 bits à 1, on doit considérer les cas suivants :

- si le 6^{e} bit est à 0, il est éliminé et les cinq bits à 1 sont considérés comme des données,

- si le 6^{e} bit est à 1, et le 7^{e} à 0, il s'agit de la séquence binaire traduisant un fanion de fermeture (ou fanion de verrouillage) de trame,

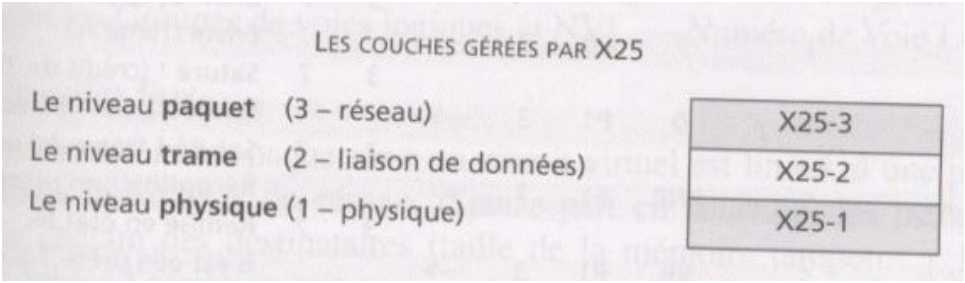
- si le 6^{e} et le 7^{e} bits sont à 1 il s'agit d'un signal d'abandon de trames sous HDLC entre deux stations en mode NRM à l'alternat.

24.2.3 Etude du Protocole X25

Le protocole X25, référencé ISO 8208, adapté, en 1976, par le CCITT et régissant la transmission de données sur le réseaux à communication de paquets est utilisé dans de nombreux réseaux :

- TRANSPAC en France,
- EURONET dans la CEE,
- DATAPAC au Canada, TELENET aux Etats-Unis, …

Le protocole X25 regroupe les niveaux 1 à 3 de la norme OSI mais travaille essentiellement au niveau de la couche 3 puisqu'aux autres niveaux il s'appuie en fait sur des modèles existants :



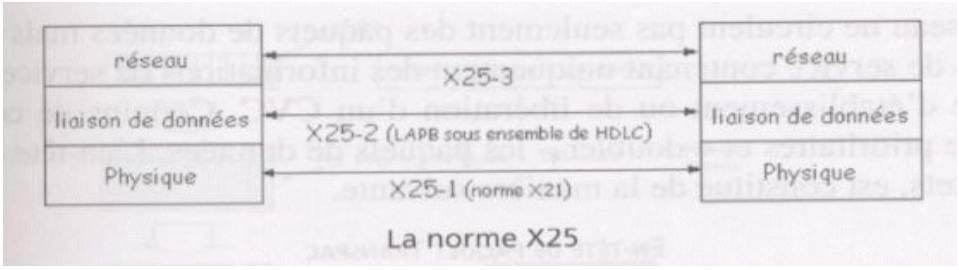
La couche X25-1, conforme à l'avis V24 caractérise l'interface physique entre ETTD et ETCD.

La couche X25-2 définit le niveau trame (couche liaison de données ou niveau 2 de l'ISO) et correspond en fait au protocole HDLC classe BAC (*Balanced Asynchronous Class*) plus connue comme couche LAP-B ainsi que nous l'avons vue précédemment.

La couche X25-3 définit, quant à elle, le niveau paquet (couche réseau ou niveau 3 de l'ISO) et gère les divers circuits virtuels de l'abonné en assurant notamment l'établissement et la libération des Circuits Virtuels Commutés, l'adressage des divers correspondants, le transfert des paquets et la gestion des erreurs et des incidents.

HDLC – Dialogue entre deux stations en mode NRM (Alternat)

Ns	Nr		Type	Ns	P/F	Nr		Ns	Nr	
		---	U (SNRM)	---	---	---	--->			Mise en mode NRM
0	0							0	0	
		<---	U	---	---	---	---			Bien reçu
0	0							0	0	
		---	I	0	P0	0	--->			Envoi trame A0
1	0							0	1	
		---	I	1	P1	0	--->			Envoi trame A1 à acquitter
2	0							0	2	
		<---	I	0	F1	2	---			Réponse B0
2	1							1	2	Bien reçue par A
		---	I	2	P0	1	--->			Envoi trame A2
3	1							1	3	Bien reçue par B
		---	I	3	P0	1	--->			Envoi trame A3
4	1							1	3	Erreur ! Nr ne change pas
		---	I	4	P1	1	--->			Envoi trame A4 à acquitter
5	1							1	3	Ignorée (A3 non reçue)
		<---	I	1	F1	3	---			Réponse B1
3	2							2	3	Bien reçue (m. à j. de Ns Nr)
		---	I	3	P0	2	--->			Renvoi trame A3
4	2							2	4	Bien reçue par B
		---	I	4	P1	2	--->			Renvoi trame A4 à acquitter
5	2							2	5	Bien reçue par B
		<---	I	2	F1	5	---			Réponse B2 (accusé A4)
5	3							3	5	Bien reçue par A
		---	I	5	P0	3	--->			Envoi trame A5
6	3							3	6	Bien reçue par B
		---	I	6	P0	3	--->			Envoi trame A6
7	3							3	7	Bien reçue par B
		---	I	7	P0	3	--->			Envoi trame A7
0	3							3	7	Saturé ! (crédit de 3)
		---	I	0	P1	3	--->			Envoi trame A0 à acquitter
1	3							3	7	Saturé ! trame A0 ignorée
		<---	S	RNR	F1	7	---			Réception non prête
7	3							3	7	Remise en état Ns
		---	S	RR	P1	3	--->			B est-elle prête ? à acquitter
7	3							3	7	
		<---	S	RR	F1	7	---			B est prête
7	3							3	7	
		---	I	7	P0	3	--->			Renvoi trame A7
0	3							3	0	
		---	I	0	P1	3	--->			Renvoi trame A0 à acquitter
1	3							3	1	Bien reçue par B
		<---	I	3	F1	1	---			Réponse B3
1	4							4	1	
		---	I	1	P1	4	--->			Envoi trame A1 à acquitter
2	4							4	2	Bien reçue par B
		<---	S	RR	F1	2	---			B n'a plus rien à émettre
0	0							0	0	



La norme X25

a) Fonctionnement de la couche X25-3

Les trois services qui doivent être rendus par la couche réseau – niveau 3 --, du modèle ISO sont l'adressage, le routage et le contrôle de flux. Ces services doivent donc se retrouver également dans le protocole X25.

> L'adressage

L'adressage sous X25 est réalisé au travers de circuits virtuels ainsi que nous l'avons vu lors de l'étude de la commutation et, dans le cas de X25, à la commutation de paquets. Afin de gérer cet adressage au travers de circuits virtuels, chaque paquet transmis sur le réseau est muni d'un en-tête comportant un champ de 4 bits, dit
« Groupe de la voie logique » qui permet de définir 16 groupes de voies. Le champ complémentaire « Numéro de la Voie logique » -- NVL -- définit sur 8 bits le numéro de la voie logique parmi les 256 que peut comporter le groupe. On peut ainsi coder 4095 (16x256) voies logiques par entrée de circuit virtuel, la voie 0 ayant un rôle particulier.

> Le routage

Dans ce type de protocole, le routage est assuré par des algorithmes mis en œuvre sur les ordinateurs gérant les nœuds du réseau. Ce routage est assuré ici grâce aux adresses définissant les Groupes de voies logiques
et NVL – Numéro de Voie Logique.

> Le contrôle des flux

Le rythme de transfert des paquets sur un circuit virtuel est limité, d'une part du fait des possibilités techniques du réseau, d'autre part en fonction des possibilités de réception de chacun des destinataires (taille de la mémoire tampon…). Il importe donc que le débit à l'émission soit asservi par le récepteur. Pour ce faire, il peut émettre des paquets d'autorisation d'émission ; mais il est également possible d'envoyer un certain nombre de paquets d'avance sans attendre de confirmation grâce à une fenêtre d'anticipation ou crédit de paquets, telle que nous l'avons définie précédemment lors de l'étude du protocole HDLC au niveau 2 – liaison de données.

b) Formation des paquets

Les données à transmettre d'un ETTD vers un autre sont découpées en fragments de 32, 64, 128 ou 256 octets. Un paquet est ainsi constitué d'un fragment muni d'un en-tête contenant diverses informations de service. Il existe également des paquets de service contenant uniquement des informations de service telles que la demande d'établissement ou de libération d'un CVC.

Sur le réseau ne circulent pas seulement des paquets de données mais également des paquets de service contenant uniquement des informations de service telles que la demande d'établissement ou de libération d'un CVC. Certains de ces paquets peuvent être prioritaires et « doubler » les paquets de données. L'en – tête du paquet, sur trois octets, est constitués de la manière suivante.

EN-TÊTE DE PAQUET TRANSPAC

Identificateur Général de Format	Groupe de la Voie Logique	1er octet
Numéro de Voie Logique		2e octet
Type de paquet		3e octet

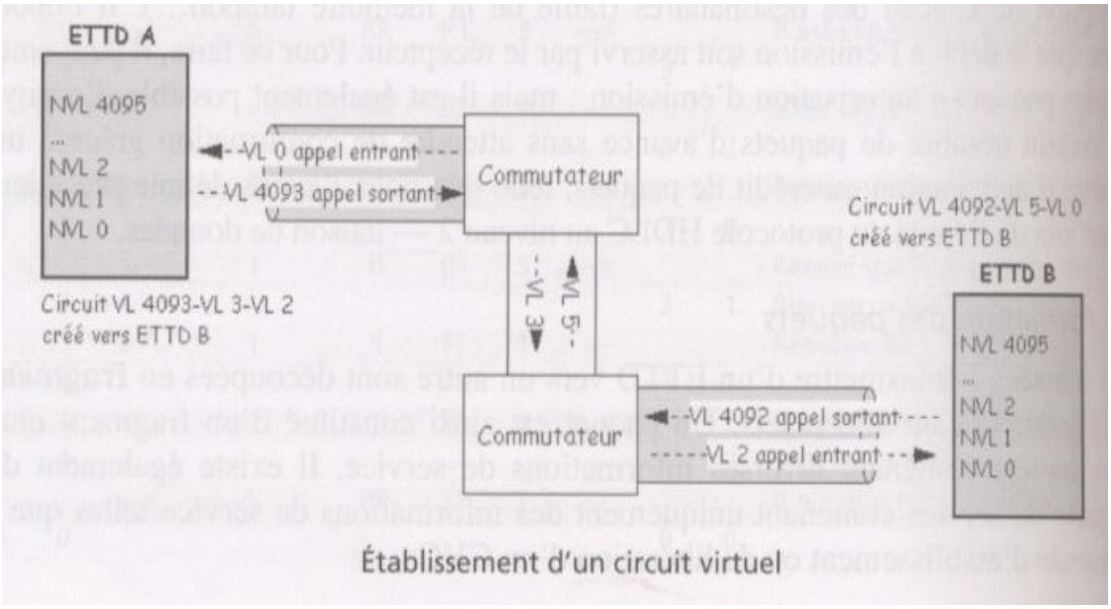
– L'Identificateur Général de Format — IGF — indique la taille de la fenêtre d'anticipation.

– Le Groupe de la voie logique et le Numéro de Voie Logique — NVL — permettent de coder, dans chacun des paquets, l'adresse du correspondant au travers d'un circuit virtuel (la voie logique).

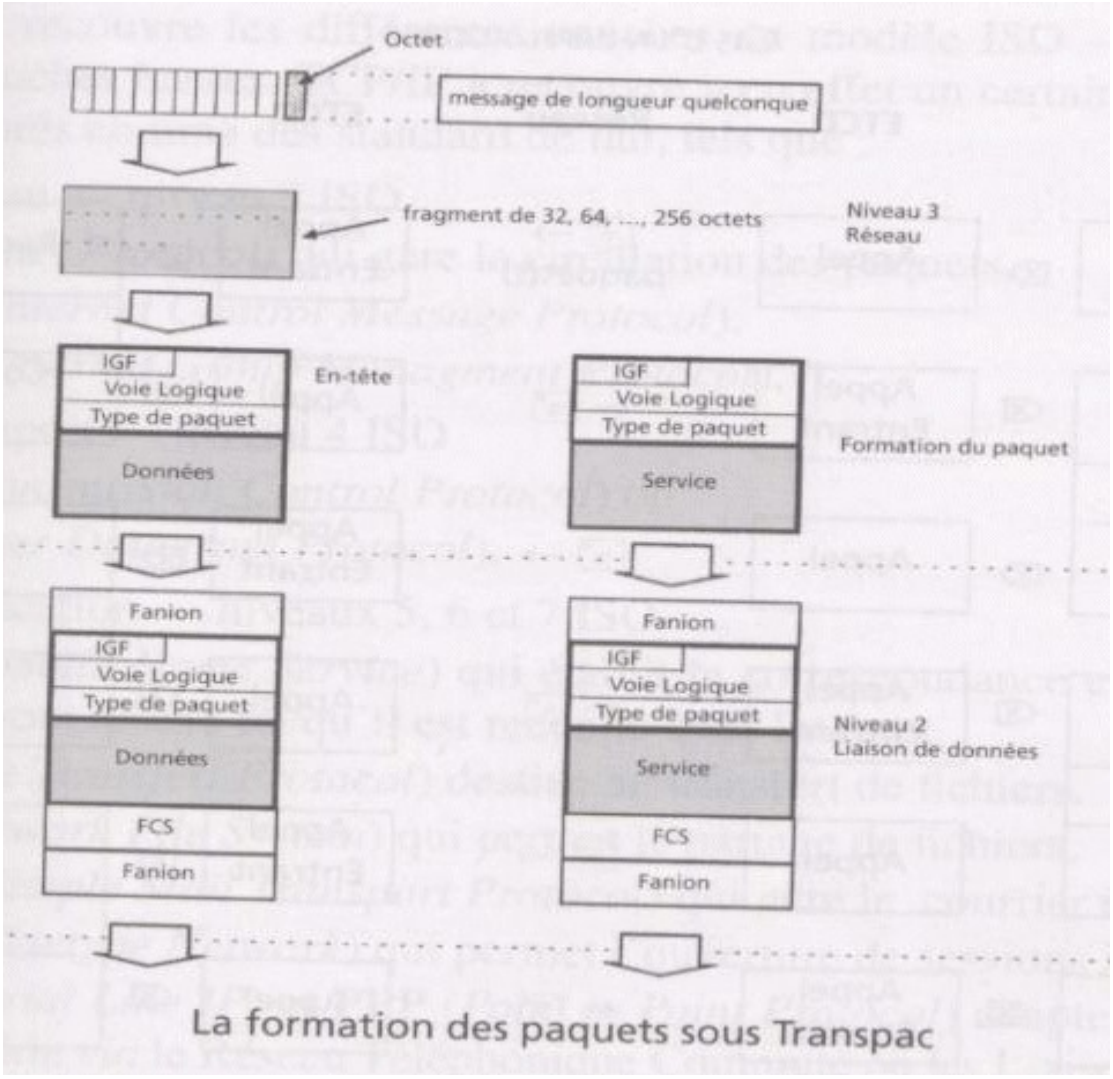
– Le type de paquet indique s'il s'agit d'un paquet de service ou de données et la fonction de ce paquet (paquet d'appel entrant, demande de libération, paquet mal reçu, paquet de données, demande de reprise, ...).

d) Etablissement et libération d'un CVC

Quand un ETTD A souhaite communiquer avec un autre ETTD B, on doit d'abord établir un circuit virtuel reliant ces deux équipements. L'établissement du circuit se fait au moyen d'un paquet spécial appelé paquet d'appel. L'ETCD A, lorsqu'il reçoit un tel paquet de son ETTD, l'achemine dans le réseau en fonction de l'adresse du destinataire. L'ETCD B, qui le réceptionne, choisit une voie logique libre de B et présente à son ETTD B un paquet dit d'appel entrant. L'ETTD B analyse ce paquet et accepte ou non la communication. Si elle est refusée, l'ETCD B envoie sur le réseau un paquet de demande de libération (message « Libération demandée » qui apparaît parfois lors de l'utilisation du minitel, message LIB 00…) S'il accepte la communication, il envoie alors un paquet de confirmation de communication.



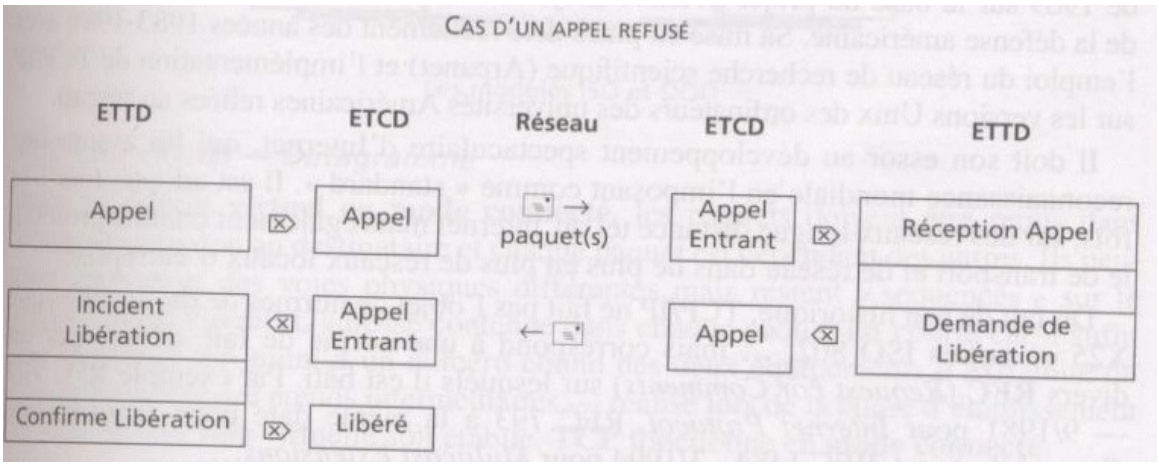
Établissement d'un circuit virtuel

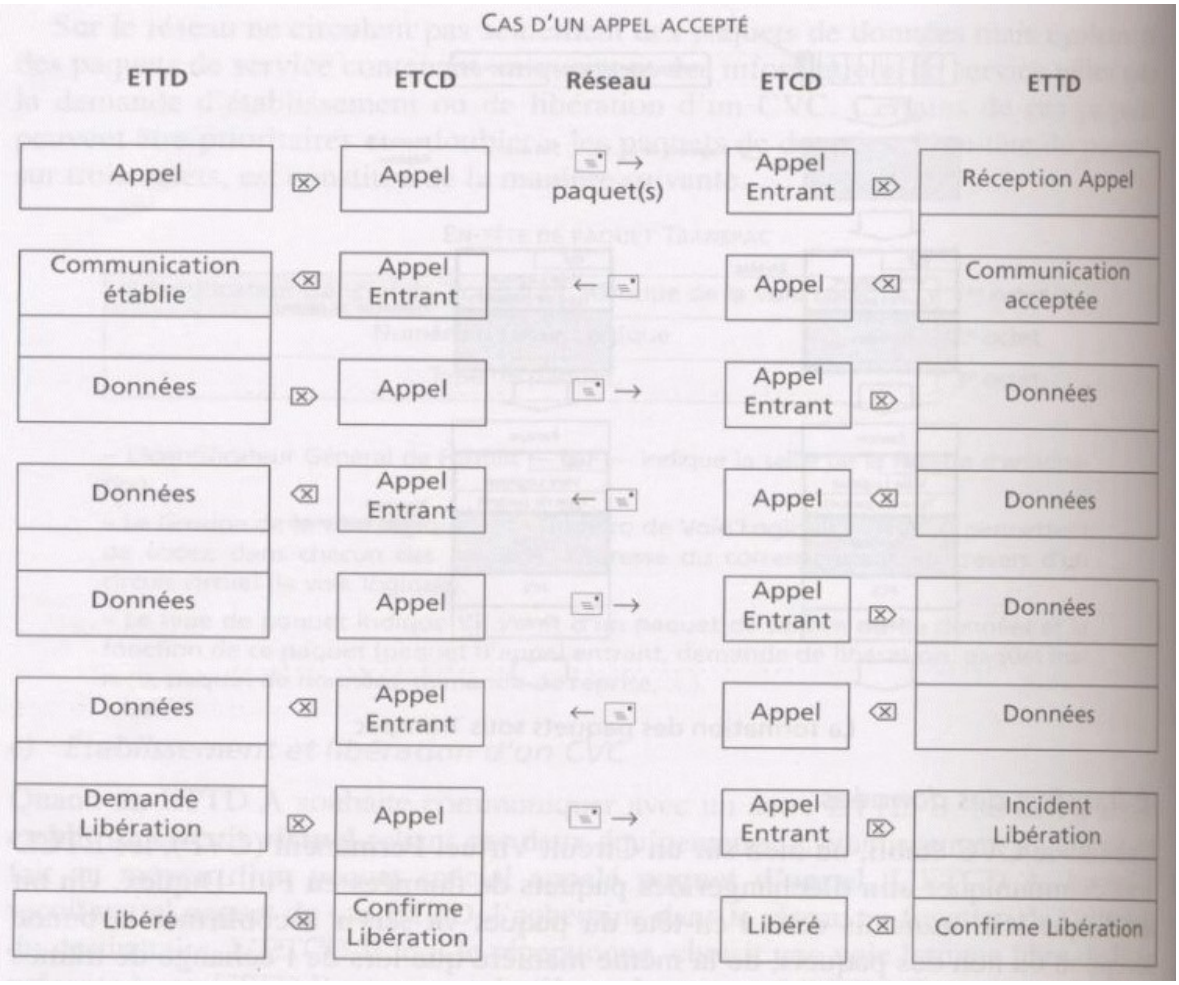


d) Transfert des données

Une fois le CVC établi, ou bien sûr un Circuit Virtuel Permanent (CVP), les ETCD vont communiquer afin d'échanger des paquets de données en Full Duplex. Un bit de chaque IGF transmis dans l'en-tête du paquet va servir à confirmer la bonne réception ou non des paquets, de la même manière que lors de l'échange de trames sous HDLC.

Exemple de dialogue entre ETTD lors d'une communication sur un circuit virtuel.





24.2.4 Etude du protocole TCP/IP

TCP/IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*) a été développé à partir de 1969 sur la base du projet DARPA (*Defense Advanced Research Project Agency*) de la défense américaine. Sa mise en place date réellement des années 1983-1986 avec l'emploi du réseau de recherche scientifique (Arpanet) et l'implémentation de TCP/IP sur les versions Unix des ordinateurs des universités Américaines reliées au réseau.

Il doit son essor au développement spectaculaire d'Internet, qui lui assure une reconnaissance mondiale en l'imposant comme « standard ».

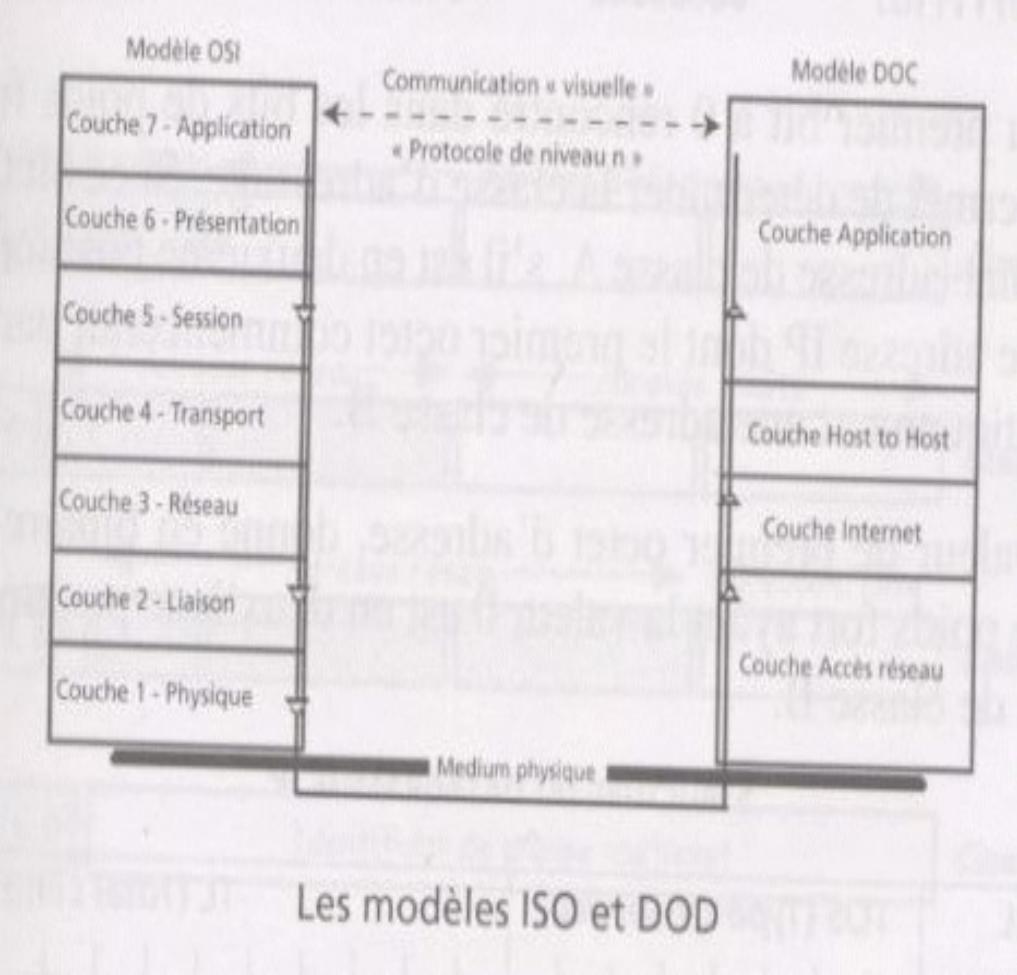
Il est adapté, tout à la fois, sur des réseaux longue distance tel qu'Internet mais également comme protocole de transport et de réseau dans de plus en plus de réseaux locaux d'entreprise.

Du fait de son historique, TCP/IP ne fait pas l'objet de normes de droits telles que X25 ou autres ISO 802, … mais correspond à une norme de fait, définie par les divers RFC (*Request For Comments*) sur lesquels il est bâti. Par exemple RFC 791 – 9/1981 pour *Internet Protocol*, RFC 793 à la même date pour *Transmission Control Protocol*, RFC 1484 – 3/1994 pour *Multicast Extensions*…

TCP/IP n'est pas un unique protocole mais une « suite de protocoles » ou « pile TCP/IP », travaillant sur un modèle en couches particulier DOD (*Departement Of Defense*), qui recouvre les différentes couches du modèle ISO – notamment au niveau des couches basses. TCP/IP « recouvre » en effet un certain nombre de protocoles, instaurés comme des standard de fait tels que :

- IP (*Internet Protocol*) qui gère la circulation des paquets,
- ICMP (*Internet Control Message Protocol*),
- IGMP (*Internet Group Managment Protocol*),
- niveau transport – niveau 4 ISO
-TCP (*Transmission Control Protocol*) ou
- UDP (*User Datagram Protocol*),
- niveau application – niveaux 5,6 et 7 ISO
- DNS (*Domain Name Service*) qui établit la correspondance entre une adresse IP et nom réseau tel qu'il est reconnu sous Internet,
- FTP (*File Transfert Protocol*) destiné au transfert de fichiers,
- NFS (*Network File System*) qui permet le partage de fichiers,

- SMTP (*Simple Mail Transport Protocol*) qui gère le courrier électronique,
- TelNet (*Teletype Network*) qui permet l'ouverture de sessions à distance…,
- SLIP (*Serial Line IP*) et PPP (*Point to Point Protocol*) adaptent TCP/IP à des liaisons série *via* le Réseau Téléphonique Commuté ou les Liaisons Spécialisées.



Les modèles ISO et DOD

a) Circuit virtuel – Datagramme

Dans le circuit virtuel ou mode connecté, les paquets doivent être remis dans l'ordre d'émission au destinataire
et chaque paquet est dépendant des autres. Ils peuvent emprunter des voies physiques différentes mais restent « séquencés » sur le même circuit virtuel. L'adresse contenue dans chaque paquet est courte car il suffit que le paquet soit muni d'un numéro connu des deux équipements d'extrémité du circuit virtuel et des nœuds intermédiaires – réalisé lors de la phase d'établissement – pour que la voie virtuelle soit établie. TCP fonctionne en mode connecté.

Dans le datagramme ou mode non connecté, les paquets sont indépendants les uns des autres, Ils peuvent emprunter des voies physiques différentes et ne restent pas forcément « séquencés » lors de l'acheminement. Dans le datagramme il faut donc que chaque paquet soir muni de l'adresse réseau complète (32 bits sous IP). Ce datagramme – comprenant adresse réseau et données – sera ensuite encapsulé dans la trame physique. IP fonctionne en mode datagramme.

b) IP (Internet Protocol) – niveau 3 « Réseau » du modèle ISO

Le niveau 3 du modèle ISO doit assurer, les fonctions d'adressage, de routage et de contrôle de flux. Voyons comment ces fonctions sont réalisées avec IP.

> L'adressage IP

Les adresses IP sont organisées en cinq classes d'adressage, dont trois principales, notées classe A, B ou C. Les classes D et E sont d'un usage particulier.

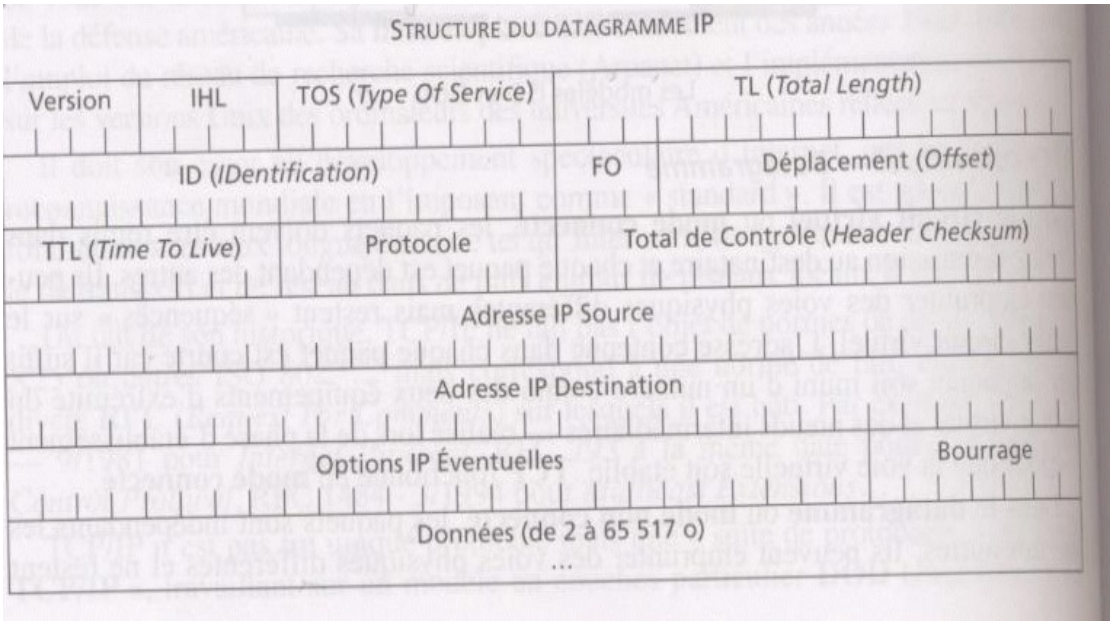
L'adresse IP qui permet de repérer chaque nœud du réseau comporte 32 bits (4 octets). Chaque adresse IP se présente sous la forme de 4 blocs de trois chiffres décimaux codant les 8 bits de l'octets, ces chiffres étant séparés par des points (notation dite en « décimal pointé »).

Ainsi 125.000.000.001 est une adresse IP qui s'écrit plus souvent 125.0.0.1. Elle correspond en fait à une série de 4 octets binaires.

125	000	000	001
01111101	00000000	00000000	00000001

La position du premier bit à 0 dans les bits de poids forts du premier octet d'adresse permet de déterminer la classe d'adressage. Si ce bit 0 est en première position c'est une adresse de classe A, s'il est en deuxième position c'est une classe B… Ainsi, une adresse dont le premier octet commencerait par la série binaire 10 serait automatiquement une adresse de classe B.

142 comme valeur de premier octet d'adresse, donne en binaire 1000 1110. Le premier bit de poids fort ayant la valeur 0 est en deuxième position, il s'agit donc d'une adresse de classe B.



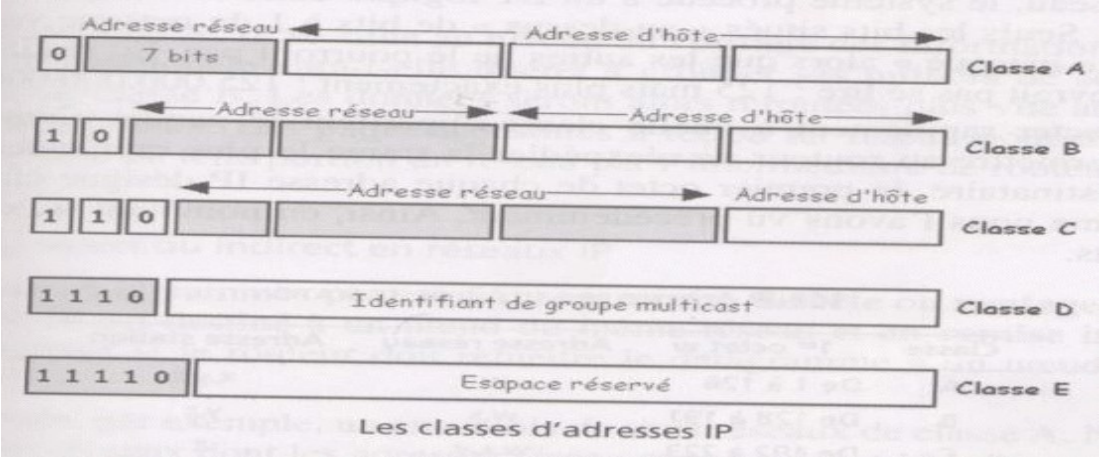
IHL : *Internet Header Length* ou longueur d'en-tête, en multiples de 32 bits,
TOS : spécifie le service — priorité du paquet, demande de bande passante…
TL : longueur du datagramme y compris l'en-tête,
FO : *Fragment Offset* — le 1er bit M (*More*) indique si le fragment est suivi d'autres, le 2e bit désactive le mécanisme de fragmentation, le 3e est inutilisé,
TTL : durée de vie du datagramme « choisie » par l'émetteur. Cette valeur est décrémentée à chaque traversée de routeur et utilisée par le destinataire pour gérer l'arrivée des datagrammes fragmentés,
Protocole : indique le type de protocole utilisant les services IP : 1 pour ICMP, 6 pour TCP, 17 pour UDP…

La classe IP permet de savoir quelle partie de l'adresse permet de repérer le réseau et quelle partie de l'adresse permet de repérer le réseau et quelle partie de l'adresse permet de repérer une station de ce réseau (*host adress*).

Classe A

Le premier octet sert à coder l'adresse réseau. Le premier bit de cet octet étant forcé à 0, on peut donc, avec les 7 bits restant, définir 126 adresses (2^7) de réseaux notées de 1 à 126 (l'adresse 0 étant interdite et l'adresse 127.0.0.1 étant réservée). Les 3 octets qui restent permettent alors de définir 16 777 216 (2^{24})

adresses potentielles de machines, soit plus de 2 milliards d'adresses théoriques (126 x 16 777 216). Un réseau de classe A pourrait donc avoir une adresse comprise, théoriquement, entre 0.0.0.0 et 127.255.255.255.



Les classes d'adresses IP

Classe B

Les deux premiers octets servent à coder l'adresse réseau. Les deux premiers bits de cette adresse étant invariablement 10, on peut donc, avec les 14 bits qui restent, (2 octets moins les deux bits 10) définir 16 384 adresses de réseaux comprenant chacun 65 534 adresses potentielles de machines chacun soit plus de 975 millions d'adresses théoriques. Un réseau de classe B peut donc avoir une adresse comprise, théoriquement, entre 128.0.0.0 et 191.255.255.255.

Classe C

Les trois premiers octets servent à coder l'adresse réseau. Les trois premiers bits de cette classe étant respectivement forcés à 1, 1 et 0, on peut définir avec les 21 bits qui restent (3 octets moins les trois bits 110),
2 097 152 réseaux (2^{21}) comprenant chacun 256 machines, soit près de 540 millions de machines connectées. Un réseau de classe C peut donc avoir une adresse comprise, théoriquement, entre 192.0.0.0 et 223.255.255.255.

Un masque de sous-réseau (*Subnet mask*), également composé de 4 blocs de 8 bits, appliqué à cette adresse, permet de déterminer la partie « adresse réseau » et la partie adresse station ou « adresse nœud » (*node address*).

RÔLE DU MASQUE – EXEMPLE

Adresse IP	125	000	000	118
Masque de réseau	255	000	000	000
Adresse réseau	125			
Adresse station		000	000	118

En clair la valeur 255 attribuée au masque correspond à un octet où les 8 bits sont à 1 et la valeur 000, bien évidemment, à un octet où les 8 bits sont à 0. Pour retrouver l'adresse réseau, le système procède à un ET logique entre le masque de réseau et l'adresse IP. Seuls les bits situés « au-dessus » de bits à 1 du masque vont pouvoir « traverser le masque » alors que les autres ne le pourront pas. En réalité l'adresse réseau ne devrait pas se lire : 125 mais plus exactement : 125.000.000.000.

Pour détecter rapidement à quelle classe appartient le paquet circulant sur le réseau et permettre au routeur de réexpédier la trame le plus rapidement possible vers son destinataire, le premier octet de chaque adresse IP désigne clairement la classe comme nous l'avons vu précédemment. Ainsi, en nommant w, x, y et z les quatre octets.

TCP-IP ADRESSE RÉSEAU / ADRESSE STATION

Classe	1er octet w	Adresse réseau	Adresse station
A	De 1 à 126	w	x.y.z
B	De 128 à 191	w.x	y.z
C	De 192 à 223	w.x.y	z

Classe D

Les adresses 224 à 231 sont réservées à la classe D, destinée à gérer un routage IP multipoints (*multicast*) vers certains groupes d'utilisateurs d'un réseau – dits groupes de diffusion – et non pas un routage IP *broadcast* comme c'est habituellement le cas, où le message est diffusé vers les stations présentes sur le réseau. Chaque machine du groupe de diffusion possédant la même adresse de groupe multicast.

Classe E

Les adresses 231 à 254 sont réservées à la classe E, destinée théoriquement à un usage futur et actuellement inexploitée.

Il convient de noter que certaines adresses particulières sont définies par conventions :

- l'adresse 127.0.0.1 est dite de *loopback localhost* et correspond à une adresse de test de « soi-même », mais en clair aucune adresse comprise entre 127.0.0.0 et 127.255.255.255 ne peut être utilisée !

- les adresses ne peuvent théoriquement pas contenir uniquement des 0 ou des 1. Toutefois l'adresse 0.0.0.0 est celle d'une machine qui ne connaît pas son adresse,

- tous les bits de la partie machine à 0 correspondent à l'adresse réseau. Ainsi 10.10.0.0 correspond à une adresse réseau souvent dit « réseau 10.10 »
- tous les bits de la partie machine à 1 correspond à une adresse de diffusion qui désigne tous les nœuds du réseau. Ainsi 10.10.255.255 désigne toutes les machines du réseau 10.10.

- les adresses 10.0.0.0 à 10.255.255.255, 172.16.0.0 à 172.31.255.255 et 192.168.0.0 à 192.168.255.255 (RFC 1918) sont des adresses réservées aux réseaux privés, donc jamais attribuées par le NIC (intéressant pour éviter les intrusions externes).

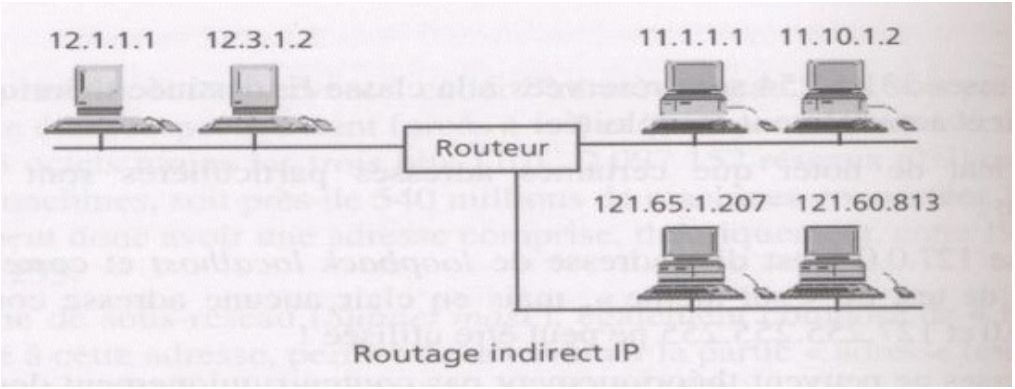
L'intérêt des classes IP se situe au niveau du routage des informations. Ainsi une entreprise internationale aura-t-elle intérêt à grouper ses milliers de serveurs sous une adresse de classe B. Les données seront alors reroutées plus vite au niveau des nœuds internationaux. Les paquets destinés à tel ou tel réseau pourront ainsi être dirigés vers telle ou telle portion du réseau par l'intermédiaire de routeurs matériels ou logiciels.

> Routage direct ou indirect en réseaux IP

La remise des datagrammes peut se faire en remise directe ou routage direct si le datagramme IP est destiné à un nœud du même réseau et en remise indirecte ou routage indirect si le routeur doit remettre le datagramme à un nœud d'un autre réseau.

Considérons, par exemple, un ensemble de trois réseaux de classe A. Nous distinguons ici des réseaux dont les adresses réseau sont, 11, 12 et 121.

Rien n'interdit de donner, au sein de chacun de ces réseaux, des adresses identiques aux stations. Par exemple l'adresse station 1.1.1 se retrouve aussi bien dans le réseau 11 que dans le réseau 12. Quand un message est expédié du réseau 11 vers le réseau 121 par exemple, il ne sera pas diffusé par le routeur sur le réseau 12 mais uniquement vers le réseau 121. C'est le routage indirect. Par contre si la machine d'adresse 12.1.1.1 émet un message vers la machine 12.3.1.2, le routeur ne sera pas sollicité c'est le routage direct.

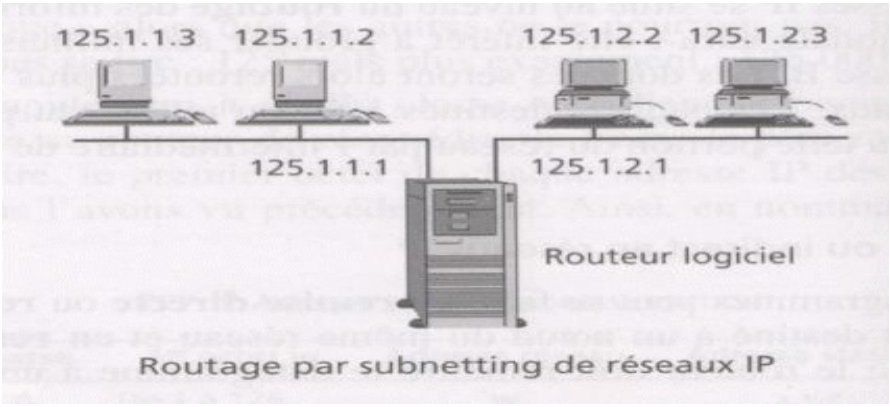


> Sous-réseaux internes

Au sein d'un même réseau local il est possible de jouer avec les combinaisons d'adresse et de masque de réseau pour définir des sous-réseaux dans la même classe de réseau - c'est le *subnetting*.

Supposons que nous disposions de deux réseaux physiques (par exemple un réseau à 10 MBps et un autre à 100 MBps) tels que sur le schéma ci-après.

Le 1er octet d'adresse étant 125, on travaille ici, à priori, avec un réseau de classe A. Pourtant, si on utilise comme masque de réseau, sur chaque machine, la séquence 255.255.255.0, quand un message est envoyé de la machine d'adresse 125.1.1.2 à une machine située sur le même réseau, par exemple 125.1.1.3, le routeur logiciel n'est pas traversé et le réseau 125.1.2.0 n'est pas concerné.



En effet, compte tenu du masque réseau, bien que de classe A, est en réalité décomposée en une adresse de réseau et une adresse de sous-réseau.

RÔLE DU MASQUE EN SOUS-RÉSEAUX

125	001	001	002
255	255	255	0
Réseau 125 défini par la classe A	Sous réseau 001.001 défini par le masque		Station 002, du sous-réseau 1.1, du réseau 125

En revanche, si l'adresse du destinataire est 125.1.2.2, le routeur sera sollicité et le message sera diffusé vers le deuxième réseau dont l'adresse réseau est 125.1.2.0. Cette technique, très utilisée en réseau local, porte le nom de *subnetting*.
Nota : l'adresse IP n'identifie pas une machine mais simplement un point de connexion au réseau. Ainsi, quand une machine possède plusieurs adaptateurs réseau, comme dans l'exemple précédent, elle va devoir posséder autant d'adresses IP que d'adaptateurs.

Précisons encore qu'il est également possible d'affecter plusieurs adresses IP à un même adaptateur. Précisons aussi que la valeur 255 n'est pas systématique pour définir un masque de réseau. Ce qui compte - sauf systèmes particuliers - c'est que la suite binaire ainsi formée soit une suite ininterrompue de bits à 1.

Ainsi, 255.255.224.0 est un masque utilisable car il correspond à la suite binaire 1111 1111.1111 111 1.1110 0000.0000 0000. Par contre 255.255.225.0 n'est pas utilisable car la suite binaire ainsi définie

serait 1111 1111.1111 1111.1110 0001.0000 0000. Le 1 le plus à droite ne pourrait être correctement interprété.

> Attribution des adresses IP

Dans un réseau interne on peut utiliser à peu près n'importe quelle adresse IP mais, si le noeud doit être mis en relation avec des machines extérieures, il faut lui attribuer une adresse unique qu'aucune autre machine au monde ne doit posséder. Ainsi, quand on connecte un serveur de pages Web sur Internet, on ne lui attribue pas n'importe quelle adresse IP. Ces adresses sont attribuées par un organisme spécifique le NIC *(Network Information Center).* Pour la plupart des utilisateurs disposant d'un accès Internet au travers d'un fournisseur d'accès *(provider),* c'est ce dernier qui dispose réellement d'une adresse Internet et non pas son client. Le client ne fait en général que de l'accès distant sur une machine qui lui attribue, provisoirement le temps de la session, une adresse IP au sein de son propre réseau. Cette technique de « translation » d'adresse IP est dite NAT *(Network Address Translators).*

Malgré ses nombreuses possibilités d'adressage, le système IP dans sa version 4 actuelle ou IPv4, devrait être mis en défaut d'ici quelques années, et on travaille déjà à le rendre plus performant avec une nouvelle version dite IPNG *(IP Next Generation)* ou IPv6 comportant un adressage sur 128 bits (contre 32 actuellement).

> Résolution adresse IP - adresse matérielle

Dans une machine, l'adaptateur réseau ou carte réseau est le seul composant qui dispose réellement d'une adresse unique. En effet, chaque constructeur de carte utilise une plage d'adresses physiques - adresses matérielles ou adresses MAC *(Media Access Control)* -, qui lui est propre et chaque carte possède, inscrite en mémoire ROM, cette adresse matérielle unique. Rien n'interdit, en dehors du contrôle du NIC, d'employer une même adresse IP sur deux réseaux différents mais seules les adresses MAC pourront être réellement exploitées. En effet quand l'adaptateur reçoit un paquet il va comparer l'adresse MAC contenue dans ce paquet avec l'adresse matérielle mémorisée en ROM. L'adaptateur n'a aucun moyen de connaître une autre adresse puisqu'il ne travaille qu'au niveau 2 du modèle ISO et non pas au niveau 3 comme IP. Il faut donc, au niveau 3, tenir une table de correspondance des adresses IP connues du poste avec les adresses matérielles auxquelles elles correspondent. C'est le rôle du protocole ARP *(Address Resolution Protocol)* qui est un composant de la couche IP.

ARP va devoir déterminer l'adresse matérielle du destinataire en émettant si besoin sur le réseau une requête spéciale de diffusion *(broadcast),* contenant l'adresse IP à résoudre. Afin que cette trame de diffusion soit acceptée par tous les noeuds du réseau, l'adresse de destination sera une adresse spéciale dite *multicast,* désignant tous les noeuds du réseau et dont la valeur sera : FF.FF.FF.FF.FF.FF. Toutes les machines vont donc accepter cette trame de diffusion et la « remonter » au niveau 3. Toutefois, seule la machine qui possède l'adresse IP demandée va renvoyer son adresse matérielle. ARP constituera peu à peu une table des adresses IP résolues afin de gagner du temps lors de la prochaine tentative de connexion à cette même adresse IP. Cette table est souvent dite, à tort, table de routage mais on devrait employer le terme de table d'adressage.

RARP *(Reverse* ARP) effectue l'opération inverse au sein de IP en convertissant l'adresse matérielle en adresse IP. Il est possible de prendre connaissance de cette table d'adresses grâce à la commande
arp -a.

> Le routage IP

La pile de protocoles TCP/IP a été conçue dès l'origine pour assurer l'interconnexion de réseaux physiques, au moyen de composants du réseau que sont les routeurs. IP est donc un protocole « routable » ce qui n'est pas le cas de tous les protocoles employés en réseaux locaux. C'est pourquoi l'adresse IP est décomposée en une partie « adresse réseau » et une partie « adresse hôte ». Plusieurs techniques de routage peuvent être utilisées et mises en oeuvre à partir de l'adresse IP:

- le routage direct permet de communiquer entre deux machines situées sur le même réseau et ayant donc la même adresse « réseau ». La taille de cette adresse dépendant de la classe d'adressage utilisée (classe A, B, C ou D). Il suffit d'encapsuler le datagramme dans une trame puis de l'envoyer sur la voie physique,

- le routage indirect permet de communiquer entre réseaux différents, reliés entre eux par des routeurs, ce qui impose de déterminer à quel routeur envoyer les datagrammes.

En effet, on ne va pas diffuser le même datagramme vers tous les routeurs disponibles sinon on arriverait très vite à une explosion du réseau. Ceci nécessite l'utilisation de tables de routage. La table de routage associe, à l'adresse IP du réseau, l'adresse IP du routeur auquel est attaché ce réseau. Ces tables de routages sont régulièrement échangées entre routeurs proches, et peuvent être à l'origine de surcroît de communications.

RIP (*Routing Information Protocol*)

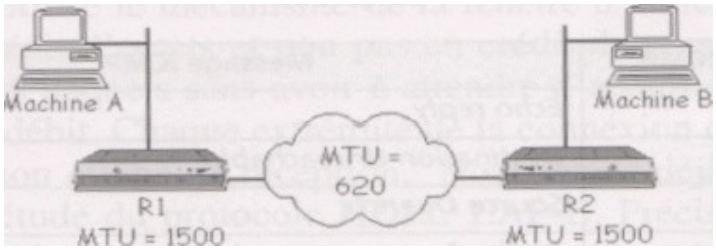
C'est un protocole utilisé au niveau des routeurs, fourni dans la pile TCP/IP et qui gère le routage en assurant la constitution et la gestion des tables de routage. Avec RIP, si le nombre de routeurs traversé est supérieur à 15, la connexion ne pourra être établie car le « métrique » utilisé par RIP ne peut dépasser 15. Ceci explique certaines difficultés de connexion sous Internet alors que le site est disponible mais que les routeurs sont encombrés. RIP2 correspond à la nouvelle version de RIP. (Voir le chapitre - Interconnexion de réseaux).

OSPF (*Open Shortest Path First*)

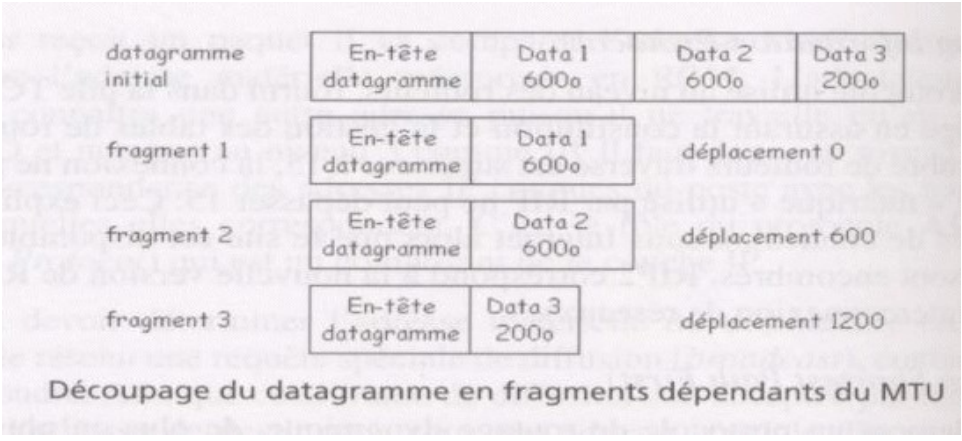
C'est également un protocole de routage dynamique, de plus en plus utilisé. Il n'utilise pas la notion de « métrique » mais il teste la connectivité de ses voisins avec qui il échange régulièrement ses tables de routage.
RIP et OSPF sont des protocoles de routage de type IGP *(Interior Gatewav Protocol)* où chaque système connecté au routeur est considéré comme autonome. Pour échanger des informations avec un autre système autonome ils utilisent des protocoles de type EGP *(Exterior Gateway Protocol*) ou BGP *(Border Gateway Protocol)* plus récent.

> La fragmentation

Pour optimiser les débits, l'idéal serait qu'un datagramme soit encapsulé dans une seule trame de niveau 2 (Ethernet par exemple). Mais comme, en fait, les datagrammes vont être encapsulés dans des trames circulant sur des réseaux différents et donc de tailles différentes (1 500 o sur Ethernet et 4 470 o pour FDDI par exemple) c'est impossible. On est alors amené à fragmenter les datagrammes trop grands pour les adapter au réseau traversé. La taille maximale de la trame est notée MTU *(Maximum Transfert Unit). IP* doit donc assurer, si besoin, la fragmentation des datagrammes. La taille du fragment est choisie la plus grande possible par rapport au MTU tout en étant un multiple de 8 octets. Rappelons que les fragments ne sont pas réassemblés par les routeurs mais uniquement par la machine finale.



Quand le destinataire final reçoit un fragment il arme un temporisateur et décrémente à intervalle régulier le champ TTL *(Time To Live)* de chaque fragment. Si à l'issue du temps les fragments ne sont pas tous arrivés il les supprime et ne traite pas le datagramme. Le réassemblage des fragments est rendu possible grâce au champ déplacement *(offset)* qui indique la position du fragment dans le datagramme. Le champ FO *(Fragment Offset)* - dit aussi *Flags* ou drapeaux - contient trois bits dont deux servent à gérer la fragmentation.

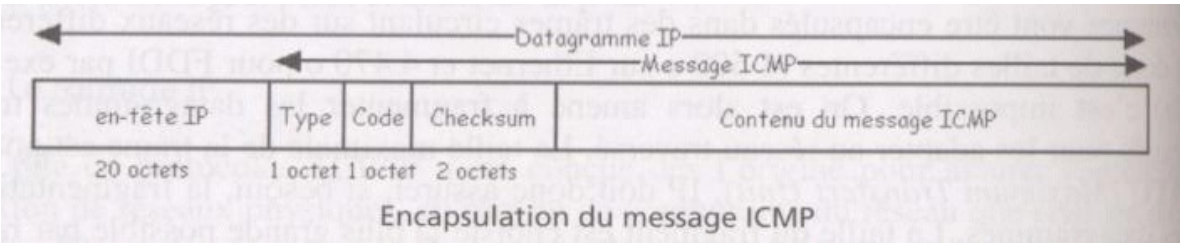


Découpage du datagramme en fragments dépendants du MTU

> Le contrôle de flux

ICMP *(Internet Control Message Protocol)* est chargé d'assurer le contrôle de flux en utilisant l'envoi de messages de contrôle. Ces informations pourront être utilisées par des couches supérieures pour résoudre les problèmes. Les messages ICMP sont encapsulés et véhiculés sur le réseau comme des datagrammes ordinaires. L'utilitaire ping permet ainsi d'utiliser les messages ICMP *Echo request* et *Echo reply* pour déterminer l'état des connexions entre deux machines. ICMP permet également de déterminer les rouleurs présents sur chaque tronçon grâce à IRDP *(Icmp Router Discovery Protocol)*.

Le message ICMP est transporté par un datagramme IP selon le schéma ci-après.



Encapsulation du message ICMP

Le champ type permet de préciser la nature du message, le code permet de préciser éventuellement la nature de ce message.

CODES ICMP

Code ICMP	Message ICMP
0	*Echo reply*
3	*Destination Unreachable*
4	*Source Quench*
5	*Redirect*
8	*Echo Request*
11	*Time Exceeded for Datagram*
12	*Parameter Problem on Datagram*
13	*Timestamp Request*
14	*Timestamp Reply*
17	*Address Mask Request*
18	Address Mask Reply

c) TCP (Transport Control Protocol) – niveau 4 « Transport » du modèle ISO

Le service de transport doit assurer le transfert des données entre les participants à la communication. C'est donc à ce niveau que va s'établir la procédure d'initialisation permettant la reconnaissance des interlocuteurs. C'est également à ce niveau que doit être géré le multiplexage. TCP est un protocole fonctionnant en mode connecté c'est-à-dire qu'il associe, à un moment donné, deux adresses de réseau. Pour cela, le programme de chaque extrémité ouvre une connexion et affecte à cette connexion un numéro de port d'entrée-sortie. Quand cette mise en relation est établie, l'échange des données peut alors commencer. Comme plusieurs applications peuvent partager le même adaptateur réseau, TCP attribue un numéro de port à chacune. 65 000 ports peuvent ainsi être théoriquement utilisés par TCP.

USAGE COURANT DES PORTS TCP

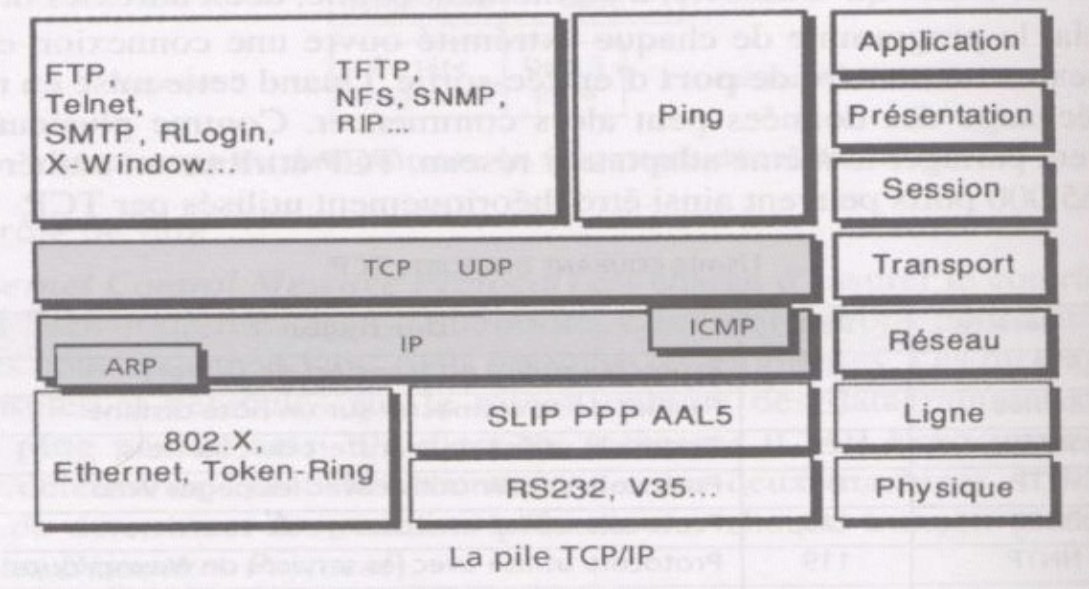
Service	Port	Description
FTP	21	Protocole utilisé en transfert de fichiers
Telnet	23	Permet de se connecter sur un hôte distant
SMTP	25	Protocole utilisé en transfert de courriers
HTTP	80	Protocole WWW utilisé avec les pages Web
POP3	110	Protocole utilisé en échange de courriers
NNTP	119	Protocole utilisé avec les services de *Newsgroups*
xxx	> 1024	Ports en principe libres d'usage
IRC	6667	Protocole utilisé avec les services de « *Chat* »

Le protocole TCP définit également des acquittements (Ack - *Acknowledgment),* échangés entre les participants, il garantit aussi la livraison « séquencée » - dans le bon ordre - des paquets et assure le contrôle par *checksum des* données et en-têtes. Par exemple, si un paquet est perdu ou endommagé lors de la transmission TCP en assure la retransmission. TCP permet également de gérer le multiplexage des paquets c'est ainsi que vous pouvez être en train d'assurer le téléchargement d'un fichier tout en consultant simultanément les informations d'un autre site Internet.

Le protocole TCP utilise le mécanisme de la fenêtre d'anticipation - qui fonctionne en terme de crédit d'octets et non pas en crédit de paquets - pour assurer l'émission de plusieurs paquets sans avoir à attendre d'acquittement ce qui permet d'assurer un meilleur débit. Chaque extrémité de la connexion doit donc gérer deux fenêtres, une d'émission et une de réception. Nous avons déjà étudié ce genre de mécanisme lors de l'étude du protocole HDLC LAP-B. Précisons que la taille de cette fenêtre d'anticipation peut varier en cours de connexion et que TCP devra alors générer un segment avertissant l'autre extrémité de ce changement de situation.

L'unité de fonctionnement du protocole TCP est le segment qui correspond en fait à une suite de quelques octets et dont le nombre peut varier. Le segment est utilisé, aussi bien pour échanger des données que des acquittements, pour établir ou fermer la connexion. Chaque acquittement va donc préciser quel est le numéro de l'octet acquitté et non pas le numéro d'un segment. TCP est également capable de gérer les problèmes d'engorgement des noeuds de communication et de réduire alors son débit.

UDP *(User Datagram Protocol)* est également un composant de la couche transport mais il assure uniquement une transmission non garantie des datagrammes. En effet, il n'utilise pas d'accusé de réception, n'assure pas le réordonnancement des trames, non plus que le contrôle de flux. C'est donc au niveau application qu'il conviendra d'assurer cette gestion. Il est, de ce fait, de moins en moins utilisé au profit de TCP.



La pile TCP/IP

d) Utilitaires TCP/IP

TCP/IP est une « pile » de protocoles (un ensemble) qui est livrée en général avec un certain nombre d'utilitaires. Parmi ceux-ci on rencontrera des utilitaires de diagnostic ou de configuration tels que arp, ipconfig, nbtstat, netstat, ping, route et tracert et des utilitaires de connectivité et d'échange de données entre systèmes éloignés tels que ftp et telnet.

Arp permet de prendre connaissance des adresses matérielles (adresses MAC), connues du protocole à un moment donné, d'en ajouter ou d'en supprimer. Nous avons vu précédemment comment ARP va, peu à peu, constituer une table des adresses IP résolues afin de gagner du temps lors de la prochaine tentative de connexion à cette adresse IP. Précisons que cette table ARP n'est pas sauvegardée physiquement et elle est donc reconstruite au fur et à mesure des besoins de connexion.

Ipconfig est un utilitaire très intéressant qui permet de prendre connaissance d'un certain nombre d'informations de l'adaptateur tels que son nom de machine, son adresse IP, son masque de réseau, l'adresse de passerelle, ...

Nbtstat fournit un certain nombre de renseignements statistiques sur les connections TCP/IP courantes utilisant les noms NetBIOS. NetBIOS est un protocole ancien, non routable, mettant en relation deux machines connues par leur nom.

Netstat est un utilitaire qui fournit également un certain nombre de statistiques sur les connexions TCP/IP.

Ping *(Packet InterNet Groper)* permet de vérifier qu'une connexion TCP/IP est bien établie physiquement entre deux machines ou qu'un adaptateur fonctionne correctement. Cet utilitaire essentiel à l'administrateur réseau, utilise les commandes ICMP.

Route est un utilitaire TCP/IP destiné à gérer les tables de routage en permettant de les consulter, et en y ajoutant, supprimant ou modifiant des informations de routage.
Tracert permet de déterminer quelle route a été empruntée par un paquet pour atteindre sa destination et quelles sont les adresses des routeurs traversés. Il fait appel, comme pour la commande ping, aux ordres ICMP de IP. Précisons que certains routeurs sont « transparents » et ne seront pas forcément détectés par la commande tracert.
FTP *(File Transfert Protocol)* est une commande de connexion, bien connue des internautes, bâtie sur TCP et qui permet de transférer des fichiers entre deux machines.

Telnet est un utilitaire d'émulation des terminaux de type DEC VT 100, DEC VT 52 ou TTY employés et reconnus dans certains environnements tels que UNIX.

24.2.5 Etude des protocoles NETBIOS et NETBEUI

NetBIOS *(Network Basic Input/Output System)* est un ensemble de protocoles englobant les couches 2 à 5 du modèle ISO. Mais c'est un protocole propriétaire développé par IBM, en 1983, et qui ne respecte pas complètement le découpage préconisé par l'ISO. En 1985, IBM sort le protocole NetBEUI (NetBIOS *Extended User Interface)* qui exploite pleinement les possibilités de NetBIOS.

NetBEUI présente un certain nombre d'avantages :

- il occupe peu de place en mémoire ce qui est important pour des ordinateurs fonctionnant sous MS-DOS,

- il est relativement rapide,

- il est compatible avec tous les réseaux Microsoft.

En revanche, il présente quelques inconvénients :

- il n'est pas routable c'est-à-dire qu'il ne peut mettre en communication deux machines situées sur des réseaux distincts,

- il est limité aux réseaux Microsoft.

NetBEUI est donc un protocole peu encombrant en mémoire, rapide mais non routable et il ne peut de ce fait être utilisé que sur de petits réseaux.

La reconnaissance des participants au réseau se fait par l'intermédiaire de leur nom NetBIOS qui associe à l'adresse physique - adresse matérielle MAC - de l'adaptateur et qui est, rappelons le, la seule dont on soit absolument certain qu'elle est unique. C'est pourquoi on mentionne souvent en terminologie réseau le « nom NetBIOS ». Le nom NetBIOS est composé de 16 caractères maximum dont 15 réellement disponibles, le 16e caractère étant destiné à identifier le « service » ; ainsi 00h identifie le service « station de travail », 20h le service « serveur »... La correspondance du nom NetBIOS de la machine, par exemple PC201, avec une adresse IP peut être répertoriée dans un fichier HOSTS ou LMHOSTS, qui peut être constitué manuellement par l'administrateur de réseau. Une autre solution consiste à mettre en place un serveur WINS *(Windows Internet Name Service)* qui assure dynamiquement la gestion du nom NetBIOS et de l'adresse IP qui leur correspond.

EXEMPLE DE FICHIER LMHOSTS

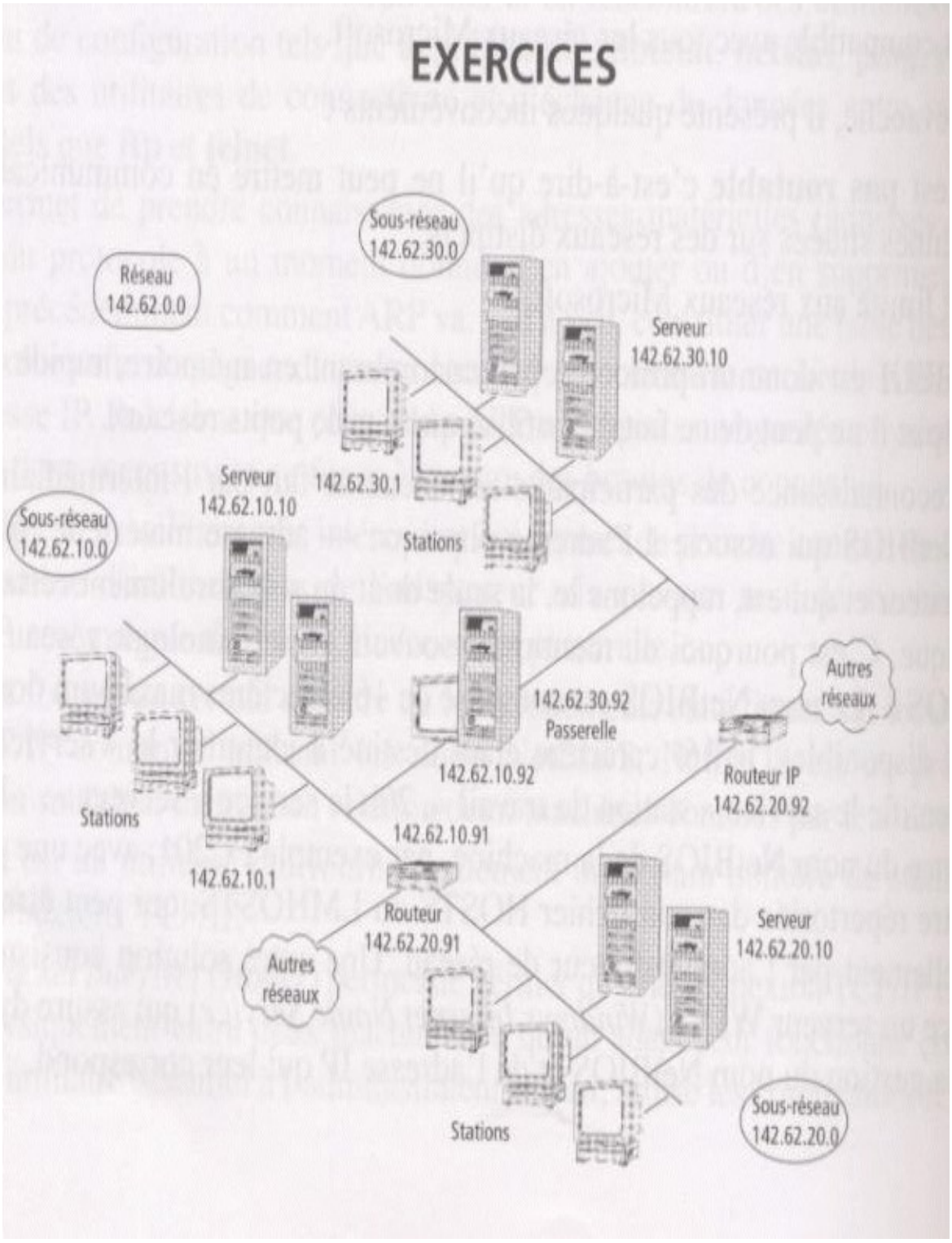
```
102.54.94.97    pc201     #Station du service comptable
102.54.94.102   applics   #Serveur d'applications
02.54.94.123    datas     #Serveur de données
02.54.94.117    srvsql    #Serveur autonome SQL
```

PLACE DE NETBIOS PAR RAPPORT AU MODÈLE ISO

7 - Application	Progiciel
6 - Présentation	DOS & Redirecteur
5 - Session	NetBIOS
4 - Transport	
3 - Réseau	
2 - Liaison	802.2, 802.3, 802.5
1 - Physique	

NetBIOS se présente sous la forme d'API (*Application Programming Interface*) qui peuvent être utilisées par la couche application pour interroger des services de bas niveau du réseau. Cette communication avec les couches supérieures se fait au moyen de commandes dites NCB (*Network Control Block*) Il peut être utilisé en environnement Microsoft MS-DOS, IBM OS/2 ou UNIX.

La mise en œuvre du protocole est réalisée grâce aux NBFP (*NetBIOS Frame Protocol*) ou par NetBT (*NetBIOS over Tcpip*).



24.1 Le responsable réseau de la société vous fournit le plan du réseau actuellement en service. Afin de tester vos capacités il vous pose un certain nombre de questions et vous soumet certains problèmes. La topologie réelle du réseau est de l'étoile sur Hubs (non représentés pour simplifier le schéma).

a) Quel est le protocole utilisé et pourquoi pouvez vous l'affirmer ?

b) Dans quelle classe (sous-classe ?) de réseau (sous-réseau) travaille-t-on ?

c) Quelle est la valeur probable du masque de réseau/sous-réseau ?

d) Quelle pourrait être la valeur « la plus fine possible » de ce masque ?

e) Quelles sont les couches ISO mises en œuvre avec TCP/IP et quel est leur rôle ?

f) Vous êtes sur le poste 142.62.20.1 et le poste 142.62.30.1 n'est plus accessible alors que le poste 142.62.10.1 peut être joint sans problème. La câblerie, les hubs et les routeurs sont hors de cause. Quelle(s) commande(s) et/ou observation(s) devez vous effectuer pour essayer de localiser la panne (pas de réinstallation de protocole ou autre… restez simple) ?

g) On s'aperçoit qu'en fait l'une des deux cartes réseau que comporte l'ordinateur qui fait office de passerelle est tombée en panne et vous n'en avez pas d'autre sous la main ! Il est vital pour la société de faire communiquer les deux sous-réseaux 142.62.30.0 et 142.62.10.0 dans le quart d'heure qui vient — même au détriment des performances. Que pouvez vous faire ?

SOLUTIONS

24.1 *a)* Le protocole utilisé ici est TCP/IP repérable à la façon de numéroter les adresses des stations au moyen de 4 octets — IPv4. On distingue également un routeur IP sur le schéma or TCP/IP est routable (IPX/SPX aussi mais on aurait sans doute trouvé un routeur IPX), NetBEUI non.

b) Compte tenu de la valeur 142 comme premier octet d'adresse on travaille, à priori, en classe B (classe A : adresses de 0 à 126, B : adresses de 128 à 191 et C : adresses de 192 à 223). Une autre façon de le déterminer est de décomposer 142 en sa valeur binaire soit 10001110. Le 1er bit de poids fort à 0 se trouve en 2e position ce qui repère une classe B (en 1er -> A, en 2e -> B, en 3e -> C…)…
Mais on constate l'existence de trois sous-réseaux (142.62.10.0, 142.62.20.0 et 142.62.30.0), ainsi que la présence de deux routeurs et d'une passerelle. Routeurs et passerelle confirment donc bien la présence de sous-réseaux. Compte tenu de ces adresses de sous-réseaux (xxx.yyy.zzz.0) on constate que 3 octets servent à repérer l'adresse « réseau ». On travaille donc en fait en classe C. On fait donc du *subnetting* de classe C sur un réseau de classe B.

c) En classe B le masque serait à priori 255.255.000.000 mais comme on fait du *subnetting* de classe C, il doit probablement avoir ici la valeur 255.255.255.000.

d) On doit ici pouvoir numéroter 3 sous-réseaux xxx.yyy.zzz.000 dont l'octet final (zzz) a comme valeur maximale 30_{10} soit en binaire 11110 (5 bits). Il faut donc, pour repérer

le sous-réseau, 5 bits dans le 3e octet d'adresse et il restera 3 bits pour compléter l'octet. Soit un masque du type 11111000_2 ou 248_{10}. Le masque définitif le plus « fin » serait donc 255.255.248.0.

e) Les couches ISO mises en œuvre avec TCP/IP sont la couche 3 pour IP et la couche 4 pour TCP.
La couche 3 est la couche Réseau. Elle doit assurer le routage des paquets entre les réseaux (cette fonctionnalité est d'ailleurs évidente dans le schéma où on trouve un *routeur* IP). La couche 3 assure également la relation entre les adresses physiques — adresses matérielles ou adresses MAC (*Medium Access Control*) de niveau 2 ISO — et les adresses logiques ou adresses IP de niveau 3 ISO. Cette fonctionnalité est assurée par le protocole ARP (*Address Resolution Protocol*) dans un sens et RARP (*Reverse* ARP) dans l'autre sens.
La couche 4 est la couche Transport. Elle assure l'établissement et le maintien de la connexion. Elle segmente les messages en paquets et reconstitue le message en remettant les paquets dans le bon ordre. La couche 4 peut également assurer des fonctions de multiplexage démultiplexage mais TCP ne prend pas directement en charge ces fonctionnalités.

f) Vous êtes sur le poste 142.62.20.1 et le poste 142.62.30.1 n'est plus accessible alors que le poste 142.62.10.1 peut être joint sans problème. La câblerie, les hubs et les routeurs sont hors de cause. Quelle(s) commande(s) et/ou observation(s) devez vous effectuer pour essayer de localiser la panne (pas de réinstallation de protocole ou autre… restez simple) ?

1. Si 142.62.10.1 peut être joint, la station 142.62.20.1 n'est pas en défaut…
2. Il faudrait donc, ici, commencer « à l'envers » en envoyant un *ping* le plus « loin possible », par exemple 142.62.30.10 qui appartient au même sous-réseau que 142.62.30.1. Une autre solution consisterait à expédier une commande *tracert* vers la station concernée 142.62.30.1 et d'observer si passerelle et routeurs sont bien traversés.
3. Si le serveur répond ça signifie que tous les équipements traversés sont bien configurés et notamment la passerelle !
4. Si le serveur 142.62.30.10 ne répond pas non plus c'est probablement que la passerelle est en cause… soit physiquement, soit mal configurée ?
5. Tester la passerelle en expédiant un ping 142.62.30.92 (« traversée »).
6. Tester la passerelle en expédiant un ping 142.62.10.92 (« même côté »).
7. Si tous ces équipements répondent l'erreur vient probablement de la station 142.62.30.1 elle- même

On se déplace… sur la station 142.62.30.1

8. Tester la carte réseau avec un ping 127.0.0.1 adresse réservée aux tests
9. Tenter éventuellement un ping avec sa propre adresse 142.62.30.1
10. Vérifier que l'adresse 142.62.30.1 est bien configurée pour la carte réseau de la machine.
11. Vérifier que le masque de réseau est bien 255.255.255.000 (ou 255.255.248.000)
12. Vérifier que l'adresse de passerelle est bien configurée. Il devrait avoir 142.62.30.92
13. Ensuite… ça se complique… protocole, driver de carte réseau, IRQ…

g) Dans un tel cas il est possible de ne mettre en place qu'un seul adaptateur réseau avec deux adresses IP (ici 142.62.10.92 et 142.62.30.92). On reconfigure chacune des adresses de passerelle pour ces deux adresses IP et le tour est joué… Certes au détriment de la performance mais au moins le réseau fonctionne !

Chapitre 25

Réseau locaux - Généralités

25.1 TERMINOLGIE

Un réseau local est un ensemble d'éléments matériels et logiciels, qui met en relation physique et logique, des ordinateurs et leurs périphériques, à l'intérieur d'un site géographiquement limité. Son but est de permettre le partage le partage de ressources communes entre plusieurs utilisateurs.

En fait, les notions couvertes par les Réseaux Locaux d'Entreprises - RLE, RL, LAN (*Local Area Network*), Network... - sont vastes. En effet le terme LAN englobe un ensemble de plus en plus étendu de matériels et de logiciels composant ainsi un RL qui va du réseau « de bureau », constitué autour d'un micro-ordinateur serveur, comprenant quelques postes de travail, en passant par le réseau en grappe organisé autour de mini-ordinateurs ou systèmes départementaux, dotés de nombreux postes de travail sur lesquels « tournent » des applications et on peut aller ainsi jusqu'au réseau « mondial » dans lequel des réseaux sont interconnectés entre eux formant une gigantesque toile d'araignée internationale dont Internet et le Web sont l'exemple typique. On emploie généralement les termes de réseau LAN pour un réseau géographiquement limité à l'entreprise ou à un bâtiment de celle-ci, de réseau campus ou de réseau MAN (*Metropolitan Area Network*) pour un réseau s'étendant sur des distances ne dépassant pas les 10 Km et de WAN (*Wide Area Network*) quand on considère des LAN interconnectés ou des stations réparties sur de grandes distances.

Les travaux pouvant être réalisés sur un réseau local peuvent également être répartis selon une échelle de complexité croissante. L'échange de fichiers ou de messages entre stations de travail peut ne solliciter que faiblement le réseau. Dans ce type d'utilisation la station de travail charge un logiciel, un texte ou un tableau, généralement à partir d'une station principale dite serveur de réseau ; les données transitent du serveur vers la station, le traitement est réalisé localement. Une fois ce traitement terminé, les résultats sont sauvegardés sur le serveur et/ou imprimés. Il n'y a donc recours aux ressources communes (disques, imprimantes, programmes, fichiers...) qu'en début et en fin de session de travail, et pour des volumes limités. Le travail, sur des bases de données partagées, peut nécessiter quant à lui un accès permanent aux ressources communes. Les traitements restent modestes en cas de saisie, de mise à jour et de consultation mais la charge du serveur augmente lorsque des tris, des indexations plus ou moins complexes interviennent. Enfin la compilation de programmes, des lectures et des recopies portant sur de gros volumes, peuvent saturer assez rapidement un serveur.

Les fonctions suivantes sont réalisées par la majorité des réseaux locaux :

- partage de fichiers, autorisant le travail à plusieurs utilisateurs, simultanément et sans dommage, sur une même base de données, sur les mêmes fichiers, ou avec le même logiciel (tableur, traitement de texte...),

- attribution de droits d'accès aux fichiers, allant du non-accès, à la faculté de création et de mise à jour, en passant par la simple consultation,

- utilisation de messagerie (boîtes à lettres, échange ou diffusion de messages),

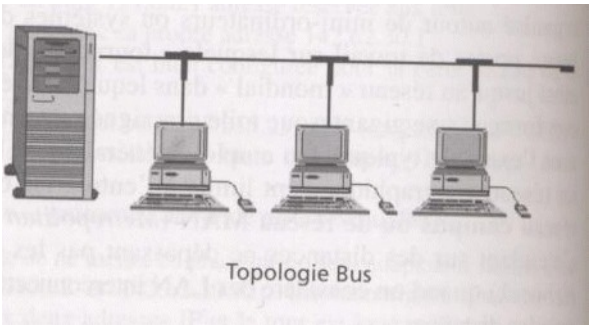
- gestion des files d'attente de la ou des imprimantes.

25.2 TOPOLOGIE DES RESEAUX LOCAUX

Selon l'implantation des postes de travail dans l'entreprise, on devra adopter une topologie spécifique. La topologie des réseaux locaux reprend dans son principe celle rencontrée sur les grands réseaux de téléinformatique. Mais il convient de garder présent à l'esprit que les diverses topologies peuvent cohabiter dans un même réseau.

25.2.1 Bus linéaire

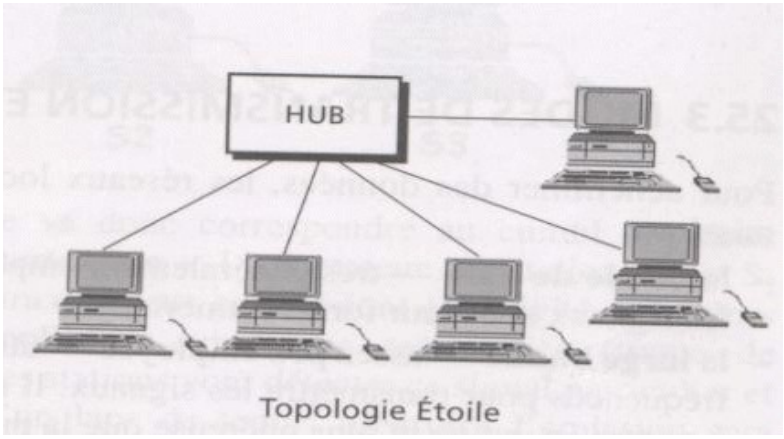
Le bus linéaire est l'une des configurations les plus répandues des réseaux locaux. Il est constitué d'un câble épine dorsale (*backbone*) sur lequel les stations sont raccordées par des câbles de liaison (stub) et des connecteurs.



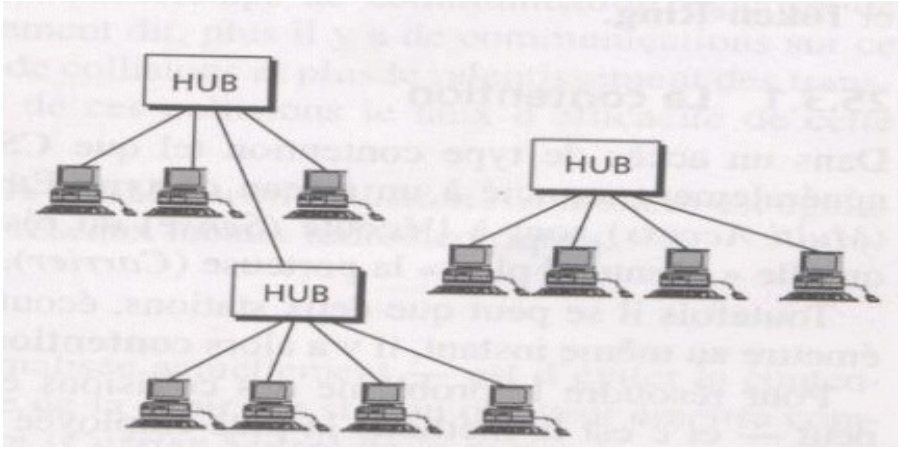
Cette topologie présente comme avantage le fait que le réseau peut supporter plusieurs serveurs, et que toute station tombant en panne n'affecte en rien le reste du trafic. Ce réseau comporte toutefois un inconvénient, si le câble principal est touché ce sont toutes les stations qui se retrouvent en panne. De plus, sur un même câble, encastré par exemple dans le sol, il n'est pas aisé de diagnostiquer l'endroit exact de la rupture. Il faut donc tout ouvrir. Ethernet était à l'origine un réseau en bus.

25.2.1 Etoile

La topologie en étoile relie, par des câbles, chaque station à un concentrateur ou HUB central. Ici, du fait même du câblage individuel reliant chaque station au serveur, on risque de tomber dans un investissement particulièrement lourd, à moins d'utiliser de la paire téléphonique torsadée (solution peu coûteuse mais présentant des limitations technologiques quant aux débits assurés). Les HUBS peuvent être empilés ou « stackés *(to stack* - empiler) et relié entre eux par une nappe de connexion. Ils se comportent alors comme un seul HUB. En règle générale on peut recommander l'étoile pour des configurations d'une dizaine de postes devant faire des accès disques fréquents. Les réseaux Ethernet adoptent généralement une topologie étoile.

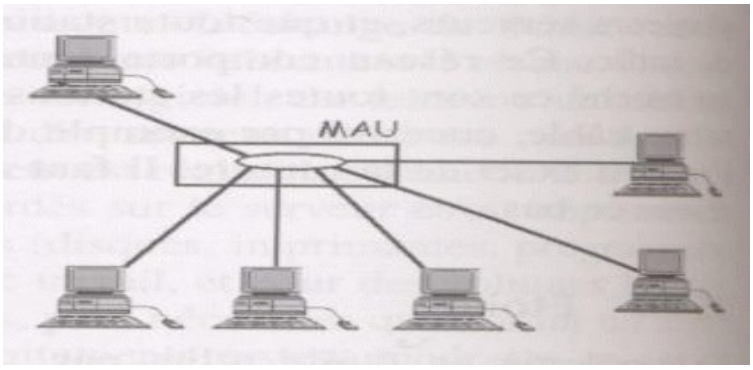


L'arbre ou étoile distribuée est une topologie mixte obtenue en « cascadant » les HUBS de plusieurs étoiles. C'est une topologie facile à adapter aux sites. La détection des câbles défectueux est aisée car chaque station est reliée par un câble et les hubs sont tous cascadés. Cascader les HUBS consiste à relier un des ports - souvent un port dédié - d'un HUB à l'un des port d'un autre HUB. Cette technique nécessite de croiser les fils émission-réception ce qui est souvent réalisé par un contact que l'on trouve en façade ou au dos du HUB. On perd en nombre d'entrées, par rapport à une configuration « stackée », mais on peut éloigner les HUBS les uns des autres et augmenter la taille du réseau local. La topologie en arbre est utilisée sur les réseaux locaux de type Ethernet.



25.2.3 L'anneau

L'anneau (*ring*) se présente sous la forme d'un bus fermé. Un poste plus puissant joue le rôle de serveur et distribue les jetons (*token*). Un boîtier central MAU *(Multi-station Access Units)* joue généralement le rôle de l'anneau. La topologie en anneau est essentiellement utilisée sur des réseaux locaux Token-Ring.



25.3 MODES DE TRANSMISSION ET MODES D'ACCES

Pour acheminer des données, les réseaux locaux utilisent deux modes de transmission :

- la bande de base - très généralement employée - et qui consiste à transmettre les signaux sous leur forme numérique,

- la large bande - assez peu employée - utilise essentiellement la modulation de fréquences pour transmettre les signaux. Il s'agit d'une technique plus complexe à mettre en oeuvre et plus onéreuse que la précédente, assez peu utilisée à l'heure actuelle et pour laquelle seuls les câbles coaxiaux, la fibre optique ou des liaisons radios conviennent.

Les messages ne peuvent « tels quels », circuler simultanément sur un réseau sans entrer en collision et se perturber. Il faut donc employer un protocole déterminant des règles d'accès au réseau. Parmi les modes d'accès existants, sont utilisés la contention et le jeton, distinguant deux grandes familles de réseaux locaux : Ethernet et Token-Ring.

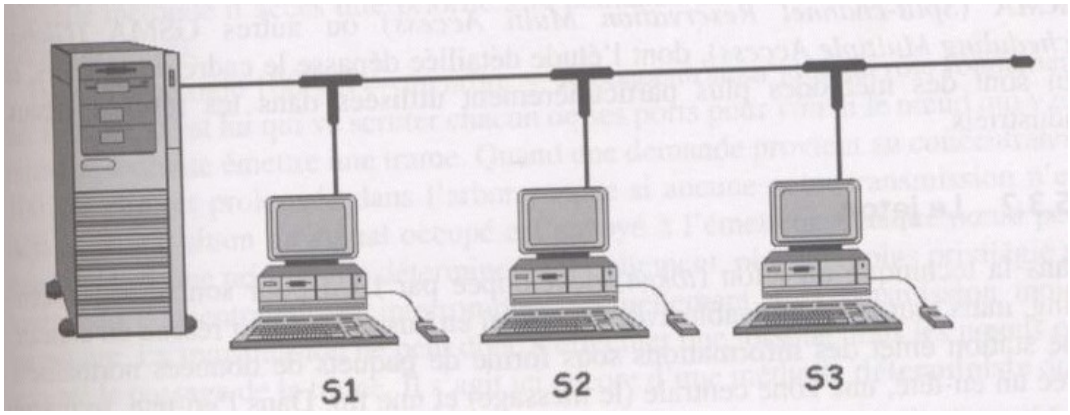
25.3.1 La contention

Dans un accès de type contention tel que CSMA (*Carrier Sense Multi Access*), généralement associé à un réseau de type Ethernet en topologie bus, les stations (*Multi Access*) sont à l'écoute (*Senne*) du réseau et une station peut émettre dès qu'elle « n'entend plus » la porteuse (*Carrier*).

Toutefois il se peut que deux stations, écoutant si la voie est libre, se décident à émettre au même instant, il y a alors contention - collision - des messages émis. Pour résoudre le problème des collisions entre deux demandes simultanées on peut - et c'est la méthode la plus employée actuellement - arrêter momentanément la transmission des stations, qui réémettront après un temps aléatoire : c'est la méthode CSMA/CD (CSMA *with Collision Detection*).

a) Principe du CSMA/CD

Considérons que la station S_1 souhaite envoyer un message vers S_3 et que S_2 souhaite, au même instant, envoyer un message au serveur. S_1 et S_2 vont donc se mettre à « l'écoute » de la porteuse sur la ligne (Carrier Sense) et, si la ligne est libre, elles vont émettre leurs messages.



Le signal électrique sur la ligne va donc correspondre au cumul des deux émissions ce qui provoquera une « surtension ». L'adaptateur des stations S_3 et S, détectera cette surtension et en déduira que deux entrées sont en activité. Il va alors envoyer un signal indiquant la collision sur toutes ses sorties (trame de « bourrage » ou trame *jam*). Toutes les stations vont détecter ce signal particulier et arrêter leurs émissions. Au bout d'un laps de temps aléatoire l'émission sera reprise par l'une quelconque des stations. Il est alors peu probable que les stations se décident à réémettre au même instant et, si tel était le cas, le cycle d'attente reprendrait.

La méthode CSMA/CD, normalisée par l'ISO sous la référence 802.3, est dite probabiliste ; en effet, on ne sait pas « à l'avance » quelle station va émettre. C'est une méthode simple et de ce fait très utilisée. Cependant, elle présente comme inconvénient majeur un ralentissement des temps de communication fonction de l'accroissement des collisions ; autrement dit, plus il y a de communications sur ce type de réseau, plus il y a de risques de collisions et plus le ralentissement des transmissions est sensible. Compte tenu de ces collisions le taux d'efficacité de cette méthode n'est que d'environ 50 %.

Une autre méthode dite CSMA/CA (CSMA *with Collision Avoidance*) est également utilisée - notamment avec les réseaux locaux radioélectriques.

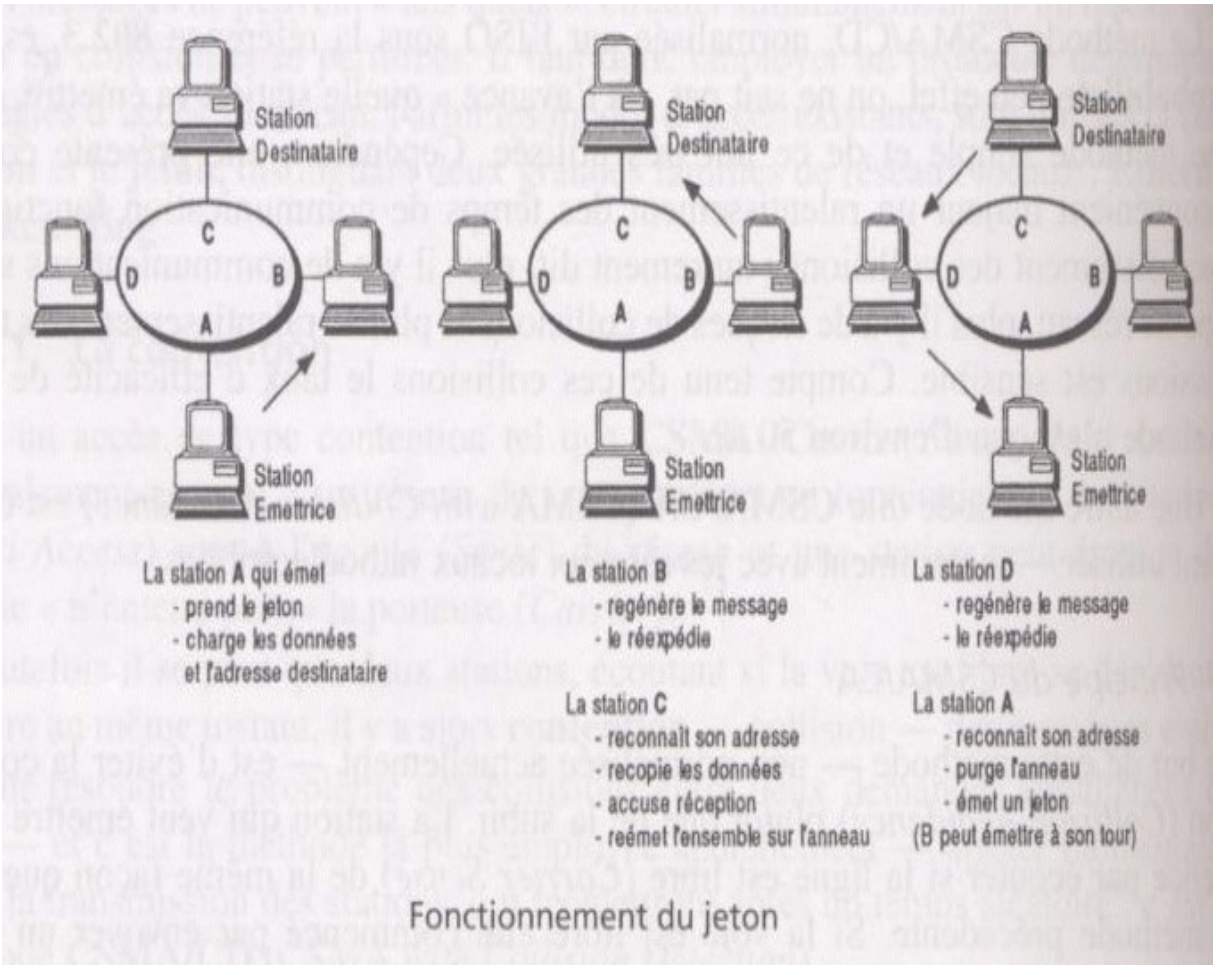
b) Principe du CSMA/CA

Le but de cette méthode - non normalisée actuellement - est d'éviter la contention (*Collision Avoidance*) plutôt que de la subir. La station qui veut émettre commence par écouter si la ligne est libre (*Carrier Sense*) de la même façon que dans la méthode précédente. Si la voie est libre elle commence par envoyer un court signal (le préambule) prévenant ainsi les tentatives d'émission des autres stations qui vont alors bloquer temporairement leurs émissions. Enfin la station émettrice va transmettre son message. Ce message devra faire l'objet d'un accusé de réception sinon on considérera qu'il s'agit d'une collision.

Citons pour mémoire quelques autres méthodes : TDMA *(Time Division Multiple Access)* qui consiste à attribuer des tranches de temps fixes aux différentes stations, CDMA *(Code Division Multi Access),* FDMA *(Frequency Division Multi Access),* SRMA *(Split-channel Reservation Multi Access)* ou autres GSMA *(Global Scheduling Multiple Access),* dont l'étude détaillée dépasse le cadre de ce cours, et qui sont des méthodes plus particulièrement utilisées dans les réseaux locaux industriels.

25.3.2 Le jeton

Dans la technique du jeton *(token)* développée par IBM pour son réseau TokenRing, mais tout aussi utilisable avec un réseau en bus qu'avec un réseau en anneau, une station émet des informations sous forme de paquets de données normalisés, avec un en-tête, une zone centrale (le message) et une fin. Dans l'en-tête, se trouve un bit particulier (le jeton), positionné à 1 si le réseau est occupé, et à 0 dans le cas contraire. La station qui souhaite émettre ne peut le faire que si le jeton est libre. Chaque station reçoit donc le message à tour de rôle et en lit l'en-tête dans lequel figure l'adresse du destinataire. Si le message ne lui est pas destiné, la station le régénère et le réexpédie sur le réseau.
Le destinataire du message se reconnaît grâce à l'adresse, lit le message et le réémet acquitté, c'est-à-dire après en avoir modifié l'en-tête. La station émettrice peut alors, lorsque le jeton lui revient, valider la transmission et libérer le jeton ou éventuellement émettre à nouveau ce message.



Cette méthode déterministe est normalisée par l'ISO sous la référence 802.5. La vitesse de transmission sur le réseau dépend, ici, de la longueur de l'anneau et du nombre de stations qu'il comporte.

25.3.3 La priorité à la demande

Avec les nouveaux réseaux à 100 MBps tels que 100 VG Anylan, est apparue une nouvelle méthode d'accès dite priorité à la demande ou DPAM *(Demand Priority Access Method).*

Dans la topologie 100 VG - en arbre - le concentrateur joue un rôle fondamental. En effet, c'est lui qui va scruter chacun de ses ports pour voir si le noeud qui y est raccordé souhaite émettre une trame. Quand une demande provient au concentrateur 100 VG elle est prolongée dans l'arborescence si aucune autre transmission n'est déjà en cours, sinon un signal occupé est envoyé à l'émetteur. Chaque noeud peut être affecté d'une priorité qui déterminera un traitement, plus ou moins privilégié au niveau du concentrateur, et interrompra éventuellement une transmission moins prioritaire. La transmission ne peut donc s'effectuer que lorsque tous les noeuds ont accepté le passage de la trame. Il s'agit ici encore d'une méthode déterministe dont le taux d'efficacité avoisine les 96 %.

25.4 PRINCIPAUX CONSTITUANTS MATERIELS

25.4.1 Les câblages

Le câblage est souvent le premier élément à considérer lors de l'installation d'un réseau local. Il faut garder présent à l'esprit sa longue durée de vie (de l'ordre de dix à quinze ans), et tenir compte des problèmes techniques qui se posent quand on veut installer une câblerie dans des bâtiments existants ou à construire. Son coût et la part incombant à la pose du câble représentent parfois une part importante du coût de revient total de l'installation. Les types de câbles les plus répandus sont la paire torsadée, le câble coaxial, la fibre optique que nous avons déjà étudiés précédemment.

a) Caractéristique des câblages

Les caractéristiques des câblages sont :

- l'atténuation, s'exprimant en décibels, traduit l'énergie perdue par le signal au cours de sa propagation sur le câble. Plus elle est faible et meilleur c'est,

- la bande passante, qui s'exprime en hertz, traduit la bande de fréquences que peut supporter le câble avec une atténuation donnée,

- l'impédance, qui s'exprime en ohms, traduit le comportement du câble en présence d'un courant alternatif. Actuellement on utilise des câbles 100 ou 120 ohms.

La vitesse de transmission sur les lignes n'est qu'un des éléments de performances du réseau local. Elle ne peut conditionner, à elle seule, les performances du réseau. Il convient de prendre également en considération les vitesses de transfert des adaptateurs réseau, du disque du serveur, qui peut créer un goulet d'étranglement, même dans un réseau capable de transmettre à 1 GBps sur sa câblerie...

Le rôle du logiciel d'exploitation du réseau va alors être primordial s'il s'agit d'optimiser les accès aux ressources du système.

25.4.2 Les serveurs

Le (ou les) serveur(s) permettent la mise à disposition, et la gestion, des ressources communes aux stations de travail. Chaque serveur dispose en principe d'une mémoire de masse importante, qui contient tout ou partie des fichiers et programmes communs. Il est souvent équipé d'une ou plusieurs imprimantes.

Chaque demande d'utilisation d'une des ressources communes que gère le serveur doit être reçue, traitée, puis une réponse doit être donnée à la station demandeuse. Comme le serveur reçoit plusieurs demandes simultanées de stations différentes, il doit en gérer la file d'attente. En outre le serveur gère souvent la file d'attente des imprimantes *(spool* d'impression), les répertoires des disques, les tables d'allocation des fichiers, ... Ce doit donc être une machine rapide et relativement puissante au minimum du type 486 DX, Pentium, RISC, ... avec un minimum de 8 à 16 Mode mémoire vive.

Les serveurs plus puissants mettent en œuvre le multiprocessing (voir chapitre sur le microprocesseur) ou des architectures dites client-serveur. Une architecture client-serveur peut être définie comme une architecture logicielle fournissant des services distants (bases de données, messagerie, impression, ...) à des clients qui peuvent utiliser, de manière transparente, l'ensemble des ressources informatiques mises à leur disposition. Selon la répartition des données et des traitements entre la station cliente et le(s) serveur(s), on considère que l'on évolue d'un client-serveur propriétaire (cas de la présentation distribuée où le serveur gère quasiment tout) à un client-serveur hétérogène où données et applications sont réparties.

Un serveur peut n'être affecté qu'à son strict rôle de serveur, on dit alors qu'il s'agit d'un serveur dédié ; ou bien il peut être à la fois serveur et station de travail, ce qui suppose en général que le réseau n'ait qu'une activité limitée, sinon ne soyez pas surpris par les temps de réaction des logiciels utilisés.

Signalons qu'il existe également des serveurs d'impression dont le but essentiel est de gérer la file d'attente des impressions demandées par les stations sur une imprimante partagée en réseau. Certaines imprimantes sont même dédiées réseau et équipées d'un disque dur permettant de mettre en attente les travaux d'impression de manière à libérer les stations et le réseau. Ce rôle peut être joué par le serveur du réseau ou par une station de travail mais alors généralement au détriment des temps de réponse.

25.4.3 Les hubs

Le hub classique - concentrateur ou répéteur - joue le rôle de répartiteur du débit du réseau entre les diverses stations qui lui sont connectées. Dans le hub classique, les 10 MBits/s du réseau sont ainsi répartis entre les stations connectées au hub, limitant le débit de chacune. Ils peuvent être empilables et disposent d'un nombre de ports variable (en général de 8 à 12 ports) permettant d'y connecter autant de stations ou de cascader les hubs entre eux. Des hubs plus importants - départementaux - peuvent être équipés d'un processeur additionnel chargé de la gestion SNMP *(Single Network Managment Protocol)* et atteindre ainsi une capacité de gestion de 300 ports.

Le hub switché - commutateur - permet d'augmenter le débit du réseau ou plus exactement celui de chacune des stations connectées qui bénéficient ainsi de toute la capacité du réseau. Il peut rediriger un message vers son destinataire, contrairement au hub classique qui le diffuse à l'ensemble des stations du réseau. Le hub switché dispose dans le cas d'un switch *« store and forward »* d'une mémoire tampon *(buffer)* qui lui permet de stocker le message, d'en vérifier l'intégrité ou non, puis de l'envoyer vers son destinataire. Le hub switché *« cut through »* ne dispose pas de mémoire tampon et commute le message à la volée et est donc plus rapide mais moins sécurisant.

Nous reviendrons sur ces concentrateurs et commutateurs, ainsi que sur les autres composants éventuels, ponts, routeurs... dans le chapitre consacré à l'interconnexion de réseaux.

25.5 LES RESEAUX LOCAUX SANS FIL

Depuis août 1995 les stations composant un réseau local peuvent légalement (norme IEEE 802.11) être reliées entre elles par une liaison large bande sur la bande de fréquences des 2,4 GHz avec une puissance limitée à 100mW. Ces réseaux sont alors dits Réseaux Locaux Radioélectriques ou RLR. Une autorisation est cependant nécessaire pour mettre en oeuvre un tel réseau. La technique d'accès de type Ethernet sans collision - CSMA/CA - est employée sur ces réseaux. La distance entre stations n'excède pas 200 m et le débit ne dépasse pas les 2 MBits/s.

Ces valeurs sont en train d'évoluer avec la norme IEEE 802.11 b qui autorise un débit de 11 MBps et 10 Km de portée dans la même bande de fréquences des 2,4 GHz.

Ce genre de réseau trouve son intérêt dans des environnements difficiles (chantiers, ateliers flexibles, ...) où une configuration câblée lourde est techniquement ou financièrement impossible à envisager. La mise en oeuvre des stations peut se faire en poste à poste *(peer-to-peer)* où chaque station communique avec les autres sur une zone dite BSA *(Basic Service Area)* ou bien selon un modèle plus hiérarchique mettant en œuvre un concentrateur dit point d'accès (PA). Dans ce second cas, il est possible d'envisager la connexion de ce point d'accès, jouant alors le rôle de pont, avec d'autres réseaux câblés Ethernet ou même Token-Ring, soit encore le point d'accès peut jouer un rôle de répéteur de manière à étendre la portée du réseau.

EXERCICES

25.1 On souhaite implanter un petit réseau local — une vingtaine de postes répartis sur une distance d'au plus 100 m — au sein d'une entreprise d'usinage industriel. Le débit à assurer devra être de 100 MBps. Quelle topologie et quel type de câblage préconiseriez vous ?

SOLUTIONS

25.1 Compte tenu de la distance, tous les types de câblages sont, à priori, possibles (paire torsadée catégorie 5, coaxial ou fibre optique). Compte tenu du débit à assurer ne restent plus en lice que la fibre optique et la paire torsadée de catégorie 5 ou supérieure. Enfin, au vu de la distance et du peu de nœuds dans ce réseau la paire torsadée devrait être la plus économique. Toutefois, compte tenu de l'environnement industriel probable (machines outils, ...) de la paire torsadée blindée est à envisager ou, mieux mais plus cher, de la fibre optique.

Une étoile concentrée autour d'un HUB et un réseau fonctionnant en CSMA/CD semble la solution la plus simple et la mois onéreuse. Toutefois, rien n'interdit vraiment d'utiliser une solution en anneau avec une méthode par jeton ou même une autre topologie telle que l'arbre. Ceci peut être dû à des critères « géographiques » ou financiers. Le réseau à jeton a un débit pratique plus proche du débit théorique que le réseau à contention, du fait de l'absence de collisions mais il est bien plus onéreux.

Chapitre 26

Réseaux locaux – Les grands standards

Ethernet et Token-Ring sont actuellement les deux grands « standards » utilisés sur les réseaux locaux de gestion. Une part nettement moins significative du marché est cependant couverte par des réseaux de type Starlan, Vines, …

26.1 ETHERNET

26.1.1 Les origines d'Ethernet

Vers 1960, l'université d'Hawaii met au point, afin de relier ses machines réparties sur un campus géographiquement étendu, la technique de la diffusion, connue à cette époque sous le nom de réseau ALOHA. Cette technique est à la base du mode d'accès CSMA/CD. En 1972, le centre de recherche de Rank Xérox à Palo Alto met au point un système de câblage et de signalisation qui utilise la diffusion CSMA/CD, donnant naissance au réseau Ethernet. Dans les années 1975 Xérox, Intel et Digital s'associent pour élaborer la norme de l'architecture Ethernet 1 MBps.
L'architecture de réseau Ethernet est née et ne va cesser de prendre de l'ampleur en s'adaptant à l'évolution des techniques, notamment en ce qui concerne les débits.
Les organismes IEEE et ISO ont intégré ces modèles dans un ensemble de normes référencées IEEE 802.2 et IEEE 802.3 ou ISO 8802.2 et ISO 8802.3. Ethernet est donc devenu un standard et c'est actuellement l'architecture de réseau la plus répandue.

26.1.2 Caractéristiques du réseau Ethernet

A l'origine Ethernet est une architecture de réseau reposant sur une topologie de type bus linéaire, supportée par du câble coaxial mais ces caractéristiques ont évolué pour correspondre aux progrès technologiques. Actuellement les caractéristiques d'un réseau Ethernet sont généralement les suivantes.

CARACTÉRISTIQUES DU RÉSEAU ETHERNET

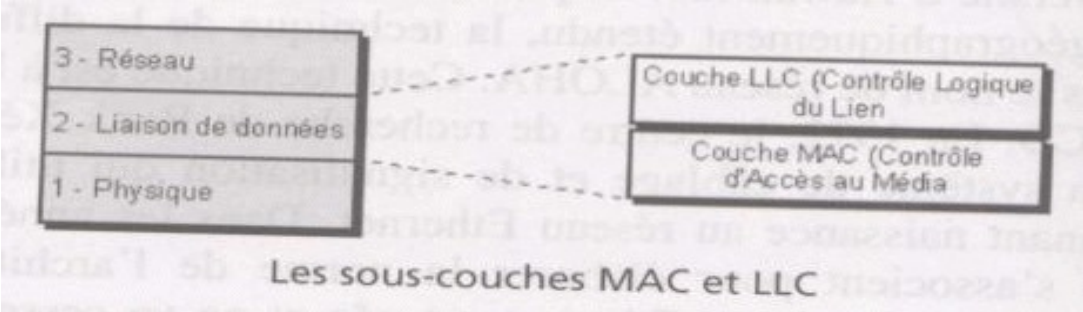
• Topologie	• Bus linéaire – essentiellement à l'origine • Étoile – sur Hub ou commutateur
• Mode de transmission	• Bande de base • Mais on peut utiliser la large bande
• Mode d'accès	• CSMA/CD
• Vitesse de transmission	• 10 MBps • 100 MBps • 1 GBps et évolution vers le 10 GBps
• Câblage	• Coaxial fin (10 Base-2) • Coaxial épais (10 Base-5) • Paire torsadée (10 Base-T)
• Normalisation	• IEEE 802 et ses adaptations (802.1, 802.2, 802.3, ...) • ISO 8802 et ses adaptations (8802.2, 8802.3, ...)

Nous avons déjà étudié les notions de topologie, mode de transmission, mode d'accès, vitesse de transmission et les divers câblages existants. Nous n'allons donc pas y revenir mais étudier plus avant le positionnement de l'architecture Ethernet par rapport au modèle ISO, ainsi que le détail des trames Ethernet.

a) Place d'Ethernet dans les normes ISO et IEEE

La norme IEEE *(Institute of Electrical & Electronic Engineering)* 802, qui est la référence en matière de réseau Ethernet, introduit une division de la couche Liaison de données du modèle ISO (niveau 2 ISO ou couche Ligne) en deux sous-couches.

- la couche MAC (*Media Access Control*)
- la couche LLC *(Logical Link Control)*



b) Rôle des couches MAC et LLC

La sous-couche MAC *(Media Access Control)* correspond à la couche inférieure de cette division du niveau 2 et communique donc d'un côté directement avec le niveau physique (niveau 1 ISO) - d'où l'appellation de contrôle d'accès au média (le média étant matérialisé par l'adaptateur réseau ou carte réseau) - et de l'autre côté avec la sous-couche LLC. La sous-couche MAC assure le formatage des trames à transmettre et doit aussi assurer la remise des données entre deux stations du réseau.

La sous-couche MAC répond à diverses normes en fonction du mode d'accès utilisé :

- 802.3 CSMA/CD,
- 802.4 Bus à jeton,
- 802.5 Anneau à jeton,
- 802.12 Priorité à la demande ou 100 VG Anylan...

La plus répandue de ces normes est sans nul doute la 802.3 qui correspond au mode d'accès CSMA/CD utilisé dans la plupart des architectures Ethernet.
L'adaptateur réseau possède, en mémoire morte, une adresse unique, adresse matérielle ou adresse MAC *(Media Access Control)*. Cette adresse est une suite de 6 octets (48 bits). Les 3 premiers octets, attribués par l'IEEE identifient le constructeur, tandis que les 3 suivants identifient l'adaptateur.

00.20.AF.00.AF.2B identifie ainsi une carte du constructeur 3COM.

La sous-couche MAC est donc chargée de faire le lien avec cette adresse.
La sous-couche LLC *(Logical Link Control),* ou contrôle des liens logiques, est située immédiatement au-dessus de la couche MAC. Elle est chargée de gérer les communications en assurant le contrôle du flux de données et des erreurs. Elle communique avec la couche MAC d'un côté et avec la couche Réseau (niveau 3 ISO) d'un autre. La sous-couche LLC définit l'utilisation de points d'interface logique *SAP (Service Access Point)* qui correspondent, en quelque sorte, à des adresses utilisées pour communiquer entre les couches de la pile ISO. On rencontrera, ainsi dans les trames Ethernet définies par l' IEEE 802 (RFC 1042), une zone DSAP *(Destination Service Access Point)* et une zone SSAP *(Source Service Access Point),* correspondant aux adresses de destination et d'origine de la trame.

La norme IEEE 802.3 a été reprise par l'ISO sous la référence ISO 8802.3 qui décrit les caractéristiques des réseaux Ethernet. On rencontre ainsi les principales variantes suivantes, données, ici, avec leurs références IEEE.

- IEEE 802.3 -10 Base-2 Ethernet 10 MBps coaxial fin ; coaxial brun dit également *Thin Ethernet,*
- IEEE 802.3 -10 Base-5 Ethernet 10 MBps coaxial épais ; coaxial jaune dit aussi *Thick Ethernet,*
- IEEE 802.3 -10 Base-T Ethernet 10 MBps paire torsadée *(Twisted pair),*
- IEEE 802.3 -10 Base-F Ethernet 10 MBps fibre optique *(Fiber optic),*
- IEEE 802.11 -10 Base-X Ethernet 10 MBps par voie hertzienne,
- IEEE 802.3 -10 Broad36 Ethernet 10 MBps large bande (modulation de fréquences),

- IEEE 802.3 -100 Base-T Ethernet 100 MBps paire torsadée *(Twisted pair),* dit également *Fast Ethernet* avec ses variantes :

- 100 Base-T4 câble 4 paires (blindé ou non) catégorie 5,
- 100 Base-TX câble 2 paires (blindé ou non),
- 100 Base-FX fibre optique 2 brins.

On ne rencontre en principe pas de carte Ethernet 100 MBps offrant un port BNC qui permette de se connecter sur du câble coaxial.

- IEEE 802.3ab - 1000 Base-T ou Ethernet 1 000 MBps (1 GBps) sur paire torsadée *(Twisted pair)* UTP catégorie 5, où les 4 paires sont utilisées et permettent d'atteindre 100 m ; dit également *Gigabit Ethernet* avec ses variantes :

- 1000 Base-LX fibre optique multimode 62,5 µ permettant d'atteindre 440 m,
- fibre optique multimode 50 µ permettant d'atteindre 550 m,
- 1 000 Base-SX fibre optique multimode 62,5 µ permettant d'atteindre 260 m, - fibre optique multimode 50 µ permettant d'atteindre 550 m, fibre optique monomode 10 µ permettant d'atteindre 5 km.
- 1 000 Base-CX câble coaxial blindé permettant d'atteindre 25 m.

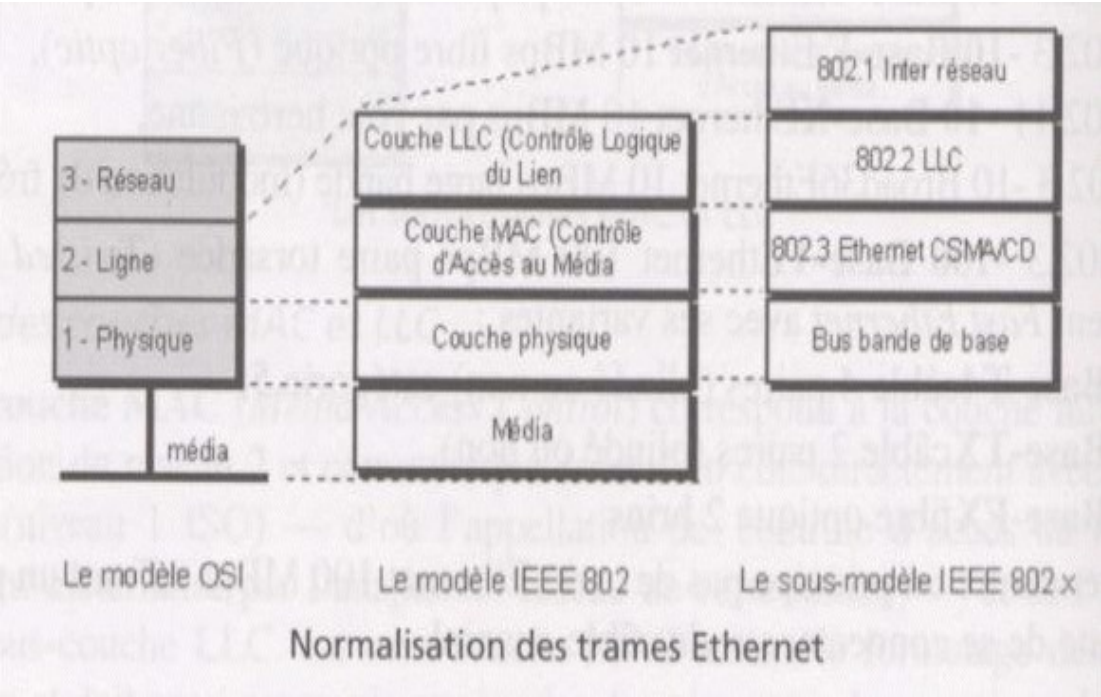
Et il existe encore bien d'autres variantes propriétaires permettant d'atteindre par exemple 6 Km en fibre optique monomode pour la société Canary, 2 Km en multimode pour la société Nbase... D'autre part une étude est en cours auprès de l'IEEE pour mettre en place une future norme 10 GBps !

Ethernet transporte les données sur des trames. La longueur d'une trame est variable et peut aller de 64 octets minimum à 1 531 octets selon le type. La taille des données transportées varie quant à elle de 46 à 1 500 octets maximum par trame et ce quelque soit le type de trame Ethernet employé. Selon le réseau, la trame peut être de type :

- Ethernet 802.3 essentiellement employé avec le protocole IPX/SPX utilisé sur les réseaux Novell Netware.
- Ethernet 802.2 employé également avec le protocole IPX/SPX mais aussi avec le protocole de transfert FTAM *(File Transfert Access and Management)*.
- Ethernet SNAP *(Subnetwork Access Protocol)* qui accepte les protocoles IPX/ SPX, TCP/IP et Apple Talk.
- Ethernet II est sans doute la plus couramment employée. Elle fonctionne comme l'Ethernet SNAP mais se différencie au niveau d'un des champ de la trame.

Chaque trame va comprendre sensiblement les mêmes sections telles que :

- Le préambule d'une trame Ethernet comporte 7 octets de valeur AAh ce qui détermine une suite de 0 et de 1 permettant d'assurer la fonction de synchronisation avec les stations réceptrices. Il est associé à un octet supplémentaire dit SFD *(Start Frame Delimiter)* de valeur ABh qui, se terminant par deux 1 consécutifs, sert à repérer le début de la trame.



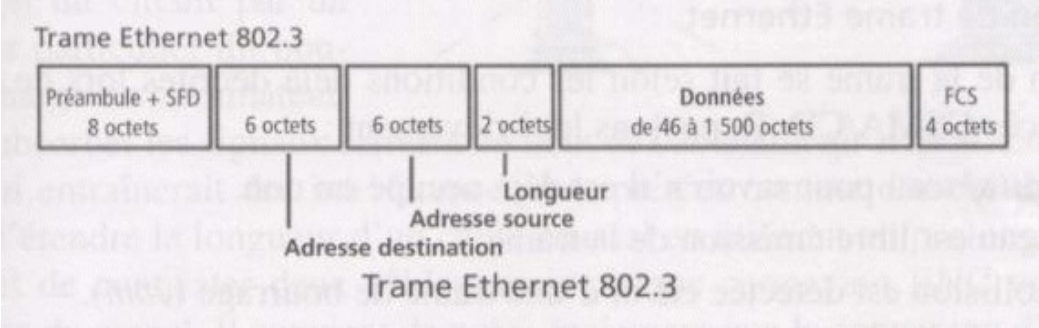
Normalisation des trames Ethernet

- L'adresse de destination de la trame qui correspond à l'adresse MAC de la station à laquelle sont destinées les informations. Cette adresse MAC est codée sur 6 octets.

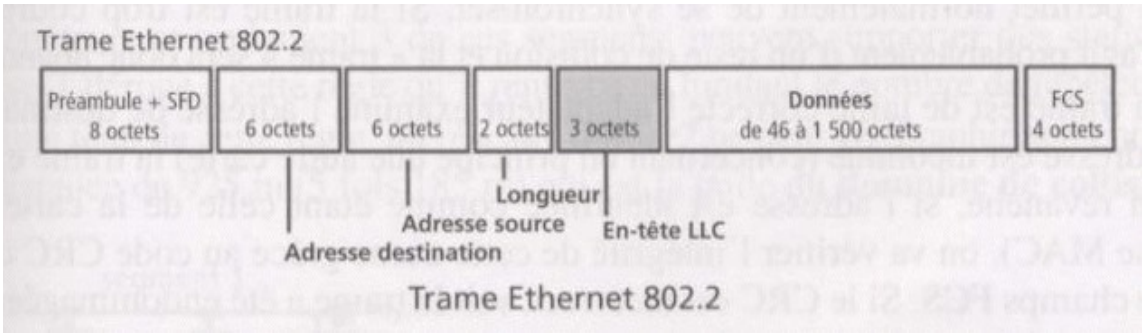
- L'adresse de source de la trame qui correspond à l'adresse MAC de la station qui émet les informations.
- Les octets suivants, en nombre variable, ont un rôle différent selon le type de trame.
- Données. Leur taille varie de 46 à 1 500 octets par trame.

- Le FCS *(Frame Check Sequence)* est le résultat d'un contrôle de type modulo destiné à savoir si la trame est arrivée en bon état. C'est un contrôle de redondance cyclique CRC et on le rencontre parfois sous ce nom.

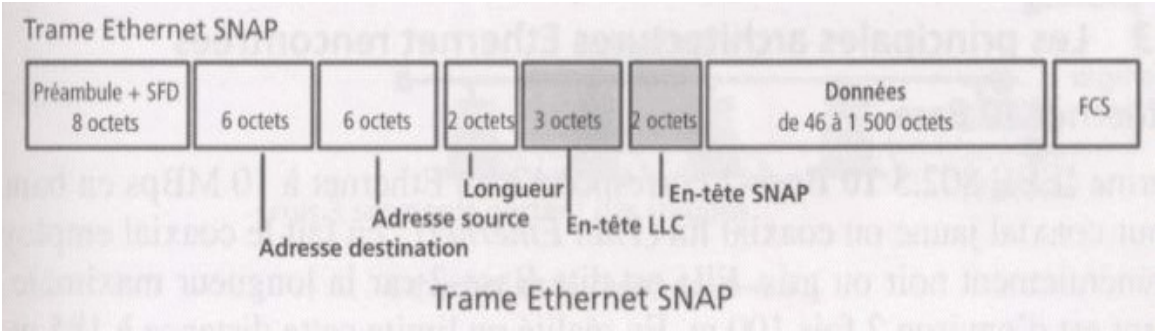
On va donc rencontrer avec Ethernet, divers types de trames.
Trame Ethernet 802.3 : Dans cette trame, 2 octets indiquent la longueur du champ de données contenu dans la trame.



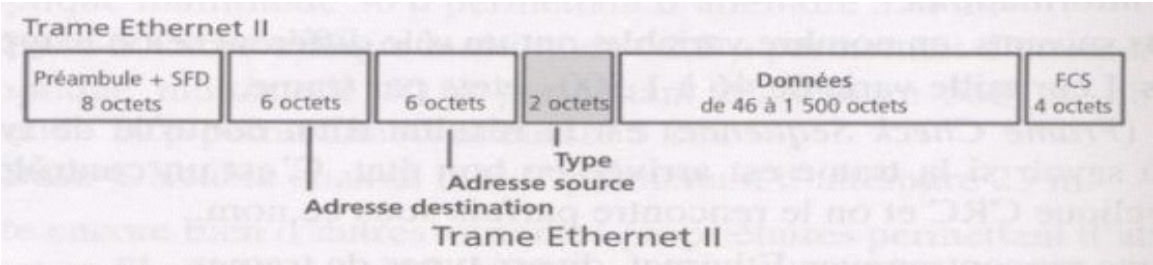
Trame Ethernet 802.2 : Dans cette trame, 2 octets indiquent la longueur du champ de données contenu dans la trame. Ils sont suivis de 3 octets destinés à contenir l'entête LLC. Le premier de ces octets est le DSAP *(Destination Service Access Point)* et indique le type de protocole utilisé par le poste source. Le deuxième octet est le SSAP *(Source Service Access Point)* et le troisième octet joue le rôle de pointeur de contrôle.



Trame Ethernet SNAP : 2 octets indiquent ici la longueur du champ de données et sont suivis des 3 octets d'en-tête LLC ainsi que de 2 octets codant l'en-tête SNAP.



Trame Ethernet II : Dans la trame Ethernet II, 2 octets suivant les adresses indiquent le type de trame, ce qui permet d'identifier le protocole réseau utilisé IP ou IPX. Les valeurs couramment rencontrées sont 0800h pour une trame IP, 0806h pour une trame ARP, 0835h pour une trame RARP et 809Bh pour une trame AppleTalk.



La trame de bourrage, qui est émise en cas de collision, est d'une longueur de 32 bits. Cette trame particulière est dite *Jam*.

> Émission de trame Ethernet

L'émission de la trame se fait selon les conditions déjà décrites lors de l'étude du mode d'accès CSMA/CD. Rappelons les brièvement :

- Écoute du réseau pour savoir s'il est déjà occupé ou non.
- Si le réseau est libre émission de la trame.
- Si une collision est détectée envoi d'une trame de bourrage *(Jam)*.
- Exécution de l'algorithme de temporisation.
- À l'issue du délai réémission de la trame.

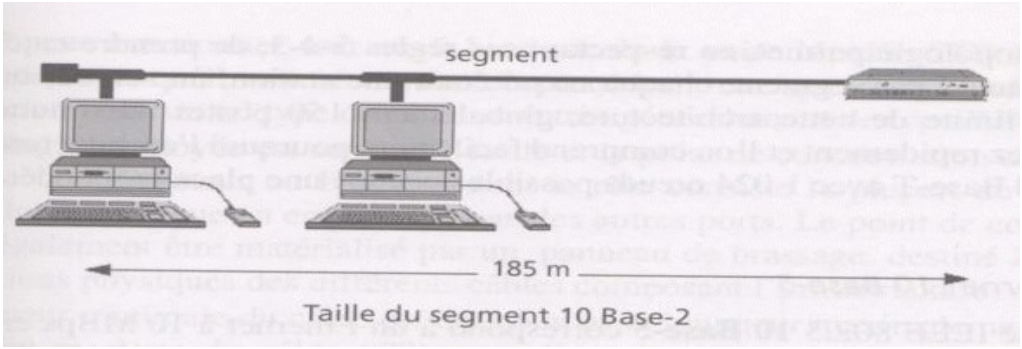
> Réception de trame Ethernet

La réception d'une trame entraîne un certain nombre de contrôles de la part de la carte réceptrice. L'adaptateur réseau va tout d'abord lire les octets de préambule ce qui lui permet normalement de se synchroniser. Si la trame est trop courte, c'est qu'il s'agit probablement d'un reste de collision et la « trame » sera donc abandonnée.
Si la trame est de taille correcte l'adaptateur examine l'adresse de destination. Si cette adresse est inconnue (concernant en principe une autre carte) la trame est ignorée. En revanche, si l'adresse est identifiée comme étant celle de la carte réseau (adresse MAC), on va vérifier l'intégrité de cette trame grâce au code CRC contenu dans le champs FCS. Si le CRC est incorrect, soit la trame a été endommagée lors du transport et donc mal reçue, soit il y a eu un problème de synchronisation ce qui entraîne l'abandon de la trame. Si tous ces tests sont passés avec succès, le contenu de la trame est passé à la couche supérieure.

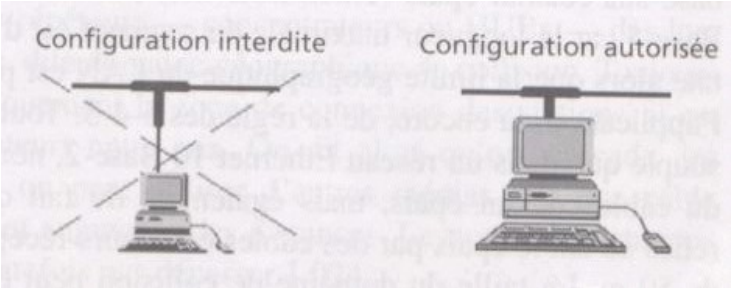
26.1.2 Caractéristiques du réseau Ethernet

a) Ethernet 10 Base-2

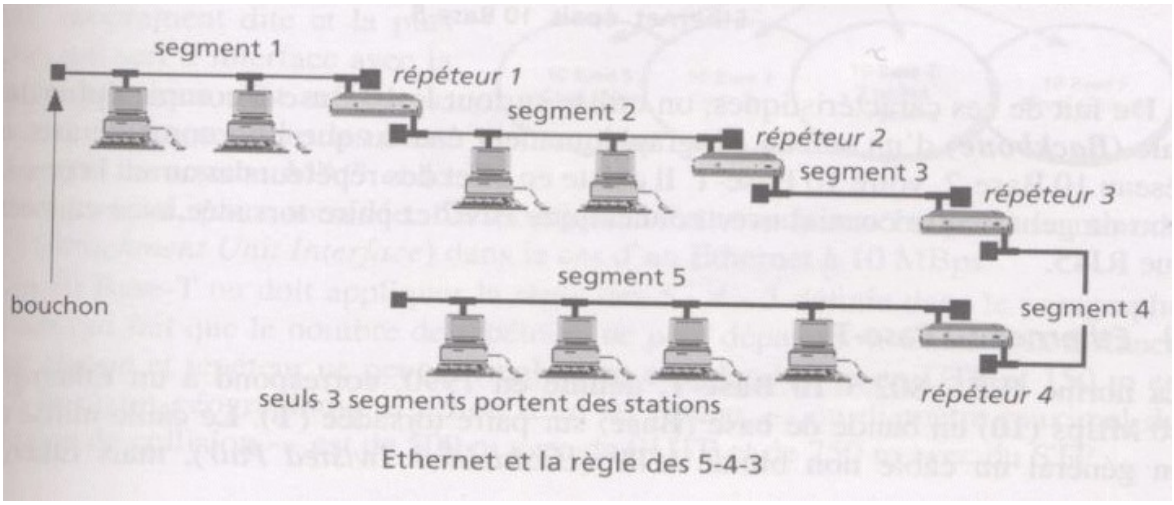
La norme IEEE 802.3 10 Base-2 correspond à un Ethernet à 10 Mbps en bande de base sur coaxial jaune ou coaxial fin (Thin Ethernet) ; en fait le coaxial employé est très généralement noir ou gris. Elle est dite Base-2 car la longueur maximale d'un segment est d'environ 2 fois 100m. En réalité on limite cette distance à 185m.



Les connecteurs employés avec le câblage coaxial fin sont de type BNC *(British Naval Connector)* et il faut assurer la terminaison du circuit par un connecteur particulier dit bouchon de charge ou terminateur, destiné à absorber les signaux arrivant en bout de câble afin qu'il ne soient pas réfléchis ce qui entraînerait des interférences interprétées comme des collisions. Il est possible d'étendre la longueur d'un câble coaxial en utilisant un prolongateur BNC qui permet de connecter deux câbles, mais chaque connexion BNC entraîne une dégradation du signal. Il convient de noter également que la connexion d'un ordinateur, au travers d'un câble, sur un connecteur BNC de type T, relié au bus est en principe non autorisée. Le connecteur en T devant être placé directement sur la carte réseau située sur la station.



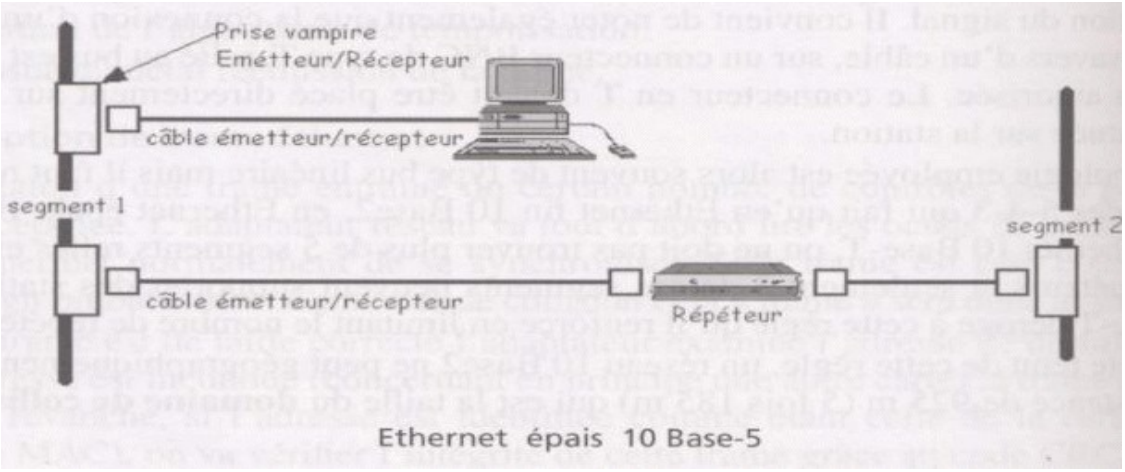
La topologie employée est alors souvent de type bus linéaire mais il faut respecter la règle des 5-4-3 qui fait qu'en Ethernet fin 10 Base2, en Ethernet épais 10 Base5 ou en Ethernet 10 Base-T, on ne doit pas trouver plus de 5 segments reliés entre eux par 4 répéteurs et seulement 3 de ces segments peuvent supporter des stations. Le 100 Base-T déroge à cette règle qu'il renforce en limitant le nombre de répéteurs à 2.
Compte tenu de cette règle, un réseau 10 Base2 ne peut géographiquement dépasser la distance de 925 m (5 fois 185 m) qui est la taille du domaine de collision.



Cette topologie permet, en respectant ces règles 5-4-3, de prendre en charge jusqu'à 30 noeud par segment, chaque noeud étant une station, un serveur ou un répéteur. La limite de cette architecture, globalement 150 postes maximum, apparaît ors assez rapidement et l'on comprend facilement pourquoi l'architecture 10 Base-T ou 100 Base-T avec 1 024 noeuds possibles occupe une place prépondérante sur le marché.

b) Ethernet 10 Base-5

La norme IEEE 802.3 10 Base-5 correspond à un Ethernet à 10 MBps en bande de base sur coaxial épais *(Thick Ethernet) ;* coaxial brun (noir en fait). Elle est dite Base-5 car la longueur maximale du segment est d'environ 5 fois 100 m. On constate alors que la limite géographique du LAN est portée à 2 500 m compte tenu de l'application, là encore, de la règle des 5-4-3. Toutefois la structure n'est pas aussi souple que dans un réseau Ethernet 10 Base-2, non seulement du fait de la rigidité du câble coaxial épais, mais également du fait que les ordinateurs doivent être reliés au câble épais par des câbles émetteurs-récepteurs d'une longueur maximum de 50 m. La taille du domaine de collision peut être ainsi portée à 2 600 m. Les émetteurs récepteurs sont des composants placés dans des prises vampires reliées au câbles et assurant la relation avec l'ordinateur. Sur un même segment épais peuvent être connectés 100 ordinateurs.



Ethernet épais 10 Base-5

Du fait de ces caractéristiques, on utilise surtout le 10 Base-5 comme épine dorsale (*Backbone*) d'un réseau géographiquement étendu que l'on combine avec un réseau 10 Base-2, voire 10 Base-T. Il existe en effet des répéteurs assurant la conversion de genre entre coaxial avec connectique BNC et paire torsadée avec connectique RJ45.

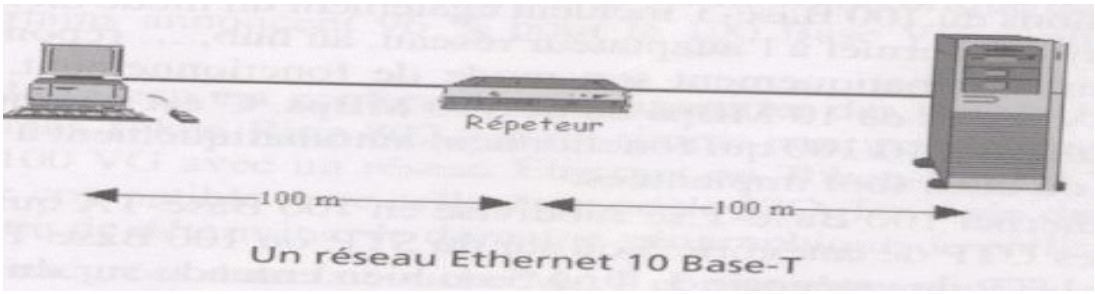
c) Ethernet 10 Base-T

La norme IEEE 802.3 10 Base-T, définie en 1990, correspond à un Ethernet à 10 MBps (10) en bande de base (Base) sur paire torsadée (T).

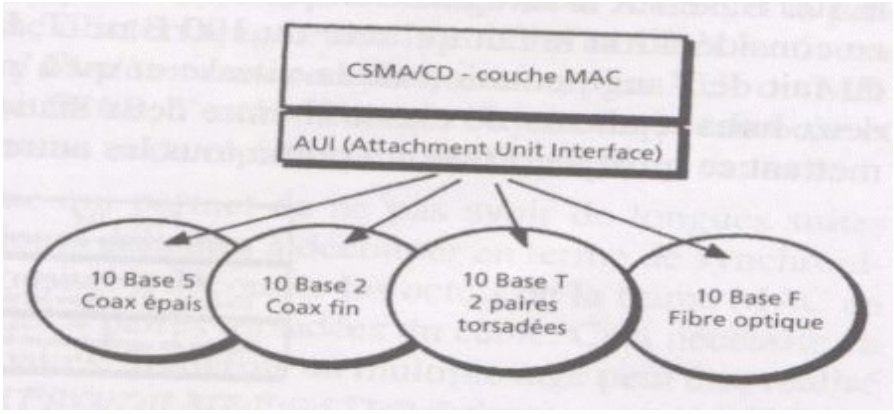
Le câble utilisé est en général un câble non blindé UTP *(Unshielded Twisted Pair),* mais Ethernet 10 Base-T peut fonctionner tout aussi bien sur de la paire blindée STP (*Shielded Twisted Pair*) sans qu'il soit nécessaire de procéder à une quelconque adaptation. Les connecteurs sur un tel type de câble sont très généralement de type RJ45.

La topologie employée est souvent l'étoile et le point de concentration un simple répéteur - concentrateur ou HUB - dont le rôle consiste la plupart du temps à rediffuser la trame reçue en entrée vers tous les autres ports. Le point de concentration peut également être matérialisé par un panneau de brassage destiné à assurer les connexions physiques des différents câbles composant l'infrastructure.

La longueur minimale du câble est de 2,5 m et sa longueur maximale ne doit pas excéder 100 m. Avec du câble STP cette distance peut cependant être portée à 150 m. On doit donc utiliser des répéteurs - concentrateurs ou HUBs - dès lors qu'on veut étendre cette distance, dite domaine géographique de collision. Toujours dans le but d'étendre géographiquement la zone de connexion des stations, il est possible de relier ces concentrateurs entre eux. On dit alors qu'on cascade les Hubs. Entre ces concentrateurs on peut utiliser d'autres médias tels que câble coaxial, fibre optique... si on veut augmenter les distances. Le nombre de stations ainsi mises en relation ne doit toutefois pas dépasser 1 024.

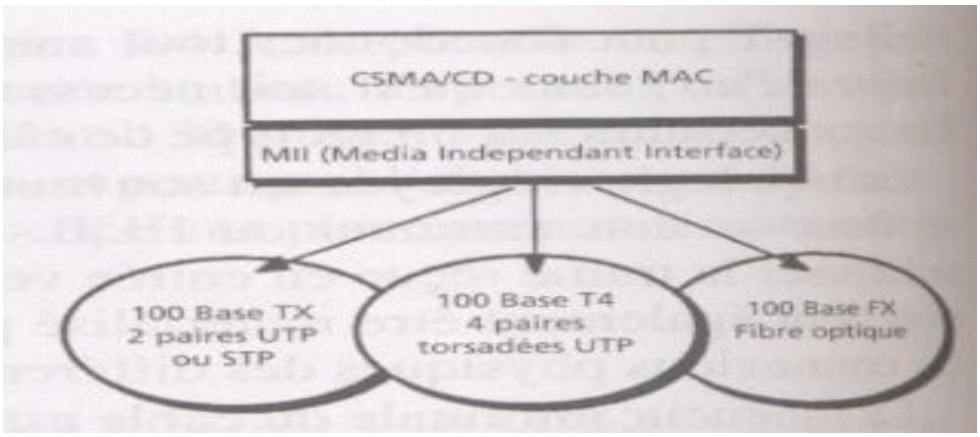


Un réseau Ethernet 10 Base-T

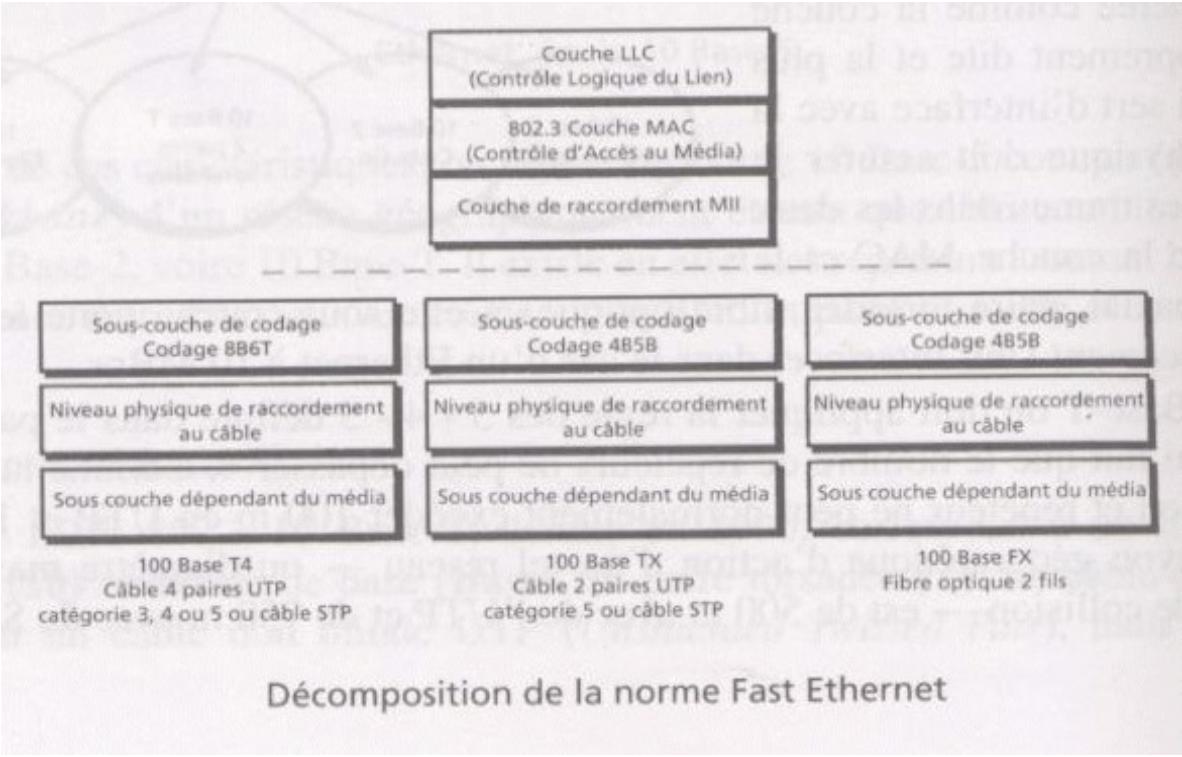


La norme 802.3, utilisée également dans le 100 Base-T subdivise à nouveau la couche MAC en deux sous-couches. La plus haute est considérée comme la couche MAC proprement dite et la plus basse, qui sert d'interface avec la couche physique doit assurer le passage des trames dans les deux sens entre la couche MAC et le média (coaxial, paire torsadée, fibre optique). Cette sous-couche porte le nom de AUI *(Attachment Unit Interface)* dans le cas d'un Ethernet à 10 MBps.
En 10 Base-T on doit appliquer la règle des 5 - 4 - 3 définie dans le paragraphe suivant qui fait que le nombre de répéteurs ne peut dépasser 4. Comme la distance entre station et répéteur ne peut normalement excéder 100 m en UTP et 150 m en STP, le rayon géographique d'action d'un tel réseau - ou diamètre maximal du domaine de collision - est de 500 m avec de l'UTP et de 750 m avec du STP.

d) Ethernet 100 Base-T ou Fast Ethernet



Compte tenu des besoins croissants nécessitant par les applications multimédia, client-serveur… mises en œuvre sur les réseaux, le 10 Base-T insuffisant a évolué vers une norme au débit de 100 MBps. Le *Fast Ethernet* se présente donc comme une extension de l'Ethernet 802.3 à 10 MBps et introduit en plus de la sous-couche *MII (Media Independant Interface)* - équivalent à la couche AUI du 10 Base-T -, une subdivision en trois niveaux de la couche physique (niveau 1 ISO). La couche MAC du 100 Base-T est sensiblement la même que celle du 10 Base-T. En effet, il a suffit de réduire la durée de transmission de chaque bit par 10 pour décupler la vitesse théorique du *Fast Ethernet.* Le format des trames (longueur, contrôle des erreurs, informations de gestion, ...) est identique à celui du 10 Base-T ce qui assure une parfaite compatibilité des applications, n'impliquant que le seul changement des équipements de transmission tels que les cartes réseau ou les répéteurs pour passer d'un réseau 10 MBps à un réseau 100 MBps.
Les spécifications du 100 Base-T incluent également un mode dit *Auto Negociation Scheme ou Nway* qui permet à l'adaptateur réseau, au hub, ... répondant à la spécification de définir automatiquement son mode de fonctionnement. La couche MII admet donc les vitesses de 10 MBps ou de 100 MBps. C'est pourquoi on peut utiliser des cartes Ethernet 10/100 qui fonctionnent automatiquement à 10 ou 100 MBps selon le réseau où elles sont implantées.
La norme Ethernet 100 Base-T se subdivise en 100 Base-TX qui fonctionne avec un câble 2 paires UTP de catégorie 5 ou sur du STP, ou 100 Base-T4, qui fonctionne sur du 4 paires UTP de catégorie 3, 4 ou 5 ou bien entendu sur du câble STP. Enfin le 100 Base-FX assure une transmission sur fibre optique.
Cependant, il faut prendre en considération le fait qu'avec du 100 Base-T, la distance entre hub tombe à 10 m du fait de l'augmentation de la vitesse et qu'à priori, le 100 Base-T ne tolère que deux hubs répéteurs de classe II entre deux stations. Un répéteur de classe II transmettant ce qu'il reçoit sur un port à tous les autres ports, sans aucun contrôle.



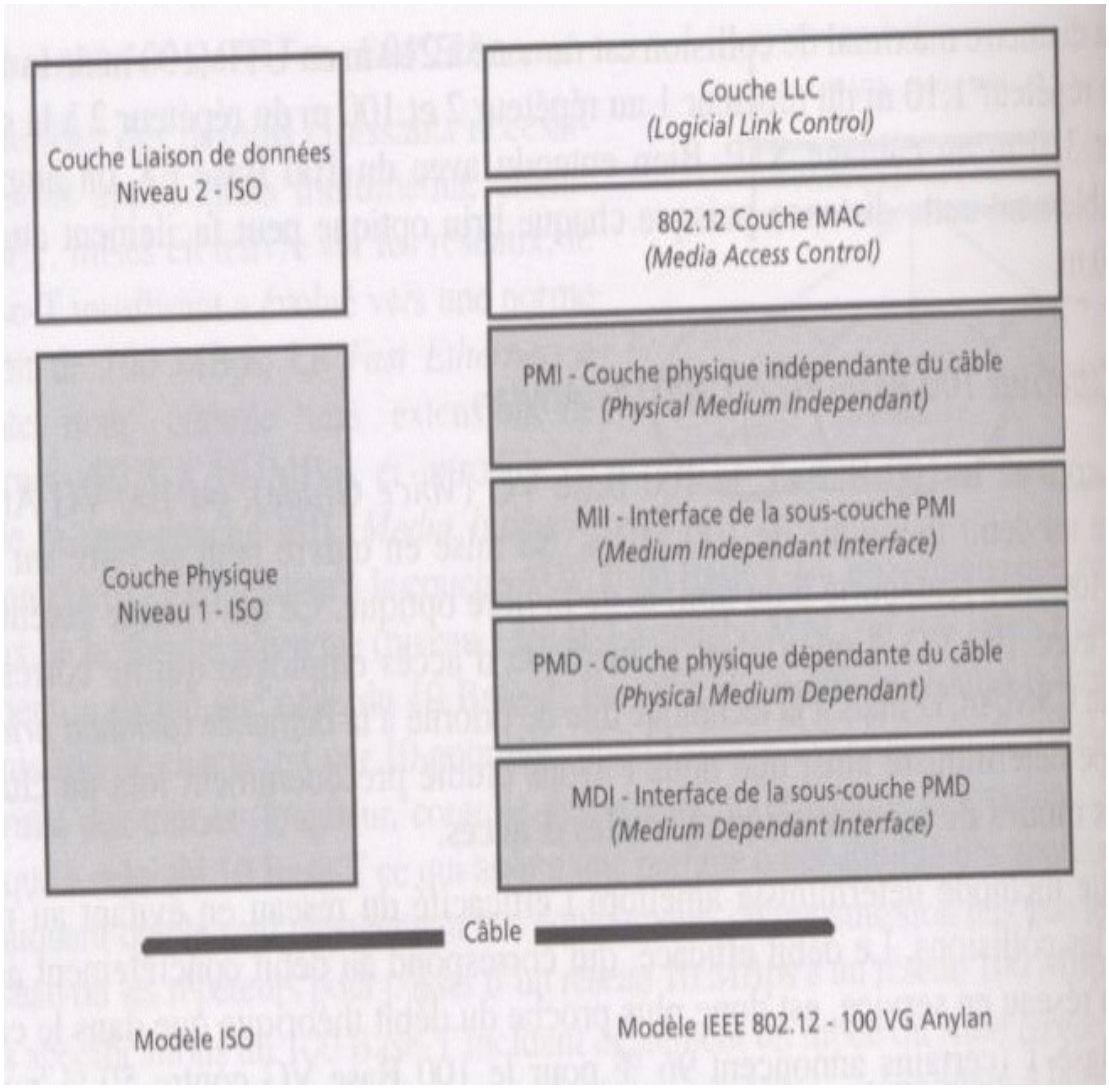
Décomposition de la norme Fast Ethernet

Le diamètre maximal de collision est ramené à 210 m en UTP (100 m de la station A au répéteur 1,10 m du répéteur 1 au répéteur 2 et 100 m du répéteur 2 à la station B) et 310 m en câblage STP. Bien entendu avec du 100 Base-FX on augmente sensiblement cette distance puisque chaque brin optique peut facilement atteindre 2 000 m.

e) Ethernet 100 Base-VG ou 100 VG Anylan

Tout comme le 100 Base-T, le 100 Base VG *(Voice Grade), ou* 100 VG Anylan, assure un débit théorique de 100 MBps. Sa mise en oeuvre peut se faire sur de la paire torsadée (catégorie 5 ou non) et de la fibre optique. Ce qui change essentiellement avec 100 VG Anylan c'est la méthode d'accès employée qui ne correspond plus au CSMA/CD mais à la technique dite de priorité à la demande *(demand priority),* de type déterministe ainsi que nous l'avons étudié précédemment lors du chapitre sur les modes de transmission et modes d'accès.
Cette méthode déterministe améliore l'efficacité du réseau en évitant au maximum les collisions. Le débit efficace, qui correspond au débit concrètement atteint sur un réseau en service, est donc plus proche du débit théorique que dans le cas du 100 Base-T (certains annoncent 96 % pour le 100 Base VG contre 50 % pour le 100 Base-T).

Chaque hub du réseau est configuré pour supporter des trames Ethernet de type 802.3 ou des trames Token-Ring 802.5 et un simple pont permet de faire communiquer un réseau 100 VG avec un réseau Ethernet ou Token-Ring. L'architecture du IOOVG est donc compatible avec celle du modèle ISO. La règle des 5-4-3 s'applique encore ici, afin de déterminer le domaine géographique de collision.
Les fonctions intégrées dans la couche MAC comprennent le contrôle du protocole de priorité de la demande *(demand priority),* l'apprentissage de la liaison et la préparation de la trame. La sous-couche d' interfaçage entre la couche MAC et le niveau Physique est ici dite PMI *(Physical Medium Independant)* et non plus AUI ou MIL Son rôle est d'assurer un encodage 5B6B, l'embrouillage, l'ajout du préambule et des délimiteurs de début et fin de trame et de répartir le signal sur quatre canaux.
L'embrouillage est une technique qui permet de ne pas avoir de longues suites de 0 ou de longues suites de 1, toujours délicates à découper en terme de synchronisation. La répartition des canaux consiste à découper les octets de la trame MAC en quintes de bits, dirigés vers l'une des 4 paires torsadées du câble. Ceci nécessite en principe l'emploi d'un câblage à 4 paires. Toutefois un multiplexage peut être réalisé au niveau de la sous-couche PMD *(Physical Medium Dependant),* niveau 1 ISO, ce qui permet de n'utiliser qu'un simple câble à 2 paires torsadées. La sous-couche PMD réalise donc le multiplexage des canaux, un encodage de type NRZ *(No Return to Zero),* NRZI..., le contrôle du statut de la liaison (inactif, paquet entrant en priorité normale, demande d'apprentissage de la liaison, demande à haute priorité, ...). Bien que prometteur, 100 VG Anylan ne semble pas avoir percé par rapport à Ethernet car il remettait en cause l'infrastructure du réseau au niveau des concentrateurs et commutateurs.



f) Ethernet 1 000-BaseT ou Gigabit Ethernet

Destiné à concurrencer ATM en se basant sur des normes reconnues permettant de préserver l'existant, Ethernet 1 000 Base-T ou Gigabit Ethernet est une extension de la technologie Ethernet 100 MBits/s. Cette technologie reprend le format des trames définies dans la norme 802.3 ainsi que la méthode d'accès retenue : CSMAI CD. Gigabit Ethernet emprunte également aux normes définies pour les réseaux FDDI *(Fiber Distributed Data Interface)* sur un certain nombre de points tels que par exemple le codage 8B l OB retenu (8 bits de données - 10 bits codés).

Ethernet gigabits doit fonctionner sur du câble de catégorie 5 en utilisant les 4 paires en Full/Duplex. Chaque paire travaille donc avec un débit de 250 MBps.

A priori le Gigabit Ethernet est actuellement plutôt employé comme backbone sur de la fibre optique.

g) Ethernet 10 GBps

Le Gigabit Ethernet est à peine normalisé que déjà on a lancé l'étude d'un réseau Ethernet à 10 GBps destiné, dans un premier temps, à la fibre optique, mais le support paire torsadé est également envisagé. Toutefois ce support ne devrait pas être normalisé avant 2 001.

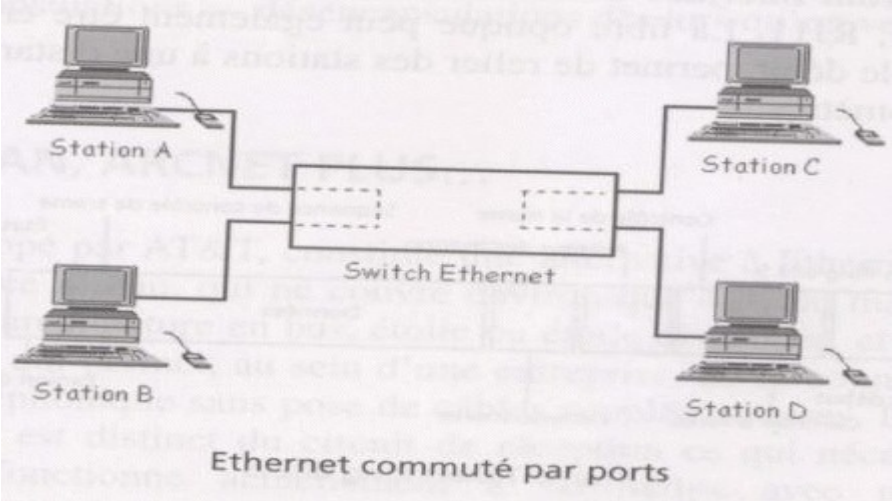
h) Ethernet commuté

Dans un réseau local où le nombre de machines connectées et échangeant des données est peu important, la technique de la diffusion suffit, même si quelques collisions viennent faire chuter le débit théorique ainsi que nous l'avons mentionné précédemment. Toutefois, dès lors que le réseau s'agrandit et que l'échange d'informations s'intensifie, les collisions deviennent plus nombreuses et les performances se dégradent rapidement.

Une première solution consiste à fractionner le réseau en segments qui représentent alors autant de

sous-réseaux, que l'on peut relier entre eux au moyen de ponts ou de routeurs, ce qui nécessite la mise en oeuvre d'une politique réfléchie d'utilisation des protocoles. Nous reviendrons sur l'interconnexion de réseaux ultérieurement.

Une deuxième solution consiste à utiliser les techniques de commutation au travers de **commutateurs** Ethernet (***switch*** Ethernet). Le commutateur Ethernet établit momentanément un lien privé entre les deux stations qui souhaitent communiquer ce qui évite la diffusion des paquets vers les stations non concernées et évite donc les collisions avec des paquets issus d'autres stations. Par exemple, la station A doit être mise en relation avec la station B. Le switch Ethernet va donc commuter les messages entre ces deux stations, évitant ainsi de les diffuser vers C et D qui elles mêmes pourront être en relation sur une autre voie commutée. On évite ainsi les collisions de trames entre des paquets destinés à la station B et ceux destinés à la station D. Bien entendu, la commutation pourra être levée entre A et B et établie, par exemple, entre A et C dès que le port sur lequel est connecté la station C sera libre.



Ethernet commuté par ports

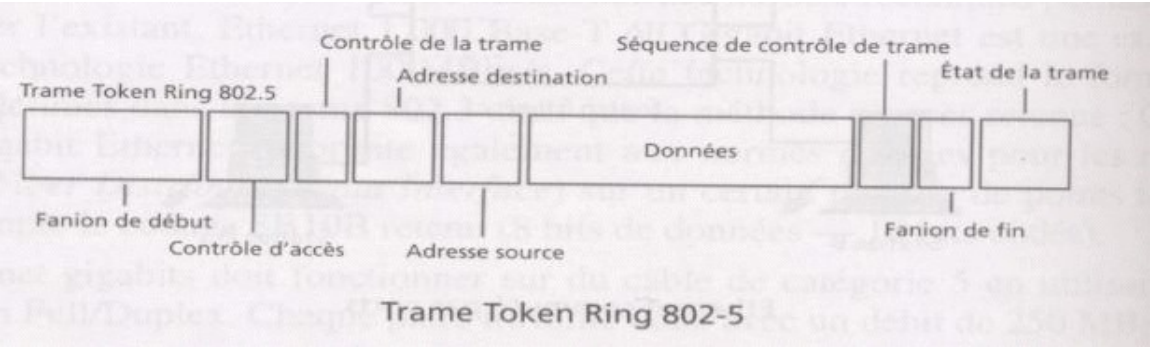
Cette technique de commutation est dite **commutation par port** car chaque port de connexion du switch est connecté à un autre port, ne recevant à chaque fois que les paquets d'une seule station. Le commutateur doit donc gérer une table de correspondance entre les adresses MAC *(Media Access Control)* des stations et le numéro du port physique auquel elles sont reliées. Une deuxième solution consiste à mettre en place une **commutation par segments** qui combine à la fois les principes de la diffusion sur les segments et les principes de la commutation entre ces divers segments. Nous reviendrons sur ces techniques de commutation lors du chapitre consacré à l'interconnexion des réseaux.

La commutation Ethernet est une solution adaptée aux entreprises ayant des besoins de communication rapide, ou des réseaux locaux conséquents. En effet le prix du switch Ethernet fait que son emploi ne se justifie à priori pas encore auprès des petits réseaux locaux ne comportant que quelques dizaines de postes.

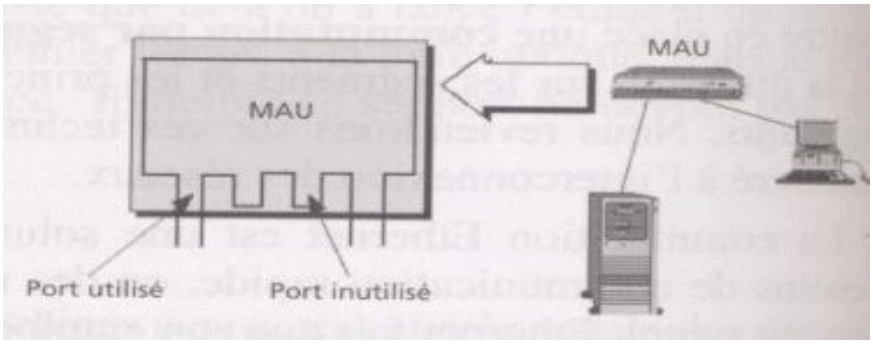
26.2 TOKEN-RING

Token-Ring ou anneau à jeton, a été pendant longtemps le fer de lance d'IBM en matière de réseaux locaux. Introduit en 1984 et normalisé ANSI/IEEE 802.5 en 1985, il ne couvre plus, en 1999, qu'environ 7 % du parc (en nombre de ports), second loin derrière Ethernet qui continue à progresser.

Il est caractérisé bien évidemment par une topologie en anneau *(ring)* et par une méthode d'accès **déterministe** par jeton *(token)* ou une seule station parle à la fois, ainsi que nous l'avons étudié précédemment.
Token-Ring se décline historiquement en diverses versions. Dans la version d'origine à 4 MBps il permet d'interconnecter 72 stations, puis 260 dans la version à 16 MBits/s (15 MBps efficaces). Une dernière version à 100 MBps - **HSTR** *(High Speed Token Ring)* - est apparue en 1998 pour tenter de combler l'écart qui s'accentue entre Token Ring et Ethernet mais il semblerait que l'objectif n'ait pas été atteint.
Avec Token-Ring, la connexion se fait en bande de base et on peut utiliser comme média la paire torsadée - STP, à l'origine, avec connecteurs IBM type A dits connecteurs MIC *(Media Interface Connector)* ou UTP de catégorie 3 ou 5, avec des connecteurs RJ45, RJ 11. La fibre optique peut également être employée, ce qui, selon le média et le débit, permet de relier des stations à une distance variant de 60 m à plusieurs kilomètres.



La trame Token-Ring comporte un certain nombre de champs classiques tels que les adresse de destination et d'émission mais également un champ Contrôle d'accès indiquant la priorité de la trame et s'il s'agit d'un jeton ou d'une trame de données. Le champ Etat de la trame permet de savoir si la trame a été reconnue, copiée ou non.



Chaque nœud du réseau comprend une unité d'accès multi-stations ou MAU *(Multi station Access Unit),* pouvant recevoir les connexions des postes. C'est ce MAU, aussi appelé MSAU *(Multi Station Access Unit),* ou SMAU *(Smart MAU)* qui joue en fait le rôle d'anneau bien que la topologie externe semble plutôt du type étoile. Les MAU peuvent être interconnectés de manière à agrandir l'anneau. Token-Ring supporte les protocoles NetBios, TCP/IP, AS400... et peut être étendu, grâce à des passerelles, vers Ethernet ou autres réseaux publics... Ce réseau est normalisé IEE 802.5 et ISO 8802.5 pour un débit de 4 ou 16 MBits/s.

La version 100 MBps, HSTR, reprend les bases de FDDI dont le protocole normalisé est assez proche de celui défini dans la norme 802.5. HSTR utilise la même couche MAC que le Token Ring à 4 ou 16 MBps ainsi que la même taille de trames (4,5 Ko, 9 Ko et 18 Ko). Les fonctions d'administration et de routage sont également les mêmes. En ce qui concerne la couche physique (niveau 1 OSI), seule la paire torsadée (catégorie 5) est actuellement finalisée mais la fibre optique est également envisagée.

Une version 1GBps à l'étude semble avoir été abandonnée car Ethernet s'est nettement imposé tant sur le plan des débits (10 GBps) que sur celui des coûts (environ 2 à 3 fois moins cher). Certains constructeurs tentent de pénétrer les deux segments de marchés en mixant Ethernet et Token-Ring. Ainsi, 3Com, avec une technologie dite *Token-Ring in Fast Ethernet* fait transporter des trames Token-Ring par des trames Ethernet sur des voies Fast Ethernet (100 MBps). Mais bien entendu il faut procéder à des encapsulations - désencapsulations dès lors qu'on veut passer de l'un à l'autre.

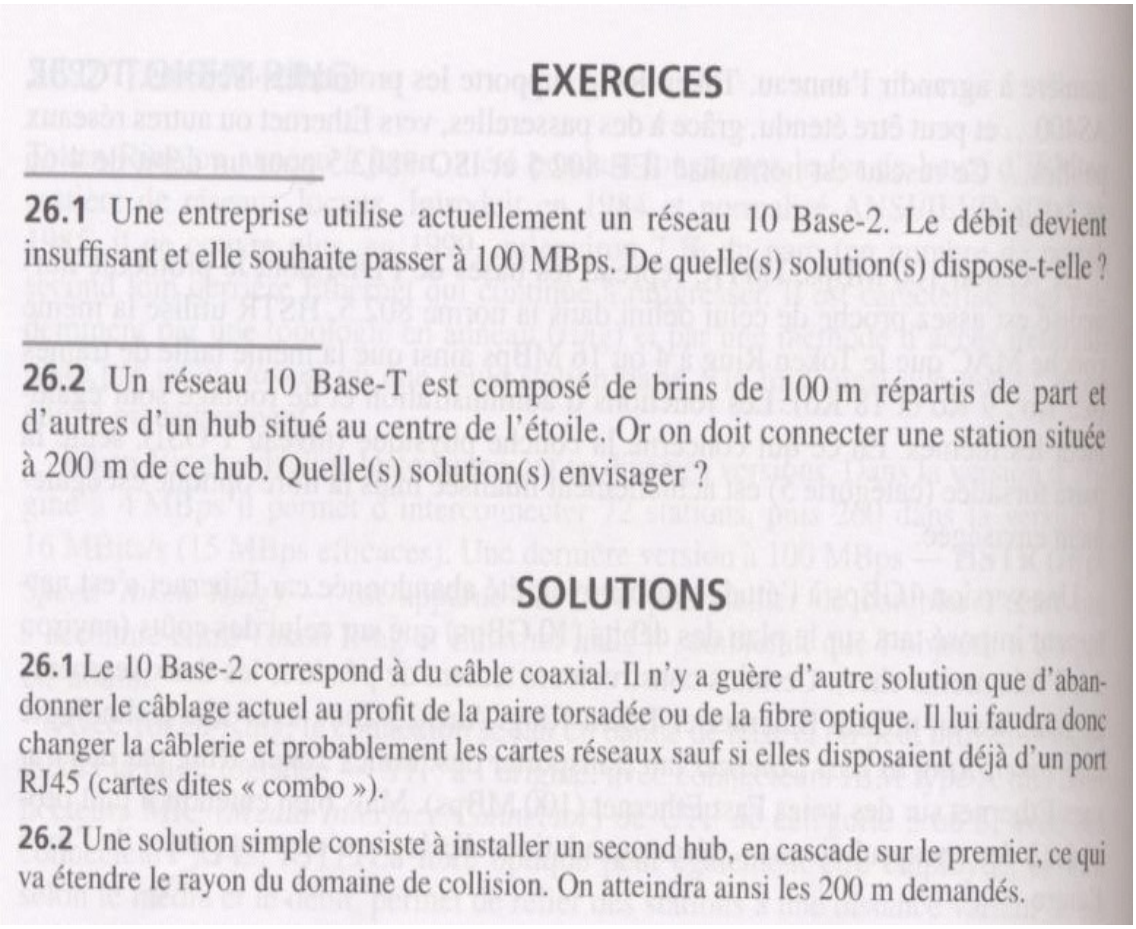
26.3 STARLAN, ARCNET PLUS…

Starlan, développé par AT&T, constitue une alternative à Ethernet et Token Ring. L'originalité de ce réseau, qui ne couvre environ que 4 % du marché, vient de ce qu'il utilise une architecture en bus, étoile ou étoile distribuée, et de la paire torsadée classique ce qui permet, au sein d'une entreprise, de se connecter directement

sur le réseau téléphonique sans pose de câbles supplémentaires. Le circuit d'émission de données est distinct du circuit de réception ce qui nécessite une double paire. Starlan fonctionne actuellement à 10 MBps avec un protocole de type CSMA/CD sur des tronçons allant jusqu'à 300 m. Starlan a été normalisé IEEE 802.3.

ArcNet Plus *(Attached Ressource Computer Network),* conçu par Datapoint en 1977, est un des plus anciens réseaux locaux. Encore en service, c'est un réseau de type étoile qui couvre environ 3 % du marché. Il se caractérise par un débit de 2,5 MBps pour Arcnet à 20 MBps pour Arcnetplus. C'est un

réseau de type déterministe à jeton comme Token Ring, fonctionnant sur coaxial, fibre optique, ... Il autorise un environnement hétérogène tant sur le plan des machines acceptées - PC, PS, Apple... que sur celui des systèmes d'exploitation - Dos, Windows...



EXERCICES

26.1 Une entreprise utilise actuellement un réseau 10 Base-2. Le débit devient insuffisant et elle souhaite passer à 100 MBps. De quelle(s) solution(s) dispose-t-elle ?

26.2 Un réseau 10 Base-T est composé de brins de 100 m répartis de part et d'autres d'un hub situé au centre de l'étoile. Or on doit connecter une station située à 200 m de ce hub. Quelle(s) solution(s) envisager ?

SOLUTIONS

26.1 Le 10 Base-2 correspond à du câble coaxial. Il n'y a guère d'autre solution que d'abandonner le câblage actuel au profit de la paire torsadée ou de la fibre optique. Il lui faudra donc changer la câblerie et probablement les cartes réseaux sauf si elles disposaient déjà d'un port RJ45 (cartes dites « combo »).

26.2 Une solution simple consiste à installer un second hub, en cascade sur le premier, ce qui va étendre le rayon du domaine de collision. On atteindra ainsi les 200 m demandés.

Chapitre 27

Interconnexion et gestionnaires de réseaux

27.1 INTERCONNEXION DE RESEAUX

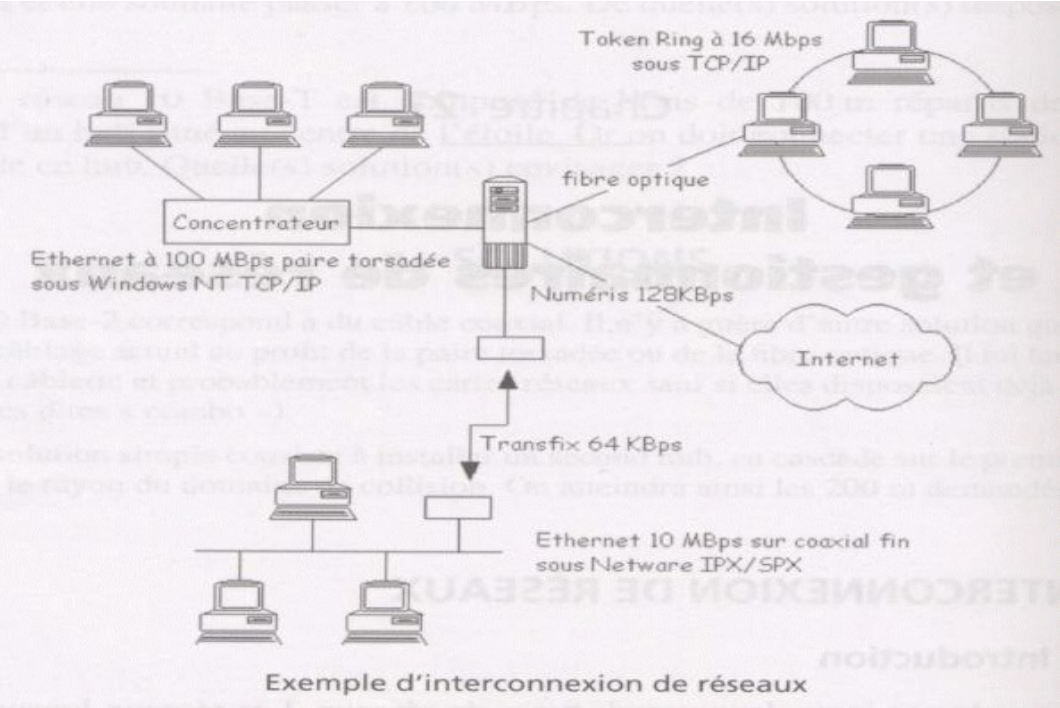
27.1.1 Introduction

On distingue de nos jours deux grands types de réseaux. Les réseaux locaux : Ethernet, Token Ring, FDDI, ATM, ... et les réseaux longue distance destinés au transport des données tels que RTC, Numéris, Transpac, ... L'accroissement des échanges d'informations - intra ou inter entreprises - implique la mise en relation de ces divers types de réseaux. Mais on rencontre également d'anciennes architectures propriétaires, organisées souvent autour d'un ordinateur hôte *(Host* AS400 IBM, DPS7 Bull, VAX, ...). L'utilisateur devra donc accéder, de manière transparente, aux informations à sa disposition, qu'elles soient réparties sur des machines différentes, des réseaux différents, des sites distants, voire même mondialement diffuses (Internet), ...

Les réseaux locaux utilisés au sein d'une même entreprise, et à plus forte raison dans des entreprises distinctes, sont souvent de nature hétérogène c'est-à-dire qu'ils comportent des machines de type différent (PC, Mac, ...), qu'ils utilisent des architectures différentes (Ethernet, Token-Ring, AppleTalk, ...), qu'ils fonctionnent à des vitesses différentes (10, 16, 100 MBps, ...) et qu'ils supportent des protocoles différents (NetBEUI, TCP/IP, IPX/SPX, ...).

Enfin, il faut souvent emprunter aux infrastructures des réseaux longues distances pour faire communiquer des ordinateurs distants, qu'ils appartiennent à la même entreprise ou à des entreprises différentes. Par exemple, pour faire de l'accès distant depuis un site vers le siège de la société ou bien encore pour pratiquer l'EDI (Échange Informatisé de Données) entre un constructeur automobile et un de ses sous-traitants... L'ensemble de ces besoins a entraîné le développement d'un certain nombre de solutions permettant de relier les ordinateurs, quelque soit la distance ou les différences entre eux.

C'est l'interconnexion de réseaux.



Exemple d'interconnexion de réseaux

L'interconnexion de réseau a donc comme buts :

- D'étendre le réseau local au delà de ses contraintes primaires (100 m avec de l'Ethernet sur paire torsadée, 185 m sur du coaxial...),

- d'interconnecter les réseaux locaux d'un même site, même s'ils sont d'architecture ou de topologie différente,

- d'interconnecter des réseaux locaux distants en assurant la transparence de leur utilisation aux usagers,

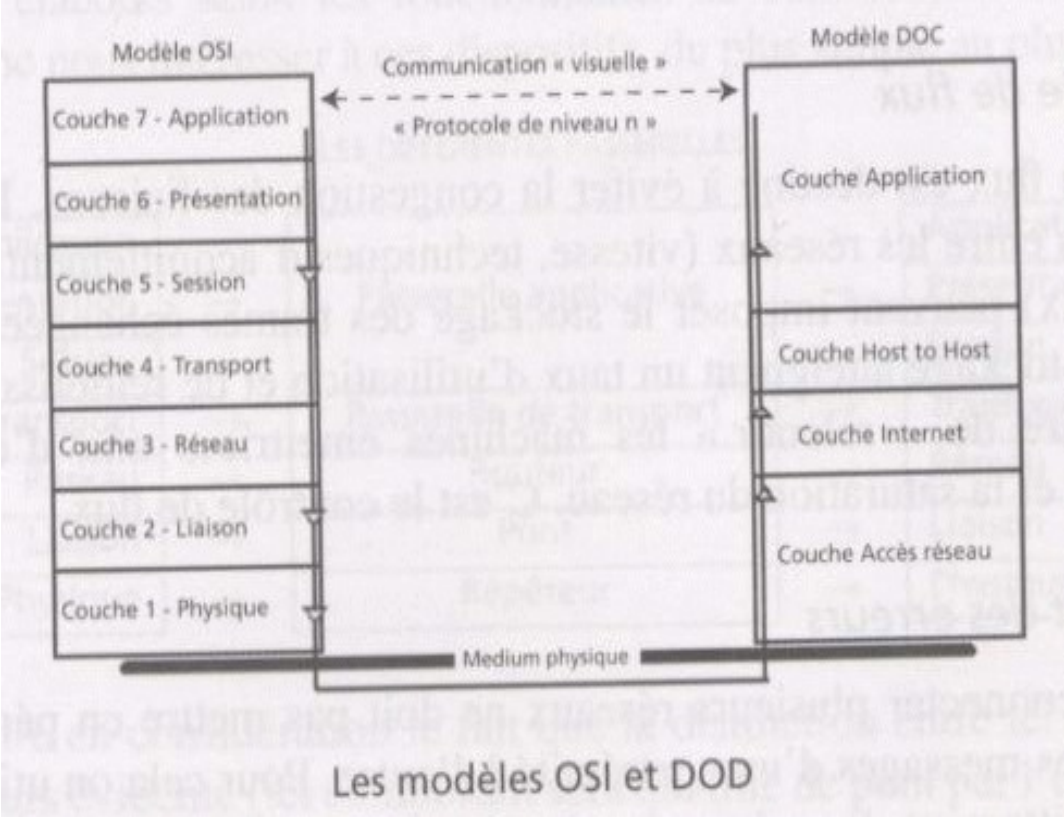
- de mettre en relation un réseau local avec un ordinateur hôte pour permettre à une station d'avoir accès aux données du réseau distant ou inversement.

- d'interconnecter des hôtes d'architectures propriétaires différentes.

En interconnectant ainsi des réseaux hétérogènes on va pouvoir assurer le partage des services offerts par un ensemble de réseaux, tout en respectant l'indépendance de ces différents réseaux.

27.1.2 Rappel sur le rôle des modèles OSI & DOD

Nous avons déjà présenté le rôle et l'importance du modèle OSI dont nous ne rappellerons ici que les principaux points. Lors de son élaboration, ce modèle avait pour but d'amener les constructeurs à développer des outils de raccordement entre ordinateurs. Ce but est partiellement atteint dans les systèmes d'interconnexion. Le concept de base du modèle OSI réside dans le découpage en couches des activités de communication destinées aux échanges entre machines. Chaque couche, met en oeuvre des mécanismes internes qui lui sont propres et offre un service à la couche supérieure. Elle communique ainsi avec la couche de même niveau de la machine distante. Chaque couche utilise le service de la couche inférieure, à qui elle soustraite l'envoi de message vers son homologue distant de même niveau. Le modèle OS] n'est pas toujours appliqué dans son intégralité et nous avons vu précédemment que TCP/IP utilise un modèle simplifié dit modèle DOD.



Les modèles OSI et DOD

Il est souvent possible de faire correspondre les équipements d'interconnexion à un niveau du modèle OSI ou du modèle DOD. Pour simplifier, on peut considérer que plus le composant interprète les données à un niveau élevé du modèle, plus la sécurité est accrue, mais moins les performances sont intéressantes en terme de rapidité.
Il faut également considérer qu'un composant ne travaille pas forcément «exclusivement » à un niveau du modèle. Ainsi certains rouleurs qui théoriquement travaillent au niveau 3, sont capable de se rabattre sur un niveau 2 et, pour les plus sophistiqués d'entre eux, de travailler au niveau 4.

27.1.3 Les fonctions de l'interconnexion

L'interconnexion de réseaux doit prendre en charge diverses fonctionnalités.

a) Formatage des trames des protocoles

Les trames issues des protocoles sont souvent différentes d'un réseau à l'autre, les champs sont de structure différente, les en-têtes ont un rôle différent... Il suffit d'observer les trames Ethernet... Il est donc nécessaire, lors du passage d'un protocole à un autre, de convertir les trames. Par ailleurs, certaines trames de commande existent dans tel protocole mais pas dans tel autre ce qui impose de simuler certaines fonctions lors de la conversion de protocoles.

b) Détermination d'adresses

L'affectation des adresses de machines ou d'applications peut être réalisée différemment selon le réseau. Plusieurs solutions existent pour essayer d'éviter les erreurs :

- la recommandation d'adressage X 121 du CCITT, utilisée dans X25 par exemple, normalise l'adressage des ETTD dans les paquets Transpac,

- pour les adresses MAC ou adresse matérielle de l'adaptateur réseau, chaque constructeur a droit à une plage d'adressage unique, de manière à garantir l'unicité de l'adresse MAC pour chaque adaptateur,

- l'adressage SNA repose sur l'emploi *d'alias,* les objets d'un autre réseau apparaissant avec des adresses différentes.

c) Le contrôle de flux

Le contrôle de flux est destiné à éviter la congestion des liaisons. Les différences technologiques entre les réseaux (vitesse, techniques d'acquittement, techniques de contrôle de flux) peuvent imposer le stockage des trames échangées.

Lorsque ces dispositifs de stockage atteignent un taux d'utilisation et de remplissage trop élevé, il est nécessaire de « ralentir » les machines émettrices afin d'éviter la perte d'informations et la saturation du réseau. C'est le contrôle de flux.

e) Traitement des erreurs

Le fait d'interconnecter plusieurs réseaux ne doit pas mettre en péril l'acheminement correct des messages d'une extrémité à l'autre. Pour cela on utilise des mécanismes d'acquittement (acquittement local ou acquittement de bout en bout). L'acquittement local s'effectue de proche en proche et progressivement à chaque machine traversée. L'acquittement de bout en bout consiste à faire acquitter le message par les seuls équipements d'extrémité.

e) Routage des trames

Les méthodes d'acheminement des données d'un réseau vers un autre peuvent varier d'un réseau à l'autre, ce qui rend difficile leur interconnexion. Par exemple la taille des adresses (émetteur, destinataire) rencontrées dans les messages est souvent différente selon le protocole. Il faudra donc veiller à expédier les trames vers le bon destinataire et en utilisant la route la plus performante, c'est le routage.

f) Segmentation et le réassemblage des messages

Lors du passage d'un réseau à l'autre, il est possible que les messages d'origine soient trop longs pour être transportés sur l'autre réseau. Pour éviter d'altérer le message, il faut le découper en segments plus petits transportables sur le deuxième réseau puis regrouper ces segments dans le bon ordre avant de les remettre au destinataire.
Pour interconnecter efficacement des réseaux on peut être amené à segmenter le réseau global pour en améliorer les performances. L'organisation du réseau peut ainsi être modifiée par l'adoption d'une « hiérarchie » des supports - supports à haute vitesse servant de lien entre des supports à faible vitesse. Par exemple, on peut scinder un réseau en sous réseaux et mettre en place une liaison FDDI entre ces sous réseaux. Les fonctions d'interconnexion peuvent ainsi être utilisées pour isoler certaines zones du réseau, pour des raisons de sécurité ou de performance. Voyons à présent quels sont les différents moyens d'interconnexion à disposition.

27.1.4 Les dispositifs d'interconnexion

a) Notion générique de passerelle

Désignés sous le terme générique de passerelle, les équipements d'interconnexion sont plus ou moins élaborés selon les fonctionnalités de communication qu'ils offrent. Nous allons donc nous intéresser à ces dispositifs, du plus simple au plus complexe.

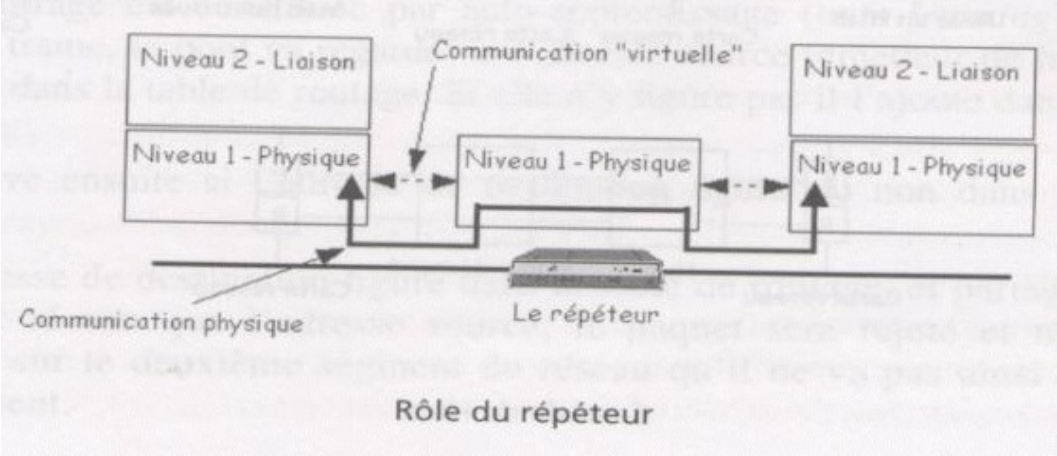
LES DIFFÉRENTES PASSERELLES

Application				Application
Présentation	→	Passerelle applicative	→	Présentation
Session				Session
Transport	→	Passerelle de transport	→	Transport
Réseau	→	Routeur	→	Réseau
Liaison	→	Pont	→	Liaison
Physique	→	Répéteur	→	Physique

Il faut prendre en considération le fait que la distinction entre tel ou tel matériel n'est pas toujours évidente (tel composant sera qualifié de pont par l'un, de pont routeur par l'autre...). De plus les couches OSI supportées ne sont pas toujours rigoureusement appliquées et telle ou telle fonctionnalité pourra être intégrée dans tel appareil alors que sa dénomination ne l'indique pas précisément (par exemple, une fonction de filtrage dans un matériel qualifié de répéteur).

b) Les répéteurs

Le répéteur *(Repeater),* concentrateur ou HUB est un dispositif simple qui régénère les données entre un segment du réseau et un autre segment de réseau identique - mêmes protocoles, normes, méthode d'accès, ... Il permet d'augmenter la distance séparant les stations les plus éloignées. Il intervient au niveau 1 (physique) du modèle OSI.



Rôle du répéteur

Dès qu'il reçoit sur un port les premiers bits d'une trame, le répéteur les retransmets sur le port de sortie - sur les ports - dont il dispose (répéteur multi-ports), sans aucune modification des données mais après les avoir amplifiés (régénérés). Il ne réalise aucun contrôle sur les trames reçues et si l'une d'elles est erronée il la rediffuse telle quelle sur l'ensemble de ses ports. Les répéteurs, souvent appelés également concentrateurs, HUB ou répéteurs multi-ports sont ainsi utilisés pour :

- augmenter la taille du réseau sans dégradation significative du signal et du taux d'erreurs sur le support,

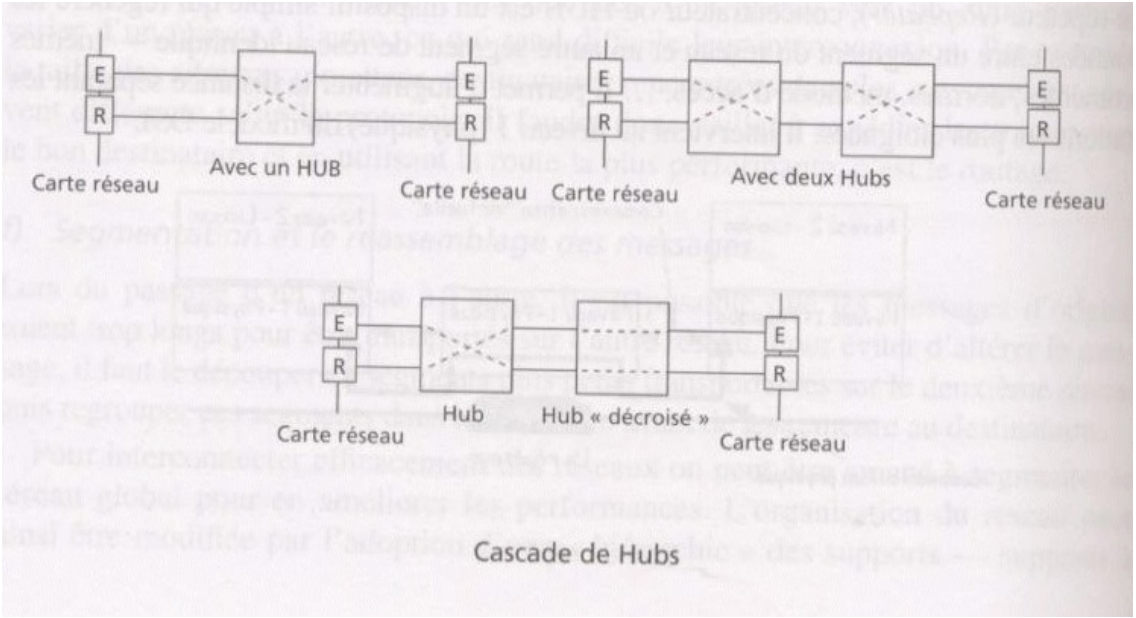
- raccorder différents tronçons d'un réseau local pour n'en faire apparaître qu'un seul aux stations,

- convertir les médias (de la paire torsadée vers du câble coaxial par exemple),

- augmenter le nombre de stations physiquement connectables sur le réseau.

Les vitesses de transmission doivent en général être semblables sur les tronçons raccordés par le répéteur car il ne dispose souvent pas de mémoire tampon. Un tel type de HUB est dit *« standalone »*. Toutefois de nouvelles générations de Hubs dits *« store and forward »,* disposant de capacité de stockage, apparaissent et autorisent la connexion sur un même répéteur de tronçons de vitesses différentes (10/100 MBps, ...).

Les répéteurs peuvent être empilables (« stackables » - *to stack* - empiler) et interconnectés entre eux au moyen de câbles spéciaux - généralement placés sur la face arrière. Ils sont alors considérés comme un unique répéteur dont on aurait augmenté le nombre de ports. Ils peuvent aussi être « cascadables » c'est-à-dire reliés entre eux au moyen d'un média permettant de les connecter (coaxial ou paire torsadée...) ce qui permet de les placer dans des lieux géographiques différents et d'agrandir la taille du réseau. Un port particulier est souvent destiné à cette fonction car elle nécessite le «décroisement » des fils d'émission et de réception, entre les deux répéteurs - fonctionnalité généralement repérée par le symbole MIX où le X fait référence à ce « décroisement » des fils émission-réception.



Ils peuvent aussi être « rackables » *(rack* - casier) c'est-à-dire prévus pour être installés (« rackés ») physiquement dans des armoires ou des châssis spéciaux (bâti-rack).

Enfin ils peuvent être « manageables » ou administrables, éventuellement à distance par le biais de logiciels et de protocoles d'administration tel SNMP *(Simple Network Management Protocol)*.

Ces notions de « stackables », cascadables, rackables et manageables s'appliquent aussi aux autres équipements d'interconnexion.

Les caractéristiques que l'on peut souhaiter d'un répéteur sont donc les suivantes :

- il doit pouvoir connecter plusieurs tronçons de réseau (répéteur multi-ports),

- il doit être adaptable à différents types de supports (conversion de média),

- il doit pouvoir s'administrer à distance mais le prix évolue en conséquence,
- des voyants doivent indiquer l'état de fonctionnement de chaque port,
- il doit être conforme à la normalisation,
- il doit être « empilable », « cascadable » et « rackable ».

c) Les ponts

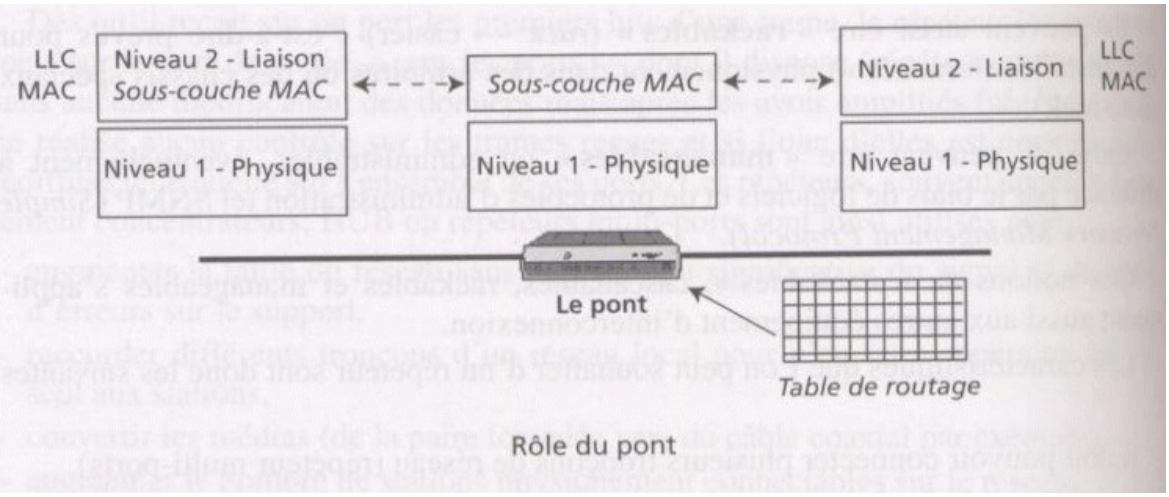
Les ponts *(bridge),* parfois appelés ponts filtrants, permettent de relier deux segments de réseau ou deux réseaux locaux de même type (Ethernet, Token-Ring, ...), mettant en eeuvre la même méthode d'accès (protocole de niveau 2 - CSMA/CD ou Jeton la plupart du temps) au sein d'un même site. Le pont fonctionne au niveau de la sous-couche MAC *(Media Access Control)* du protocole. Il interconnecte des réseaux de caractéristiques MAC différentes mais LLC *(Logical Link Control)* identiques.

Les ponts doivent essentiellement assurer les trois fonctionnalités de répéteur de signal, filtre entre les segments du réseau et de détection des erreurs.

Nous avons déjà vu les principes de fonctionnement des répéteurs. En revanche, la notion de filtrage est ce qui caractérise le mieux le pont. Elle a pour but de ne laisser passer, d'un segment de réseau vers un autre segment de réseau, que les seules trames qui lui sont destinées. Le pont doit donc disposer d'une table de routage, assurant le suivi des adresses MAC. Généralement la table de routage ou table de filtrage est constituée par auto-apprentissage *(auto-learning).* Quand il reçoit une trame, le pont va regarder si l'adresse source (émetteur de la trame) est disponible dans la table de routage. Si elle n'y figure pas il l'ajoute dans le tableau des entrées.

Il observe ensuite si l'adresse de destination figure ou non dans la table de routage.

- Si l'adresse de destination figure dans la table de routage, et partage le même segment réseau que l'adresse source, le paquet sera rejeté et ne sera pas expédié sur le deuxième segment du réseau qu'il ne va pas ainsi encombrer inutilement.



Rôle du pont

- Si l'adresse de destination existe déjà dans la table de routage mais ne se situe pas sur le même segment de réseau, la trame sera transférée en direction de l'autre segment et traversera le pont. La trame sera « pontée ».

- Enfin, si l'adresse de destination ne figure pas dans la table de routage, le pont va transférer le paquet vers tous ses ports à l'exception du port d'entrée.

Fonctionnant au niveau de la couche liaison de données (niveau 2 OSI), et plus précisément au niveau de la sous-couche MAC, le pont ne fait pas la différence entre deux protocoles. Rien n'interdit alors que plusieurs protocoles soient actifs au même moment sur les segments du réseau (NetBEUI, TCP/IP, IPX/SPX, ...). Le pont ne gère pas le routage par interprétation des adresses mais simplement par vérification de la présence ou non d'une adresse MAC dans la table de routage.

On dit que le pont est transparent car il ne change rien au fonctionnement de la communication entre deux stations. Les ponts filtrants mettent souvent en oeuvre un algorithme de routage,
dit « *spanning tree* » (arbre déployé), qui permet de trouver la route optimale, quand il en existe une, entre plusieurs parmi les éventuelles routes redondantes que pourrait offrir le réseau d'un point à un autre. Chaque pont sera muni d'un identificateur unique (ID), déterminé par échange de messages entre les ponts, et dont la valeur déterminera la position du pont dans l'arborescence.

La plupart du temps on peut aussi fournir au pont une liste d'adresses qu'il ne doit pas laisser passer ce qui permet de mettre en place des barrières de sécurité ou coupe-feu tels qu'utilisés notamment avec Internet *(firewall).*

Avec un pont on peut donc :

- interconnecter des stations sur des réseaux de types différents ou identiques,

- interconnecter deux réseaux locaux voisins ou des réseaux locaux éloignés, via une liaison longue distance (« ponts distants »),

- augmenter le nombre de stations connectées à un réseau local tout en conservant une charge de trafic supportable sur le réseau,

- partitionner un réseau local en plusieurs tronçons pour des raisons de sécurité, de performance ou de maintenance,

- assurer la conversion de média (paire torsadée, vers coaxial, ...).

On peut rencontrer différents types de ponts :

Les ponts transparents sont des ponts classiques, utilisés dans le raccordement de réseaux locaux IEEE 802. Ils sont dits transparents car la station ne « voit » pas le pont. Ainsi une commande telle que tracert *(trace route)* utilisée avec TCP/IP ne fera pas apparaître ce type de pont.

Le pont pour anneau à jeton utilise une technique de routage dite « par l'émetteur » *(Source Routing).* Quand une station A veut envoyer des trames d'information à une station B, elle diffuse d'abord une trame spéciale d'apprentissage du chemin. Quand un pont *Token-Ring* reçoit une telle trame, il y ajoute sa propre adresse et retransmet cette trame vers le port de sortie. Chaque pont

traversé fera de même. La station B va donc recevoir ces trames complétées et va retourner à A les trames reçues en utilisant les informations de cheminement accumulées à l'aller. Par la suite A pourra déterminer la route optimale (nombre de ponts traversés, délai d'acheminement, ...) pour expédier ses trames d'information.

Les ponts hybrides permettent d'interconnecter un groupe de réseaux Ethernet reliés par pont transparent avec un groupe de réseaux Token-Ring reliés par pont *Source Routing*. IBM propose des ponts dits « à translation » tandis que l'IEEE propose des ponts SRT *(Source Routing Transparent)* compatibles avec les ponts transparents.

Les caractéristiques que l'on peut attendre d'un pont sont donc un temps de transit réduit - importance du taux de transfert - et une facilité à le configurer si possible avec faculté d'apprentissage automatique de la configuration du réseau.

Un pont peut être multi-ports et interconnecter plusieurs segments ou plusieurs réseaux. Il est alors dit *« bridging* HUB ». Les commutateurs Ethernet *(switching* HUB), ATM, FDDI, ... sont aussi considérés comme faisant partie des ponts.

d) Les commutateurs

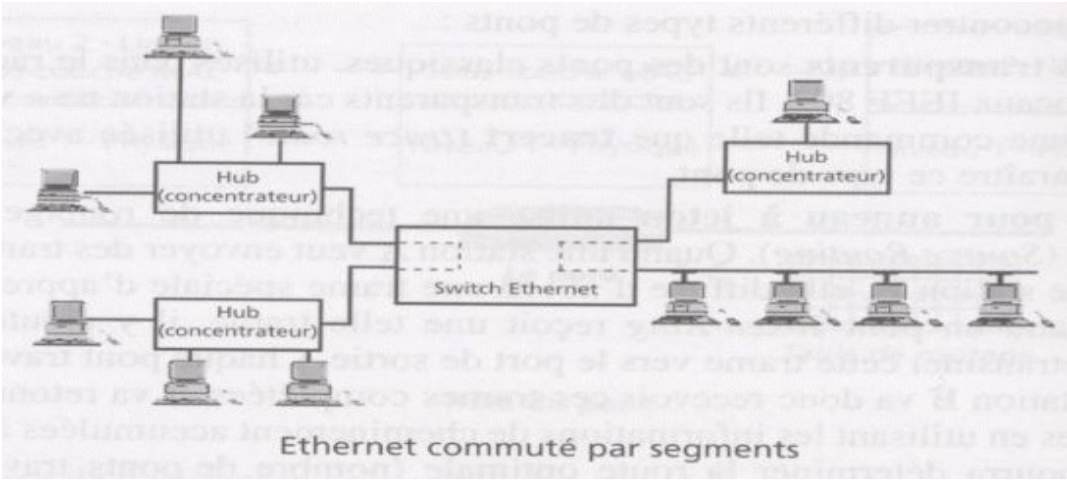
Encore essentiellement basés sur la technique de la diffusion, les réseaux locaux sont en train d'évoluer vers la commutation qui, en évitant de saturer les segments avec des paquets mal adressés, permet d'améliorer très sensiblement les performances du réseau, au détriment pour l'instant du prix.

Le principe de la commutation consiste, rappelons le, à mettre en relation point à point deux machines distantes. C'est cette technique qui est notamment utilisée sur le RTC (Réseau Téléphonique Commuté).

Le commutateur *(switch)* est donc un dispositif qui établit une relation privilégiée entre deux noeuds du réseau et évite de diffuser des trames vers des noeuds qui ne sont pas concernés. Certains commutateurs font également office de routeur et prennent en charge les réseaux 1 GigaBits.

La technique de la commutation par port qui consiste à commuter deux noeuds du réseau a déjà été vue lors du chapitre consacré à l'Ethernet commuté.

Revenons ici sur la commutation par segments qui correspond plus particulièrement à l'interconnexion de réseaux et non plus la simple interconnexion de stations.



Ethernet commuté par segments

Au sein d'un même segment c'est la diffusion qui peut être employée et la commutation n'est, dans cet exemple, mise en œuvre que si l'on veut communiquer entre segments différents.

Les commutateurs peuvent travailler :

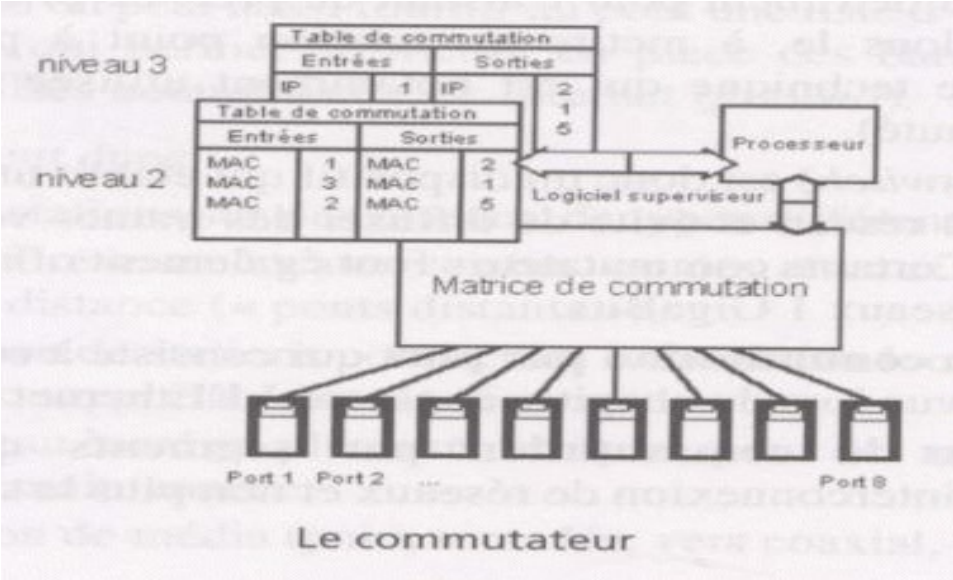
- au niveau 2 ou Liaison auquel cas ils gèrent uniquement la correspondance entre l'adresse MAC de la station et l'adresse physique du port de connexion, ils se comportent alors comme des ponts,

- au niveau 3 ou Réseau auquel cas il gèrent également la correspondance entre l'adresse IP de la station et l'adresse physique du port de connexion et se comportent alors comme des routeurs. Ils doivent

alors comprendre les protocoles de routage tels que RIP ou OSPF (voir ci après le paragraphe consacré aux routeurs).

- au niveau 4 ou Transport pour certains commutateurs haut de gamme.

Le commutateur *(switch)* doit donc gérer une table de correspondance entre les adresses MAC *(Media Access Control),* les adresses IP... des diverses machines situées sur un segment et le numéro du port physique du switch auquel il est relié. Cette table peut être remplie de manière statique ou dynamique lors de la réception des trames de connexion.



Les commutateurs *store and forward* (stocker et transmettre) stockent les trames, en assurent le contrôle et les renvoient vers le port physique quand celui-ci se libère. Ils sont donc un peu moins performants en terme de temps de traversée. En revanche, si la station correspondant à l'appel demandé est déjà occupée ils vont conserver les trames et les réexpédier dès que le port destinataire sera libre ce qui limite le nombre de trames rejetées de la station émettrice.

Ce type de commutateur ne propage pas d'erreurs et peut être utilisé dans des topologies mixtes (cuivre et fibre optique) et avec des tronçons de débits différents (10 MBps et 100 MBps).

Les commutateurs *cut-through* (couper au travers, prendre un raccourci) n'effectuent pas de contrôle de la trame, comme le routeur, mais se contentent de réexpédier la trame vers le port physique de connexion qui correspond à l'adresse MAC de la station. Ils sont donc plus performants que les routeurs en terme de temps de traversée. Cependant, des fragments de trames parasites, issues de collisions par exemple, peuvent être indûment pris en charge par ce type de commutateur ce qui diminue la performance et limite leur emploi au niveau de petits réseaux locaux.

Ne stockant pas les trames ils sont obligés de rejeter celles pour lesquelles le destinataire est déjà occupé ce qui limite les performances. On évitera donc de les utiliser dans des topologies mixtes et avec des tronçons de débits différents.

Un certain nombre de commutateurs sont dérivés des *Cut Through.* Avec les commutateurs *Cut Through Runt Free*, si une collision se produit sur le réseau, une trame incomplète de moins de 64 o apparaît *(Runt).* Le commutateur détecte la longueur de chaque trame. Si elle est supérieure à 64 o elle est expédiée vers le port de sortie. Dans le cas contraire elle est ignorée. Les *Early Cut Through* transmettent les seules trames dont l'adresse est identifiée et présente dans la table d'adressage ce qui nécessite de maintenir la table d'adressage. En revanche, ils ne traiteront pas les paquets dont l'adresse de destination est inconnue ce qui sécurise le réseau. Enfin les *Adaptative Cut Through* gardent trace des trames erronées. Si un segment présente trop d'erreurs le commutateur change automatiquement de mode et passe en mode *Store and Forward* ce qui permet d'isoler les erreurs sur certains ports. Quand le taux d'erreur redevient correct ils rebasculent automatiquement en mode *Cut Through.*

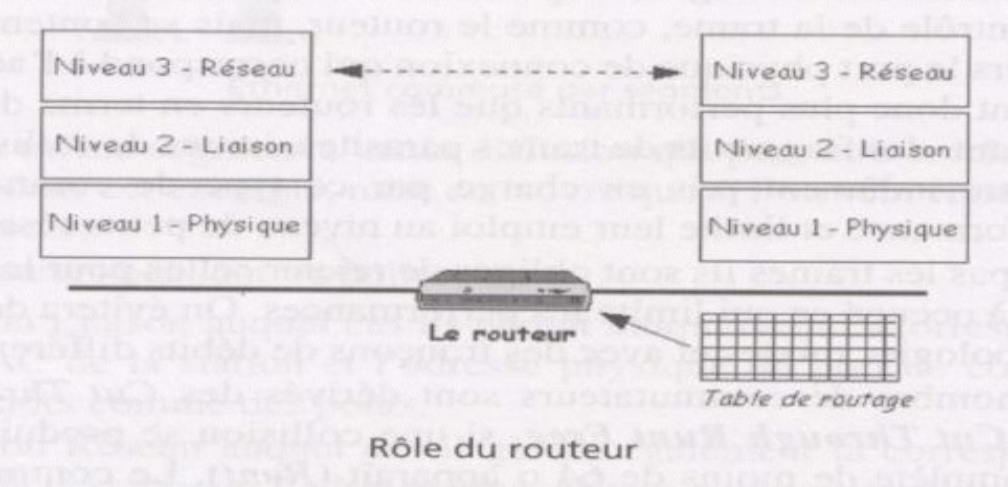
e) Les routeurs

Le routeur *(Router)* travaille normalement au niveau de la couche réseau - niveau 3 OSI - et relie des stations situées sur des réseaux qui peuvent être différents (par exemple réseau Ethernet et réseau Token-Ring). Les stations peuvent être situées sur un même site ou sur des sites distants. Le protocole employé (routeur multi-protocoles) peut être différent et la méthode d'accès peut être

différente. Il assure acheminement des paquets, contrôle et filtrage du trafic entre ces réseaux. Le routage est donc la fonction consistant à trouver le chemin optimal entre émetteur et destinataire.

Les routeurs ne sont pas transparents au protocole employé, mais doivent, au contraire, être en mesure d'assurer la reconnaissance des trames en fonction du protocole à utiliser.

Bien entendu le protocole doit être routable pour pouvoir traverser le routeur. Ainsi, avec NetBEUI, utilisant comme protocole réseau NetBIOS, qui n'est pas un protocole routable, les trames ne pourront normalement pas traverser le routeur.
À l'inverse, un protocole réseau tel que IP ou IPX étant un protocole routable, les trames TCP/IP pourront traverser le routeur. Le routeur doit donc être capable d'optimiser et de modifier la longueur du message selon qu'il passe d'Ethernet à Token Ring ou à X25. De même le routeur est généralement capable de modifier la vitesse de transmission - par exemple lors du passage d'un LAN à un réseau WAN - il doit donc disposer d'une mémoire tampon.



Rôle du routeur

Si le protocole n'est pas routable, certains routeurs sont alors capables de se comporter comme un simple pont, ce sont les ponts-routeurs ou B-routeurs *(Bridge* routeurs). On dit que les trames sont « pontées » à travers le pont-routeur.

Les protocoles routables sont : IP, IPX, DECNet, OSI, XNS, DDP Apple Talk, VINES, ... par contre NetBIOS et LAT sont des protocoles non routables.

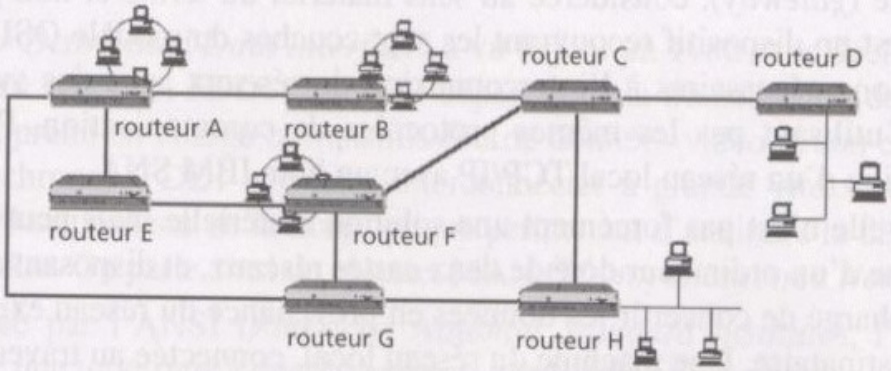
Les tables de routage constituent l'outil fondamental de prise de décision du routeur. La constitution dynamique des tables de routage est une fonction intégrée à la couche réseau. À partir d'un algorithme propre au protocole de routage, le routeur devra calculer le trajet optimal entre deux stations. Des modifications de topologie ou de charge dans le réseau amènent donc les routeurs à reconfigurer leurs tables. Cette reconfiguration des tables peut être faite par l'administrateur réseau de manière statique, par exemple à l'aide de la commande *route add*.

La table de routage contient en général les informations suivantes :

- l'ensemble des adresses connues sur le réseau,
- les différents chemins connus et disponibles entre les routeurs,
- le « coût » - métrique - lié à l'envoi des données sur ces différents chemins.

Afin de constituer leurs tables de routage, les routeurs mettent en œuvre un protocole de routage. RIP *(Routing Information Protocol)* est l'un des standards en terme de protocole de routage. Un autre protocole couramment supporté est IGRP *(Interior Gateway Routing Protocol)* ou EIGRP *(Extended* IGRP) du constructeur CISCO qui intègre le routage multichemins, la gestion de routes par défaut, la diffusion de l'information toutes les 90 secondes, la détection des boucles de réseau, ... Citons encore NLSP *(Netware Link State Protocol),* OSPF *(Open Shortest Path First), ...*

Les routeurs sont en général plus lents que les ponts car ils doivent assurer un travail plus complexe au niveau des trames (enregistrement des adresses dans la table de routage, conversion d'adressage, ...). Ils évitent aux paquets erronés de traverser le réseau puisqu'ils ne lisent que les paquets munis d'informations d'adressage. Les trames de diffusion ou de collision ne les concernent donc pas.



EXTRAIT DE LA TABLE DE ROUTAGE DE A

Routeur à atteindre	Routeur de départ	Coût en sauts
D	B	3
D	E	4
D	G	4
H	B	3
H	E	4
H	G	2
...		

On comprend, à la lecture du schéma précédent, que si le routeur A doit expédier des trames au routeur D, il va utiliser de préférence le routeur intermédiaire B car la valeur du saut (le coût ou métrique) est la plus faible. Toutefois le nombre de sauts n'est pas le seul critère à retenir, les temps de traversée des routeurs peuvent aussi influencer grandement le choix du chemin optimal !

Le routeur n'est pas toujours constitué par un matériel mais peut être assuré par logiciel. Ainsi Windows NT 4.0 assure une fonction de routeur. C'est cette solution, plus souple - notamment à l'heure où on hésite entre routage et commutation dans les réseaux - qui est de plus en plus privilégiée par les responsables de réseaux.

Les caractéristiques que l'on est en droit d'attendre d'un routeur sont les suivantes :

- conversion de type de média (paire torsadée à fibre optique par exemple),

- traitement efficace du routage et filtrage fin des paquets par des algorithmes de routage sophistiqués,

- gestion de plusieurs protocoles simultanément (routeur multi-protocoles) pour réseaux locaux et pour réseaux longue distance (accès RNIS, ...),

- fonctionnalités de type pont-routeur (devient pont lorsqu'il ne reconnaît pas le protocole de niveau 3).

Le routeur ou le pont-routeur étant plus onéreux que le simple pont, il importera de faire le bon choix lors de la décision d'investissement.

f) Les passerelles

La passerelle *(gateway),* considérée au sens matériel du terme et non plus au sens générique, est un dispositif recouvrant les sept couches du modèle OSI. Elle assure les conversions nécessaires à l'interconnexion de réseaux avec des systèmes propriétaires n'utilisant pas les mêmes protocoles de communication. Par exemple, interconnexion d'un réseau local TCP/IP avec un hôte IBM SNA.

La passerelle n'est pas forcément une solution matérielle mais peut se présenter sous la forme d'un ordinateur doté de deux cartes réseaux, et disposant d'un logiciel spécifique chargé de convertir les données en provenance du réseau expéditeur vers le réseau destinataire. Une machine du réseau local, connectée au travers d'une passerelle, doit pouvoir utiliser les mêmes outils pour accéder aux

ressources du réseau local ou aux ressources distantes. Les passerelles sont donc des dispositifs spécialisés, généralement assez lents et coûteux, car ils doivent, pour chaque couche du protocole, assurer la désencapsulation des données entrantes - à chaque niveau de protocole - afin d'éliminer toute information spécifique à tel ou tel protocole et de ne conserver que les seules données. Inversement, ils doivent réassurer l'encapsulation des données sortantes, à chaque niveau du protocole du réseau de destination.

Les passerelles sont utilisées pour différents types d'applications :

- transfert de fichiers,
- messagerie électronique (X400...),
- accès direct à des fichiers distants.
- accès à des applications serveurs distantes...

g) Les réseaux fédérateurs

Les phénomènes d'engorgement sur les réseaux locaux sont de plus en plus importants dans la mesure où le trafic local s'efface progressivement au profit du trafic externe entre réseaux locaux. Pour prévenir ces risques d'engorgement, une solution classique consiste à diviser le réseau en sous-réseaux ou segments afin d'augmenter la bande passante mise à disposition des utilisateurs.

Les communications entre segments sont alors assurées par un pont ou un routeur. Toutefois les ponts sont conçus pour transférer environ 20 % du trafic alors qu'on peut atteindre aujourd'hui jusqu'à 80 % de trafic entre réseaux. La mise en place de commutateurs est une autre solution envisageable, très en vogue actuellement.

Il existe également une troisième voie basée sur l'emploi d'un réseau fédérateur dont le rôle est d'assurer la relation entre d'autres réseaux. Ce réseau fédérateur qui devra être le plus rapide possible doit donc mettre en œuvre des technologies et des protocoles performants. On rencontre divers types de réseaux fédérateurs.

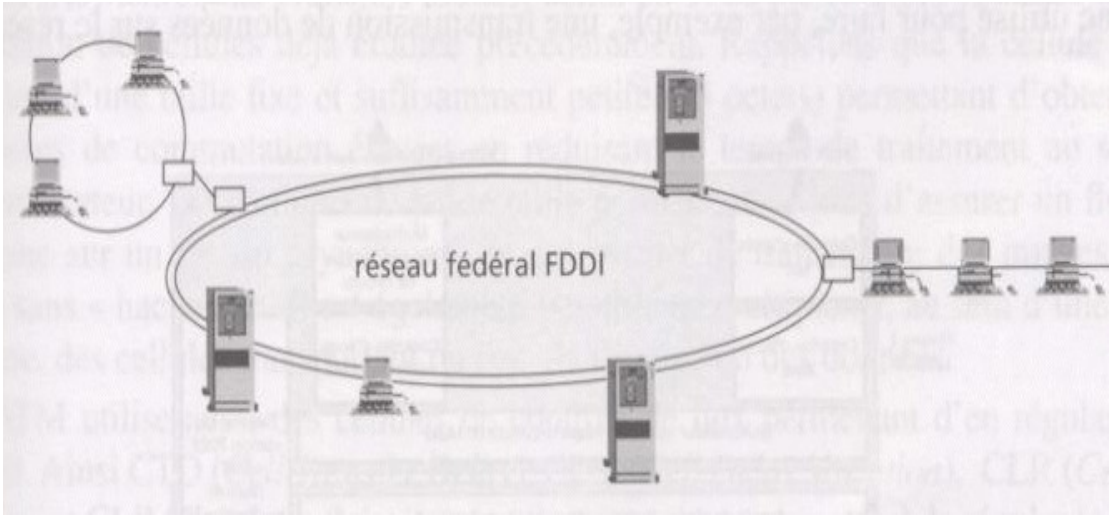
> Réseau fédérateur Ethernet

Quand le nombre de noeuds connectés croît sur un réseau Ethernet, une technique souvent utilisée consiste à installer un axe fédérateur ou épine dorsale *(backbone)* sur lequel on raccorde les différents segments Ethernet. Par exemple, un câble Ethernet 10 Base-5 (gros coaxial) permet de relier des segments sur une distance maximale de 500 mètres. Aujourd'hui, on préfère la fibre optique comme *backbone* car elle permet d'atteindre des distances et des débits plus importants.

> Réseau fédérateur FDDI

FDDI *(Fiber Distrihuted Data Interface)* a vu le jour en 1986 et se décline actuellement en deux versions. FDDI étudié au départ pour la transmission de données et FDDI II qu
i prend en charge la transmission de données vidéo et son en mode isochrone (synchrone). FDDI permet d'interconnecter à grande vitesse (100 MBps) jusqu'à 1 000 stations sur de la fibre optique permettant d'atteindre la distance maximale de 200 km. On parle ainsi de réseaux MAN *(Metropolitan Area Network).*

Normalisée par l'ANSI *(American National Standard Institute),* l'architecture FDDI utilise une topologie à double anneaux sur support fibre optique et une méthode d'accès à jeton. Les données circulent dans un sens sur un anneau et dans l'autre sens sur l'autre anneau, chaque noeud du réseau pouvant être relié à l'un des anneaux ou aux deux. En général on considère toutefois que, sur un tel réseau, seules 500 stations peuvent être connectées sur un double anneau n'excédant pas 100 Km - du fait de la redondance des anneaux.



En général on utilise l'anneau primaire pour faire circuler l'information, l'anneau secondaire redondant étant destiné à prendre en charge le réseau en cas de défaillance de l'anneau primaire. Une station en panne émet un jeton particulier dit de balisage qui fait le tour de l'anneau, avertissant tous les noeuds du réseau de son indisponibilité.

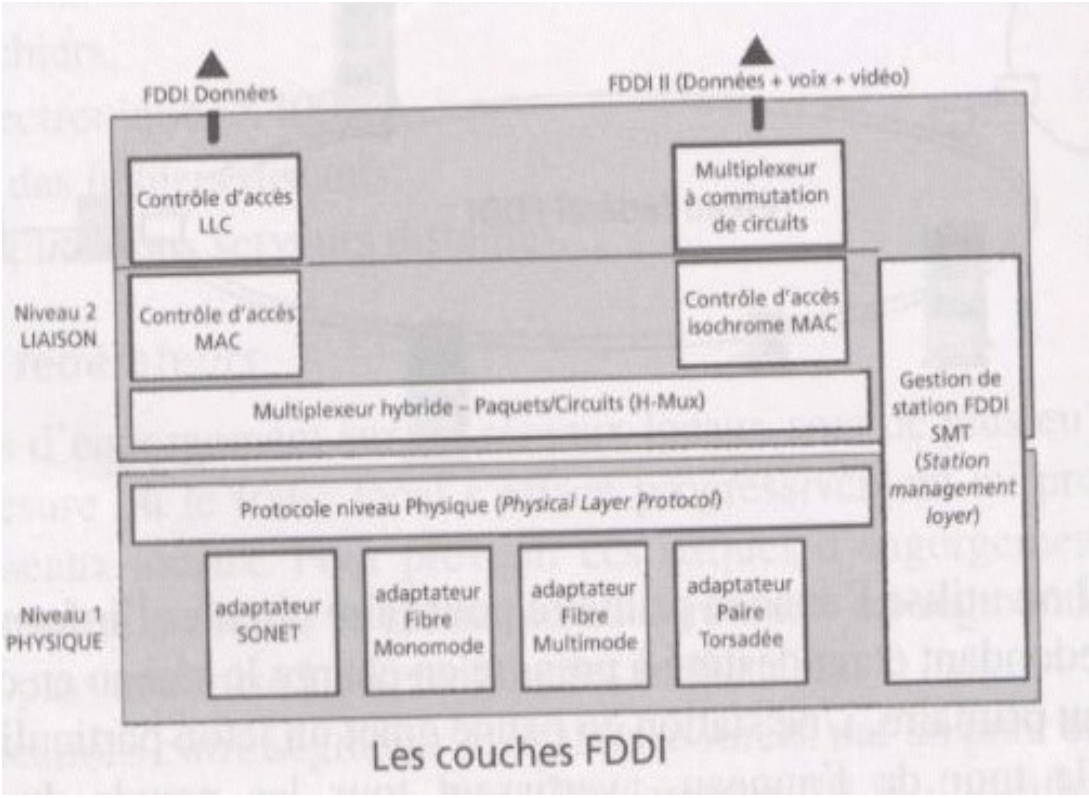
Quand la balise revient à la station émettrice elle émet un jeton classique et le trafic peut reprendre. Chaque station peut être connectée à un anneau ou aux deux par l'intermédiaire d'une ou deux cartes FDDI-SAS *(Simple Attachment System) ou* d'une carte FDDI-DAS *(Dual Attachment System).*

FDDI répond aux spécifications ISO des couches 1 et 2 en offrant au niveau de la couche 2 les services LLC *(Logical Link Control)* et MAC *(Media Access Control)* traditionnel et au niveau de la couche 1 les services PHY *(PHYsical medium dependant)* et PMD *(Physical Medium Dependant).* FDDI préconise l'usage de la fibre multimode de type 62.5/125 ou 85/125. Le rôle de la sous couche PHY est relativement important au sein de FDDI puisque c'est là que va s'effectuer un codage 4B5B suivi d'un encodage NRZI. Cette combinaison permet à FDDI d'utiliser une fréquence d'horloge de 125 MHz contre 200 MHz en réseau Ethernet pour assurer un même débit de 100 MBps.

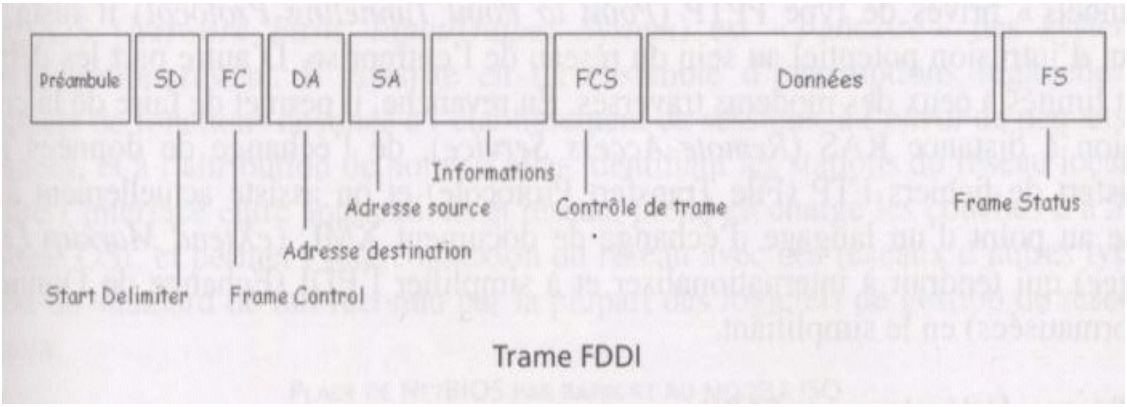
Au niveau de la couche MAC la méthode d'accès correspondant au jeton est dite TTR *(Tinte Token Rotation).* Bien que similaire à la méthode du jeton traditionnel, FDDI diffère légèrement dans la mesure ou une station est autorisée à émettre plusieurs trames successives dans un laps de temps déterminé contrairement au Token Ring classique ou une seule trame circule sur l'anneau. FDDI fonctionne, en fait, selon deux modes possibles : synchrone et asynchrone.

Le mode synchrone - divisé en huit sous-classes de priorité - est un mode prioritaire qui assure une réservation de bande passante et un temps d'accès garantis, ce qui est fondamental pour des applications demandant un flux minimum, telles que le multimédia, si l'on ne veut pas avoir des images saccadées ou du son haché.

Le mode asynchrone ne bénéficie pas d'une réservation de bande passante mais doit s'adapter en fonction des disponibilités que lui laisse le mode synchrone. Ce laps de temps porte le nom de THT *(Token Holding Time)* et représente donc le temps pendant lequel une station peut émettre des trames asynchrones sur le réseau avant de devoir laisser passer les trames isochrones prioritaires. Ce mode asynchrone est donc utilisé pour faire, par exemple, une transmission de données sur le réseau.



Ces modes de fonctionnement imposent l'usage de jetons différents -jeton non restreint, utilisé par toutes les stations, ou jeton restreint, utilisé uniquement par certaines. En fait chaque station influe sur la rapidité de rotation du jeton en adaptant la bande passante aux besoins, selon un principe d'enchères. Si plusieurs stations désirent communiquer elles émettent chacune une proposition de durée de rotation pour le jeton et c'est en principe la durée la plus courte qui va devenir prioritaire. Cette valeur de rotation théorique est dite TTRT *(Target Token Rotation Time).* La valeur de la rotation réelle TRT *(Token Rotation Time)* sera ensuite comparée avec la valeur théorique TTRT et si ce temps TRT est supérieur au temps théorique TTRT, la station devra laisser passer le jeton pour permettre aux trames prioritaires de circuler.



FDDI dispose également de fonctions d'administration propriétaires. Grâce à ces différentes techniques FDDI peut s'autoréguler et assurer un flux de données régulier ce qui en fait un réseau particulièrement rapide même si son débit théorique est le même que celui proposé par un Ethernet ou un Token Ring à 100 MBps. Il est actuellement essentiellement utilisé comme *backbone,* comme réseau fédérateur en entreprise ou comme réseau de transport de données multimédia.

> Réseau fédérateur ATM

ATM *(Asynchronous Transfert Mode),* défini en 1988 par le CCITT, utilise la commutation de cellules déjà étudiée précédemment. Rappelons que la cellule est un paquet d'une taille fixe et suffisamment petite (53 octets) permettant d'obtenir des vitesses de commutation élevées en réduisant le temps de traitement au sein du commutateur. Des cellules de petite taille permettent de plus d'assurer un flux isochrone sur un réseau asynchrone, ce qui permet de transmettre des images ou du son sans « hachage ». Il est également possible de multiplexer, au sein d'une même trame, des cellules transportant du son, de l'image ou des données.

ATM utilise aussi des cellules de contrôle de flux permettant d'en régulariser le débit. Ainsi CTD *(Cell Transfer Delay),* CDV *(Cell Delay Variation),* CLR *(Cell Loss Ratio)* et CLP *(Cell Loss Priority)* sont des paramètres permettant de réguler le flux de cellules. Comme FDDI, ATM dispose de fonctions d'administration propriétaires contrôle de flux, priorités à certaines stations, allocation de bande passante...

En théorie le débit de 1,2 GigaBits par seconde peut être atteint par un réseau ATM, mais en pratique la limitation à 622 MBps est imposée par le support fibre optique. Dans la réalité la majorité des commutateurs ATM ne débite pas beaucoup plus de 155 MBps par port, ce qui n'est déjà pas si mal étant donné qu'ils utilisent la commutation et non la diffusion, ... et qu'en conséquence le débit pratique est ici très proche du débit théorique. ATM est donc une technologie employée pour mettre en oeuvre des réseaux fédérateurs mais ces produits restent encore chers ce qui en limite l'usage et l'émergence des réseaux Ethernet à 1 GBps ne va rien arranger.

> Réseau fédérateur Internet

Du fait de son internationalisation Internet peut être considéré comme LE réseau fédérateur universel par excellence. Cependant, il présente un certain nombre de limites. La sécurité est sans doute la première limite à l'emploi d'Internet comme réseau fédérateur, en effet, malgré l'arrivée de l'encryptage ou l'emploi de « tunnels » privés de type PPTP *(Point to Point Tunneling Protocol) il* reste un point d'intrusion potentiel au sein du réseau de l'entreprise. D'autre part les débits sont limités à ceux des modems traversés. En revanche, il permet de faire de la connexion à distance RAS *(Remote Access Service),* de l'échange de données par transfert de fichiers FTP (File Transfert Protocole) et on assiste actuellement à la mise au point d'un langage d'échange de document XML *(eXtend Markup Language)* qui tendrait à internationaliser et à simplifier l'EDI (Échange de Données Informatisées) en le simplifiant.

> Réseau fédérateur par PABX

Les PABX *(Private Automatic Branch Exchange) ou* autocommutateurs, utilisés à l'origine essentiellement en téléphonie, jouent maintenant souvent un rôle d'interface entre réseaux privés d'entreprise et réseaux longues distances. Ils offrent ainsi dans l'entreprise les moyens de fonctionner en réseau commuté. Les dernières générations de PABX supportent la commutation ATM.

h) Interconnexion au travers des réseaux longues distances

France Télécom propose également quelques services d'interconnexion de réseaux locaux à travers les réseaux longues distances de transport de données. On peut citer :

- Transrel 802, interconnexion de réseaux locaux Ethernet ou Token RING à travers des artères en fibre optique ou *via* des liaisons spécialisées pour de courtes distances.

- Transrel ATM pour une interconnexion sur liaison commutée ATM supportant des débits de 2 à 25 MBps.

La déréglementation en cours devrait sans doute amener divers opérateurs (Bouygues, Lyonnaise des Eaux, ...) à proposer des solutions d'interconnexion.

27.2 LES PRINCIPAUX GESTIONNAIRES DE RLE

Les protocoles de liaison normalisés, ont pour but de rendre le logiciel indépendant du matériel afin de favoriser les communications entre réseaux de types différents ainsi que l'évolution des réseaux existants tout en assurant la conservation des applications antérieures. La première norme à respecter dans l'architecture des logiciels employés est en principe celle du modèle OSI *(Open System Interconnection)* à sept couches, adoptée par une majorité de constructeurs. Mais des architectures différentes, comme TCP/IP..., peuvent également être mises en œuvre.

Chaque réseau local de micro-ordinateurs doit disposer d'un logiciel de gestion de réseau ou système d'exploitation réseau (NOS - *Net Operating System),* englobant les niveaux OSI réseau, transport, session et présentation. NetBIOS

PLACE DE NETBIOS PAR RAPPORT AU MODÈLE ISO

Modèle OSI	Réseaux Locaux
Application	Progiciel
Présentation	DOS & Redirecteur
Session	NetBIOS
Transport	
Réseau	
Liaison	802.2 802.3, 802.5
Physique	

L'interface entre NetBIOS et les couches supérieures se fait grâce à des NCB *(Network Control Block)* qui sont des commandes spécialisées, communicant avec NetBIOS par le biais de l'interruption standard 5Ch.

27.2.2 NetWare de NOVELL

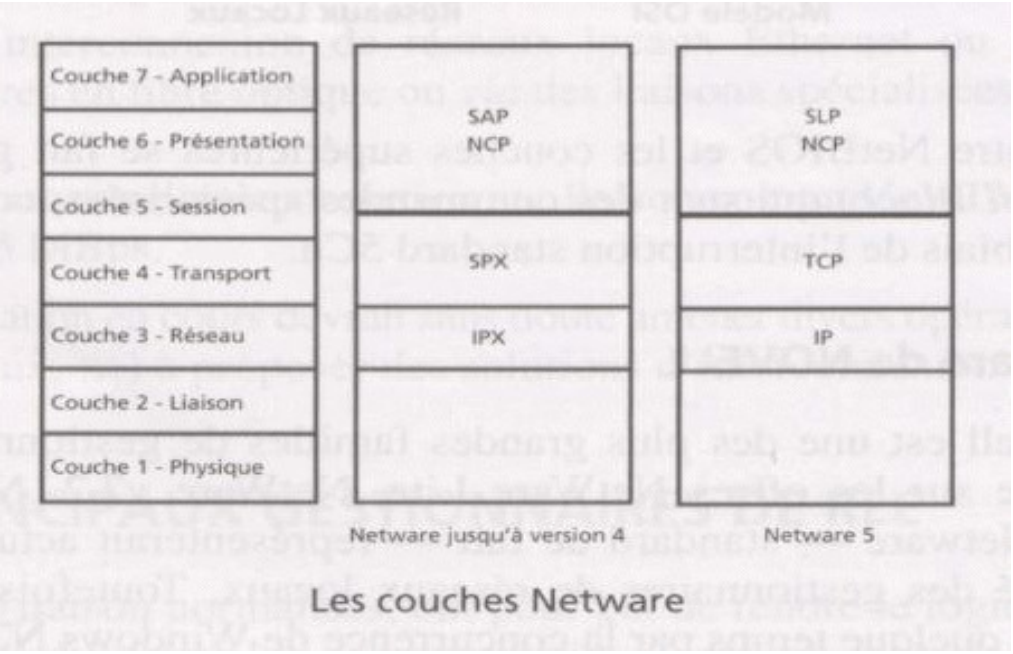
La gamme Novell est une des plus grandes familles de gestionnaires de réseaux locaux et repose sur les offres NetWare Lite, NetWare v2.2, NetWare v3. l x et Netware v4.x. Netware - standard de fait - représenterait actuellement plus de 50 % du marché des gestionnaires de réseaux locaux. Toutefois il est fortement malmené depuis quelque temps par la concurrence de Windows NT.
***NetWare Lite* assure la connexion simple et économique de 2 à 25 stations de type PC. Il permet à une clientèle de PME et de PMI, ne disposant que de quelques micros, de partager malgré tout données ou imprimantes, ... Par contre, l'interface utilisateur est un peu archaïque, n'offrant ni menus déroulants, ni souris, ni environnement Windows.**

***NetWare* v2.2 est basé sur un système d'exploitation 16 bits et peut gérer des serveurs dédiés ou non, jusqu'à 100 stations de type PC - Dos ou Windows, OS/2 ou Macintosh. Ne nécessitant pas de serveur dédié, il offre en standard des fonctionnalités de vérification des écritures sur disque, mirroring, contrôle de connexions des utilisateurs et des accès aux fichiers, ...**

***NetWare v3.lx* repose sur un système d'exploitation conçu pour des processeurs 32 bits. Il permet, grâce à un serveur dédié, de gérer jusqu'à 250 utilisateurs en environnement multi-platesformes (interconnexion de topologies et de systèmes d'exploitation différents).**

Modulaire, il peut supporter de très nombreux protocoles (AFP - *Apple Filing Protocol,* NetBios, OSI, TCP/IP, ...) et s'adapter aux particularités des plates-formes matérielles. Il permet d'ouvrir jusqu'à 100 000 fichiers avec un volume par serveur illimité, pouvant être réparti sur plusieurs disques physiques, en assurant également la gestion des fonctions d'administration du réseau à partir de n'importe quel poste...

***Netware v4.x,* disponible depuis début 1995, propose un système d'exploitation réseau, multitâches et multi-utilisateurs. Il dispose d'un outil d'administration graphique, ce qui évite d'avoir à retenir les nombreuses commandes. La base de données NDS *(Netware Directory Services)* - dite annuaire - contenant tous les objets du réseau (ressources, utilisateurs, groupes, serveurs, ...) peut être répartie sur plusieurs serveurs. Netware 4.1 est multi-protocoles, c'est-à-dire qu'il permet d'utiliser simultanément sur le serveur les protocoles IPX *(Internet Packet eXchange)* et *SPX (Sequenced Packet eXchange)* - normalement exploité par Netware et utilisant les NLSP *(Netware Link Services Protocol)* mais également des protocoles tels que TCP/IP ou Apple-Talk. Il permet également de sécuriser le réseau en gérant le serveur en disque miroir et même en cryptant les données lors de certains échanges entre stations.**



Les couches Netware

RIP *(Routing Information Protocol)* est destiné à gérer le routage des trames Ethernet et SAP *(Service Advertising Protocol)* utilisées par le système. Netware s'organise en couches à la manière du modèle OSI. RIP - protocole de routage - dialogue avec IPX qui est un protocole d'interconnexion, dialoguant lui même avec la couche NCP *(Netware Core Protocol)* est le protocole d'échange principal associé à Netware.

Bien que sérieusement concurrencé par Windows NT, Novell est toujours d'actualité et la version 5 de Netware est sortie en septembre 1998. Elle adopte le protocole TCP/IP devenu incontournable avec Internet et intègre Java pour les mêmes raisons. Dans NetWare 5, le protocole TCP/IP encapsule IPX/SPX de manière à conserver la compatibilité avec les versions existantes. L'administrateur voit sa tâche simplifiée par l'emploi de nouvelles technologies telles que NSS *(Novell Storage Service) ou* ZENWorks *(Zero Effort NetWorks).* Les technologies anciennes sont améliorées, telles LDAP *(Lightweight Directory Access Protocol), les* services d'annuaires NDS, ... et de nouvelles technologies sont introduites - NDPS *(Novell Distributed Print Services).*

27.2.3 Windows 3.11 et Lan Manager de Microsoft

***Windows 3.11 for Workgroups* est un système d'exploitation conçu pour gérer de petits réseaux locaux poste à poste *(peer-to-peer)* de quelques dizaines de stations. Multi-protocoles il s'interface avec d'autres gestionnaires de réseaux - Lan Manager, Windows NT, Novell Netware, Unix TCP/IP, ... Il autorise l'échange de fichiers entre stations, la messagerie, le partage d'imprimantes, ... Encore en service il est en fin de course et sa « déchéance » devrait s'accroître avec le fameux « passage à l'an 2000 ».**

Lan-Manager est un ensemble de logiciels d'exploitation réseau conçu pour tirer parti de Windows, en permettant l'accès aux données par des stations PC, Macintosh ou OS/2 ainsi que l'interconnexion de réseaux Netware, Unix TCP/IP... Il autorise l'accès distant, par le biais d'un modem. Il est actuellement délaissé par Microsoft au profit du système d'exploitation réseau Windows NT.

27.2.4 Windows 95/98 et Windows NT de Microsoft

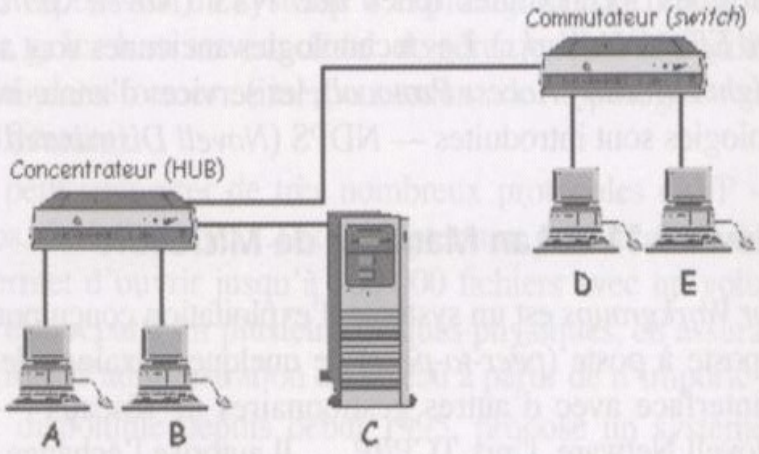
***Windows 95* et *Windows 98* sont des systèmes 32 bits, multitâches préemptif s'intégrant facilement dans toute architecture de réseau Windows NT ou Novell Netware. Il disposent d'origine de fonctions permettant de communiquer en environnement Internet... mais aussi avec les protocoles Lantastic, Banyan Vines, Dec, Netware et bien sûr Microsoft (Lan Manager, Windows 3.11, Windows NT, ...). Il sont capables d'utiliser de nombreux protocoles de transport : TCP/IP, IPX ou de communication : NetBios... Windows 95 et 98 doivent plutôt être considérés comme systèmes d'exploitation pour stations clientes ou autonomes.**

Windows NT v4.0* est le système d'exploitation réseau de Microsoft. C'est un système 32 bits, multitâches préemptif... Il peut fonctionner sur de nombreuses plates-formes 486, Pentium ou MIPS, PowerPC, ... ainsi qu'avec de nombreux protocoles en utilisant NetBios, les pipes Unix, les *sockets* Windows ou les API de SNA. Il est totalement compatible avec Netware, un serveur Windows NT pouvant être reconnu d'une station Netware et inversement. Windows NT se décompose en fait en deux sous-systèmes - Windows NTAS *(Advanced Server)* ou, plus couramment, Windows NT *Server* - du côté serveur de données et Windows NT *Workstation* pour la station cliente du réseau. Il est possible, à partir du seul Windows NT Workstation, d'interconnecter des stations en *peer-to-peer

comme avec Windows for Workgroups. Une version 5 de NT, dite Windows 2000, vient de sortir.

EXERCICES

27.1 Un réseau est constitué des nœuds connectés selon le schéma suivant :



a) Si un paquet de *broadcast* ARP (*Address Resolution Protocol*) est émis par A, quelles machines recevront ce paquet ?

b) Si un paquet est émis par A en direction de C quelles sont les machines qui recevront ce paquet ?

c) Si un paquet est émis par A en direction de E quelles sont les machines qui recevront ce paquet ?

SOLUTIONS

27.1 *a)* Le paquet de *broadcast* ARP doit, par définition, parcourir tout le réseau. Seul un routeur pourrait le filtrer, les machines A, B, C, D et E vont donc recevoir ce paquet.

b) Si un paquet est émis par A en direction de C, le concentrateur va répercuter ce paquet sur chacune de ses entrées/sorties. En revanche, le commutateur ne va pas le répercuter car ce paquet ne concerne aucune des machines dont il a la charge. Les machines B et C vont donc, seules, recevoir ce paquet.

c) Si un paquet est émis par A en direction de E, le concentrateur va répercuter ce paquet sur chacune de ses entrées/sorties. Les machines B et C vont donc recevoir ce paquet. En revanche, le commutateur ne va pas répercuter ce paquet vers D car la machine D n'est pas concernée mais seulement vers la machine E qui est destinataire. Au final, les machines B, C et E vont donc recevoir ce paquet.

Chapitre 28

L'offre réseaux étendus en France

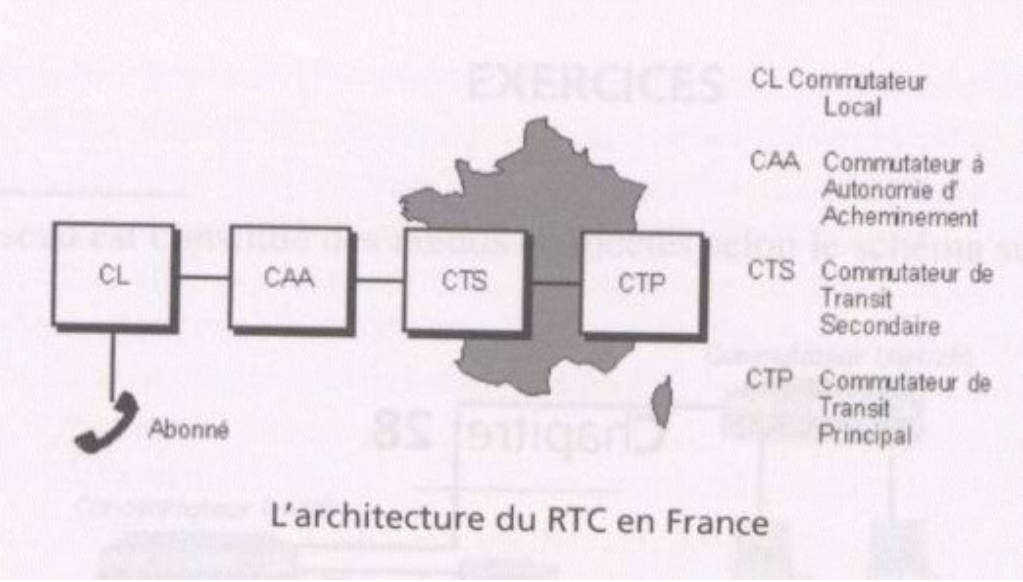
Les services de France Télécom proposent de nombreux réseaux aux fonctionnalités différentes (Réseau Téléphonique Commuté, Liaisons Spécialisées, Numéris, Transfix, Transpac, ...). France Télécom est maintenant privatisée - c'est la déréglementation - et l'offre en matière de réseau devrait donc se diversifier de manière importante avec l'introduction des opérateurs privés, notamment avec l'apparition des réseaux radio. Dans ce chapitre, nous présenterons les divers réseaux étendus offerts aux utilisateurs par France Télécom qui reste le principal opérateur dans ce domaine et nous terminerons par la présentation d'une méthode succincte de conception de réseau.

28.1 RESEAUX FRANCE TELECOM

28.1.1 Réseau téléphonique commuté (RTC)

a) Description sommaire

Le réseau téléphonique commuté - RTC - est historiquement le premier réseau de transmission de données. C'est un réseau hiérarchisé à quatre niveaux. Les deux niveaux inférieurs correspondent aux autocommutateurs d'abonnés, les deux niveaux supérieurs sont ceux réservés au trafic de transit, essentiellement interurbain. L'ensemble de la hiérarchie est repris dans le schéma ci-après.



L'architecture du RTC en France

b) Classes de débits

Les débits autorisés sur le RTC sont normalisés par des avis du CCITT.

PRINCIPAUX AVIS DU CCITT

Débit (en bits/s)	Avis CCITT	Mode	
		4 fils	2 fils
300	V21		Full Duplex
1200/600	V22		Full Duplex
2400/1200	V22bis		Full Duplex
1200/600 75/1200	V23 (Minitel)	Full Duplex	Half Duplex Full Duplex
2400/1200	V26bis V26ter	Full Duplex	Half Duplex Full Duplex
4800/2400	V27ter		Half Duplex
9600/4800/2400	V32		Full Duplex
14 400	V32bis		Full Duplex
28 800	V34		Full Duplex
33 600	V34 bis		Full Duplex

Ces débits sont ceux pour lesquels les campagnes de mesures effectuées ont montré que le taux d'erreurs apportées par le réseau était acceptable, dans la plupart des communications établies. Toutefois, et c'est un point important, la diversité des itinéraires pouvant être empruntés par une communication sur le RTC *interdit de garantir les caractéristiques de transmission.*

c) Tarification

La transmission de données sur le RTC n'est assortie, d'aucune surtaxe particulière liée à cette utilisation. Une taxe de raccordement est perçue à l'installation, ainsi qu'un abonnement mensuel, et on doit payer également une taxe de communication dont la périodicité dépend de la zone appelée et le montant de l'horaire d'appel. Une réduction de 50 % est applicable selon les plages horaires de communication.

d) Avantages / inconvénients

Le RTC présente l'avantage d'être facilement accessible à tout utilisateur par le biais d'un simple modem. C'est de plus un réseau universel qui peut mettre deux interlocuteurs en relation partout dans le monde. Il autorise l'accès et l'utilisation du réseau Transpac. C'est ce qui se passe quand on utilise son Minitel avec un code d'accès 36 15 ou 36 14 par exemple. Par contre le RTC présente également des inconvénients. Le débit est limité à 33 600 bits/s avec l'avis V34bis, les temps de connexion et de déconnexion ne sont pas garantis, les caractéristiques des lignes peuvent varier d'un appel à l'autre, ce qui implique l'emploi de modems performants donc chers - autorisant des replis sur des débits de transmission inférieure en cas de mauvaise qualité de la ligne, des corrections, compressions, ...

La tendance est à la réduction des coûts longue distance et à l'élévation du coût des communications locales mais le coût de la communication est encore vite prohibitif dès lors que l'on quitte la zone locale. Ce type de solution est donc à réserver à des appels de courte durée ou en zone urbaine, quand la qualité de connexion n'est pas primordiale - transfert de fichiers entre particuliers, accès Internet ponctuels, ...

28.1.2 Liaisons spécialisées (LS)

a) Description sommaire

Les liaisons spécialisées sont des lignes empruntées à l'infrastructure normale du RTC Leur particularité vient de ce qu'elles sont à disposition exclusive de l'utilisateur (lignes louées), et non plus établies à la demande par commutation de circuits comme sur le RTC. Ces liaisons spécialisées (LS) reprennent dans leur principe le schéma d'organisation des liaisons commutées du RTC. On rencontre divers types de liaisons spécialisées ou lignes louées, selon les possibilités offertes.

b) Classes de débits

Les Liaisons Spécialisées Analogiques - LSA - dites aussi LS téléphoniques ou LS ordinaires, permettent la transmission de signaux compris dans la bande des fréquences téléphoniques. Une telle LS peut ainsi être réalisée :

- par des lignes à deux fils de qualité normale (2QN),
- par des lignes à quatre fils, de qualité normale (4QN) ou supérieure (4QS).

Les débits offerts par les LS analogiques dépendent essentiellement des capacités des modems mis en oeuvre aux extrémités - jusqu'à 33 600 bits/s en V34bis et 155 KBps en utilisant la compression de données. Les liaisons spécialisées bande de base ou LS numériques font l'objet d'un service à part entière, le réseau TRANSFIX. Pour les bas débits, une « orientation » commerciale vers Numéris semble prédominer.

c) Tarification des LS ordinaires

Les LS analogiques ont l'avantage de présenter une tarification indépendante du débit, consistant essentiellement en une redevance mensuelle qui dépend de la distance à vol d'oiseau entre les deux points à relier, et des caractéristiques de la ligne (2 ou 4 fils, qualité normale ou supérieure : 2QN, 4QN, 4QS). Une taxe de raccordement est également perçue pour chaque extrémité de la liaison spécialisée.

d) Avantages/inconvénients

Les LSA offrent aux abonnés une certaine sécurité de communication - dans la mesure où ils seront les seuls à utiliser les voies louées - ainsi qu'une tarification intéressante sur des distances faibles. Mais les débits offerts ne sont pas très élevés et, surtout, la taxation devient prohibitive si les lignes sont peu utilisées ou ne véhiculent que peu de données, car la tarification est indépendante du volume.

Ce type de liaison - encore très utilisé (400 000 abonnés) - est en recul depuis l'arrivée du réseau Numéris.

28.1.3 TRANSFIX

a) Description sommaire

Ouvert depuis 1978, le réseau Transfix est parfois connu sous son ancien nom de Transmic. Il englobe en effet des voies MIC ainsi nommées en référence à la technologie de numérisation par impulsions codées. Transfix est un service de liaisons numériques à bas, moyens et hauts débits, sur des voies synchrones, fonctionnant en full duplex. C'est l'offre LS numériques de France Télécom.

b) Classes de débits

Le réseau Transfix offre trois gammes de débits :

- les bas débits de 2 400, 4 800, 9 600 ou 19 200 bits/s,
- les moyens débits de 48, 56 ou 64 KBits/s,
- les hauts débits de 128 KBps jusqu'à 2048 KBits/s.

Des lignes très haut débit (34 MBps) peuvent être envisagées mais restent encore d'un usage exceptionnel, leur accès étant limité à certains départements.

c) Tarification

La tarification sur le réseau Transfix se fait par taxation des frais d'accès par extrémité et par paiement d'un forfait mensuel, indépendant du volume.

d) Avantages / inconvénients

Transfix présente les avantages des liaisons numériques (forts débits, liaisons fiables, notamment par le doublement optionnel de la liaison entre l'ETCD et le point d'accès...), une tarification économique indépendante des volumes transportés comprenant la fourniture des convertisseurs bande de base. France Télécom a d'ailleurs baissé ses tarifs afin de rendre ce service encore plus concurrentiel. La liaison Transfix est en fait souvent moins chère que la LSA équivalente.

28.1.4 Réseau NUMERIS

a) Description sommaire

Numéris (ex Transcom), accessible depuis fin 1987, est un RNIS (Réseau Numérique à Intégration de Services), commuté, chargé de la transmission de données numériques à 64 KBits/s. L'architecture de Numéris reprend celle du RTC classique, mais avec des liaisons numériques de bout en bout. Numéris

VN4 (Version Nationale 4) représente en fait « l'avenir » du RTC qu'il est chargé de remplacer à terme et, dans sa version VN6, doit préparer à la mise en place d'un futur réseau européen dit Euro-ISDN *(Euro-Integrated Service Digital Network).*

Sur un RNIS, on peut faire passer n'importe quelle information, image, son, voix, données, ... pourvu qu'elle soit numérisable d'ou l'emploi des termes « intégration de services ». Numéris est donc un réseau particulièrement bien adapté aux transferts de fichiers de toutes natures (images, son haute qualité, données binaires, ...). De plus, Numéris repose parfaitement sur la norme OSI du CCIT en ce qui concerne les trois couches basses mises en œuvre :

- la couche physique (couche 1) décrit l'interface « S » côté usager et « T » côté réseau, ainsi qu'une prise RJ45 prévue pour connecter le terminal,

- la couche liaison de données (couche 2) s'appuie sur l'emploi du protocole HDLC classe LAP-D,

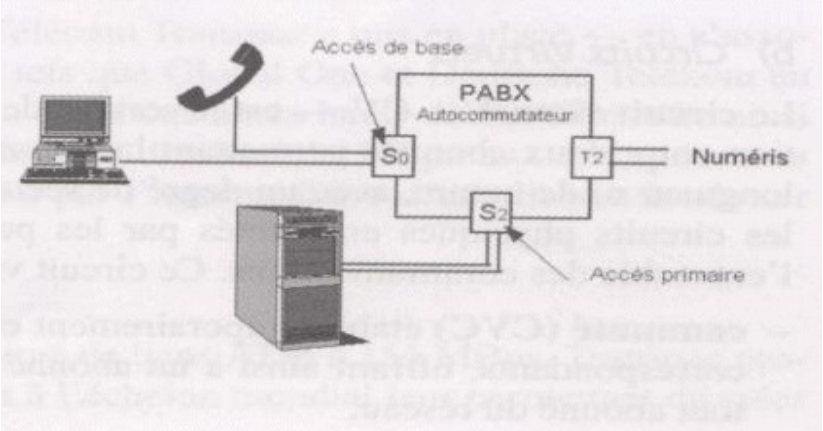
- la couche réseau (couche 3) est identique à X25 avec, en plus, la mise en oeuvre d'un protocole spécial de signalisation.

a) Accès Numéris

Chez l'abonné les terminaux sont branchés sur des interfaces « S » (petite prise plastique transparente ISO-8877), avec adaptation possible aux interfaces V24, V35, X21 et X25.

Les prises S sont placées sur un bus constitué par un câble téléphonique 2 ou 4 paires, dont la longueur maximale peut aller de 150 à 1 000 m. Ces prises sont universelles car utilisées pour tous les types de terminaux conformes à l'interface « S » normalisée par le CCITT. La régie d'abonné, située entre le terminal à 64 KBps et le réseau, est l'interprète du réseau auprès du terminal et inversement.
L'accès au réseau Numéris se fait selon trois modes :

- l'accès de base dit aussi interface SO comporte deux voies 64 KBits/s (dites voies ou canaux B) et une voie de signalisation à 16 KBits/s (dite voie ou canal D). C'est l'accès minimum. Il permet d'atteindre un débit de 128 KBps en utilisant les deux canaux synchronisés (sans compression de données),



- le groupement d'accès de base qui permet de disposer de 2 à 15 voies B est en fait la réunion, comme son nom l'indique, de plusieurs accès de base,

- l'accès primaire, dit aussi interface S2, qui permet quant à lui de disposer de 15, 20, 25 ou 30 voies B à 64 KBps et présente une voie de signalisation D plus conséquente puisqu'elle autorise également un débit de 64 KBps.

b) Tarification

La tarification NUMÉRIS repose, comme pour le RTC, sur une redevance de trafic à la minute, fonction de la distance et tenant compte des coefficients modulateurs en fonction des plages horaires. Une redevance mensuelle dépendant du type de terminal abonné est perçue, ainsi que des frais de mise en service par extrémités.

c) Avantages / inconvénients

Numéris offre de nombreux avantages en terme de transmission de données, vis-à-vis du RTC ou des LSA. En effet, le délai d'établissement est très court (environ 3 secondes contre 15 pour le RTC). Il permet d'assurer le transport de la voix comme des données et ce de manière simultanée (il est ainsi possible de converser avec un interlocuteur sur une voie B, tout en consultant une banque de données grâce à une autre voie B). On peut connaître le numéro d'appelant, faire un renvoi de terminal, ... Il est économique car les communications sont facturées à la durée et non au volume (6 fois plus rapide que le RTC d'où des coûts de transfert de 4 à 15 fois moins élevés).

28.1.5 TRANSPAC

a) Description sommaire

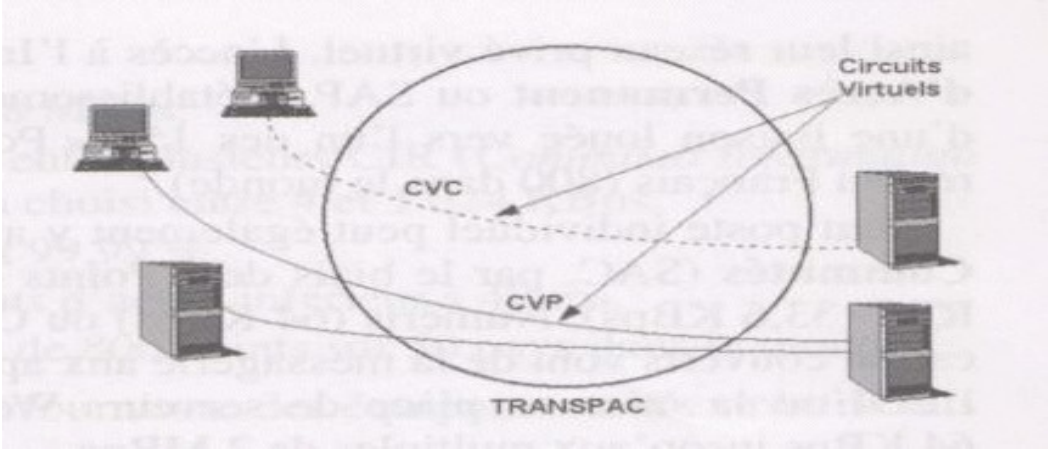
Transpac est une filiale de France Télécom créée en 1978. Elle propose au départ un service de transmission de paquets s'appuyant essentiellement sur les protocoles HDLC et X25 mais depuis 1996 elle a fortement réorienté son offre vers IP et le relais de trames ou *Frame Relay.* L'architecture de Transpac se présente à la base comme un réseau dorsal *(backbone)* fortement maillé offrant des débits qui peuvent atteindre plusieurs multiples de 2 MBps.

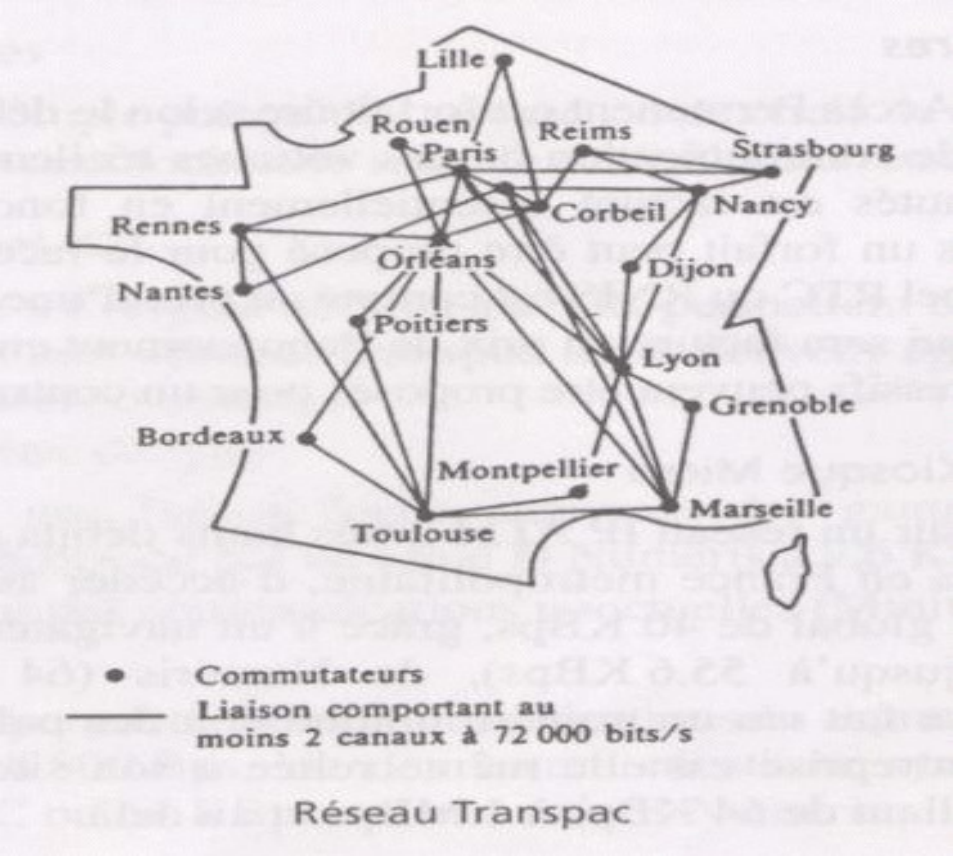
b) Circuits Virtuels

Le circuit virtuel - CV - est le service de base de Transpac. Il s'agit d'une relation entre doux abonnés permettant la transmission de données sans restriction de longueur ni de nature, avec un degré de sécurité important. On l'appelle virtuel car les circuits physiques empruntés par les paquets d'un abonné sont partagés par l'ensemble des communications. Ce circuit virtuel peut être :

- commuté (CVC) établi temporairement et libéré à la demande de l'un des deux correspondants, offrant ainsi à un abonné la possibilité d'entrer en contact avec tout abonné du réseau,

- permanent (CVP) établi de façon permanente entre deux abonnés, auquel cas l'utilisateur ne bénéficie plus des possibilités de commutation mais est sûr de maintenir une liaison privilégiée avec son correspondant. Aucune procédure d'établissement du circuit virtuel n'est nécessaire dans ce cas.





c) Offre réseaux

Transpac a largement étoffé son offre réseaux ces dernières années. La gamme actuelle s'articulant autour des offres suivantes :

> Internet Avantage

Devant la montée d'Internet, France Télécom Transpac a mis en place - en s'associant à des partenaires internationaux tels que Global One et Deutsche Telekom en Europe ou Sprint aux États-Unis - un backbone à très hauts débits. Elle offre ainsi des accès IP allant de 64 KBps à plusieurs dizaines de MBps aux entreprises ou aux hébergeurs Internet. L'accès se fait par l'intermédiaire d'une liaison louée sur une PAI (Porte d'Accès Internet).

> Global Intranet Réseau

S'appuyant sur un réseau dorsal constitué de liens ATM à 155 MBps, Transpac propose aux entreprises une offre Intranet à l'échelon mondial leur permettant de crée ainsi leur réseau privé virtuel. L'accès à l'Intranet peut se faire grâce aux Services d'Accès Permanent ou SAP. L'établissement est alors équipé d'un routeur IP et d'une liaison louée vers l'un des 150 « Points d'Accès Permanent » - PAP du réseau Français (800 dans le monde).
Tout poste individuel peut également y avoir accès grâce aux Services d'Accès Commutés (SAC, par le biais de « Points d'Accès Commutés »), PAC, depuis le RTC (33,6 KBps), Numéris (64 KBps) ou GSM (12 KBps). Les domaines d'application couverts vont de la messagerie aux applications de *groupware* en passant par l'EDI ou la mise en place de serveurs Web. La gamme de débits offerts va de 64 KBps jusqu'aux multiples de 2 MBps.

d) Principes tarifaires

Le prix du Service d'Accès Permanent est forfaitaire selon le débit retenu et donc indépendant de la durée de communication ou des volumes réellement échangés. Le Service d'Accès Commutés est facturé essentiellement en fonction de la durée des communications mais un forfait peut être proposé pour le raccordement d'un réseau local. Le prix de l'appel RTC ou RNIS est compté au prix d'une communication locale de même que GSM qui sera facturé au prix de l'abonnement en vigueur. Sur ces deux services des prix dégressifs peuvent être proposés pour un contrat de deux à trois ans.

> Global Extranet Kiosque Micro

Ce service s'appuie sur un réseau IP ATM à très hauts débits et propose aux clients de l'entreprise, situés en France métropolitaine, d'accéder au site serveur de cette entreprise à un débit global de 40 KBps, grâce à un navigateur Web et par le biais du RTC (modem jusqu'à 55,6 KBps), de Numéris (64 KBps) ou de GSM (12 KBps). L'accès se fait *via* un numéro unique et à des paliers tarifaires décidés par l'entreprise. L'entreprise est elle même reliée à son site serveur par le biais d'une liaison louée allant de 64 KBps à 1 MBps et au delà.

e) Principes tarifaires

Pour le serveur, la tarification s'appuie essentiellement sur un forfait mensuel dépendant de la bande passante et de la grille tarifaire clients mise en œuvre. Des frais de mise en service sont également perçus.

> Voix-Données-Images

France Télécom Transpac offre à l'entreprise des services de transport de la voix, de données ou d'images au travers d'un accès au réseau fourni par un FRAD *(Frame Relue Access Device)* qui lui permet de disposer de « prises » IP, SNA, X25, Voix, ... On peut ainsi connecter un réseau local, un autocommutateur ou des terminaux passifs.

> Réseau Privé Virtuel Frame Relay

Utilisant son backbone de commutateurs ATM partageant des liens dont le débit peut atteindre 2.5 GBps, Transpac propose un service de CVP (Circuits Virtuels Permanents) en relais de trames (*Frame Relay*).

Cette offre permet ainsi de proposer :

- des débits d'accès pouvant atteindre 8 MBps,
- un service de CVP donnant le choix entre plusieurs CIR *(Commited Information Rate)* garantissant un débit minimum choisi entre 4 et 1 024 KBps,
- une disponibilité de réseau atteignant 99,99 %,
- un temps de transit moyen entre points d'accès inférieur à 40 ms,
- 120 points d'accès en Europe et plus de 800 points sur 50 pays dans le monde.

Transpac peut proposer également la fourniture des équipements d'extrémité tels que concentrateurs, routeurs, FRAD, ...

f) Principes tarifaires

La tarification est très simple puisqu'elle se base sur des frais de mise en service et sur un abonnement entièrement forfaitaire selon le débit d'accès retenu pour chaque site.

> Réseau Privé Virtuel X25

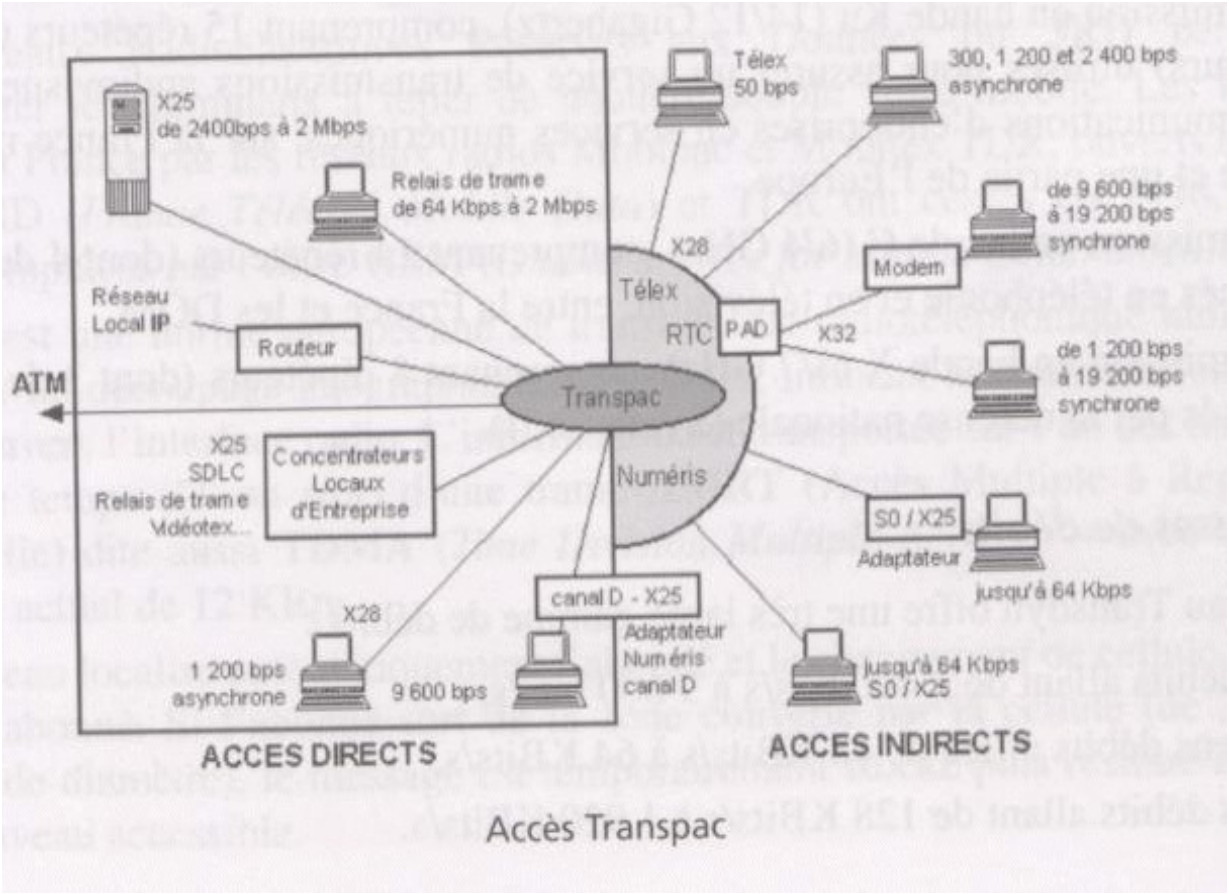
Les services X25 sont à l'origine de Transpac. Ils permettent d'assurer une connectivité maximale entre tout abonné Transpac mais peuvent également être utilisés pour des accès ponctuels commutés.

Les accès peuvent être de type :

- accès directs par une liaison louée, couvrant des gammes de débits entre 9,6 KBps et 1 920 KBps ou par un canal D Numéris à 9,6 KBps.

- accès indirects pour des communications ponctuelles (Minitel, ...) *via* le RTC ou Numéris.

Les accès indirects permettent des communications en asynchrone dans une plage de débit de 300 à 28 800 Bps, ou des communications synchrones de 2 400 à 19 200 Bps sur le RTC ou 64 KBps sur une voie B Numéris.



g) Avantages / inconvénients

Le réseau Transpac présente de nombreux avantages et il permet notamment l'échange de données entre des utilisateurs situés en tout point du territoire et équipés de matériels aux caractéristiques différentes.

C'est un réseau conforme aux normes internationales ISO, qui offre des débits allant jusqu'à 2 MBits/s, présentant une grande fiabilité et une relativement grande sécurité notamment par l'option « groupe fermé d'abonnés » et par le doublement des voies.

Transpac est toutefois concurrencé, dans un certain nombre de cas, par les nouvelles technologies du type relais de trame ou commutation de cellule ainsi que par des réseaux mettant en oeuvre des protocoles IP comme Internet.

Transpac offre d'ailleurs dorénavant un service d'accès Internet.

28.1.6 TRANSDYN

a) Description sommaire

Transdyn est un réseau de liaisons numériques, utilisant des satellites géostationnaire - c'est-à-dire restant en orbite dans la même position par rapport à la Terre. Des satellites de première génération - Télécom 1 A et 1 B - ont été mis en service par la fusée Ariane en 1984 et 1985. Une deuxième génération est actuellement entrée en service avec Télécom 2A, 2B, 2C et 2D.

Transdyn est donc un réseau numérique commuté, c'est-à-dire permettant à tout utilisateur, où qu'il se trouve, de se connecter (à condition de disposer des équipements nécessaires), autorisant ainsi toutes les configurations de dialogue souhaitables entre les utilisateurs, c'est enfin un réseau à diffusion dans la mesure où on peut facilement émettre la même information vers plusieurs utilisateurs. Les satellites sont essentiellement chargés d'assurer trois « missions » :

- une mission en bande Ku (14/12 Gigahertz), comprenant 15 répéteurs (dont 4 de secours) utilisés pour assurer un service de transmissions audiovisuelles et de communications d'entreprises en services numériques, sur la France métropolitaine et une partie de l'Europe,

- une mission en bande C (6/4 GHz), comprenant 14 répéteurs (dont 4 de secours) utilisés en téléphonie et en télévision, entre la France et les DOM,

- une mission en bande X (8/7 GHz), comprenant 8 répéteurs (dont 3 de secours), utilisés par la défense nationale (Syracuse II).

b) Classes de débits

Le réseau Transdyn offre une très large gamme de débits :

- bas débits allant de 2 400 bits/s à 9 600 bits/s,
- moyens débits allant de 48 KBits/s à 64 KBits/s,
- hauts débits allant de 128 KBits/s à 1 920 KBits/s.

c) Tarification

Le principe de la tarification sur Transdyn, repose sur la notion d'un accès évolutif au réseau, comprenant ainsi :

- une taxation forfaitaire à l'accès,

- une redevance mensuelle d'abonnement, par raccordement, selon le type d'accès et le débit demandé,

- une redevance de trafic par seconde de communication, fonction du débit, des plages horaires... à laquelle on applique des coefficients modulateurs.

d) Avantages / inconvénients

Transdyn allie la souplesse d'un réseau facilement reconfigurable à la puissance des transmissions numériques à haut débit. Le nombre des interlocuteurs n'est plus limité, mais il faut toutefois réserver ses plages d'émissions pour les bas et moyens débits, ce qui peut poser certaines contraintes. Le haut débit bénéficie quant à lui de la « liaison à l'appel » où la communication est établie après appel du ou des abonnés.
Longtemps « bridé » par France Télécom - qui mettait plutôt en avant, pour des raisons de rentabilité, Transpac et Numéris - le réseau Transdyn est aujourd'hui concurrencé par le développement des VSAT *(Verv Small Aperture Terminal).* Les VSAT - petite station terrienne placée chez l'utilisateur - sont libéralisés depuis 1990, c'est-à-dire qu'on peut s'adresser à d'autres opérateurs que France Télécom, tels British Telecom, Astra, Hugues Network, ...

28.2 RESEAU RADIO, TRANSMISSION SANS FIL

a) Description sommaire du réseau Itinéris GSM

Les Réseaux Radioélectriques Réservés aux Données ou 3RD permettent d'implanter les terminaux à relier de manière souple voire mobile. Les services offerts en France par les réseaux radios Mobipac et Mobitex TDR, ouverts en 1994 par FTMD *(France Télécom Mobile Data)* et TDR ont cessés en 1996. Il sont depuis remplacés par l'offre GSM *(Global Service for Mobile Communications).*

GSM est une norme européenne de transmission radiotéléphonique numérique, basée sur un découpage géographique en cellules, utilisant la commutation de circuits à travers l'interface radio. L'information est transportée sur l'un des huit intervalles de temps (IT ou *slot)* d'une trame AMRT (Accès Multiple à Répartition Temporelle) dite aussi TDMA *(Time Division Multiple Access)* - avec un débit maximal actuel de 12 KBps.

Le réseau localise automatiquement l'abonné et le changement de cellule n'affecte pas l'abonné. Si l'abonné sort de la zone couverte par la cellule (de 300 m à 35 Kms de diamètre), le message est temporairement stocké puis restitué dès qu'il est à nouveau accessible.

GSM 900 ET GSM 1800

	GSM 900	GSM 1800
Bandes de fréquences	890-915 MHz et 935-960 MHz	1710-1785 MHz et 1805-1880 MHz
Nombre de slots par trame TDMA	8	8
Rapidité de modulation	271 KBps	271 KBps
Débit maxi en données	12 KBps	12 KBps
Rayon des cellules	300 m à 30 km	100 m à 4 km

b) Classes de débits

La transmission s'effectue actuellement à 12 000 Bps.

c) Tarification

Ils sont facturés en fonction du volume transmis plus un abonnement mensuel. Des frais de mise en service sont également perçus.

d) Avantages/inconvénients

Ces réseaux ont encore les inconvénients de la jeunesse : débit limité à 12 KBits/s, accès parfois impossible, ... Ces technologies souples, quand à la reconfiguration des réseaux, devraient cependant progresser fortement dans les années à venir, notamment avec la montée de nouveaux réseaux tels GPRS (*General Packet Radio Service*) ou UMTS (*Universal Mobile Telephony Service*).

28.3 INTERNET

Né aux États-Unis dans les années 1970, Internet est un réseau international en pleine expansion, mettant en relation des milliers de réseaux de tous types et des millions d'ordinateurs à travers le monde - c'est le cyberespace. Tout à chacun peut y avoir accès et Internet est ainsi la plus grande banque de données au monde.
Il est tout à la fois bibliothèque, photothèque, vidéothèque, ... mais également lieu de dialogue, d'échange d'informations économiques, médicales, sportives, informatiques, commerciales, ou tout simplement personnelles... Compte tenu de cette densité d'informations, se déplacer (naviguer ou *surfer)* sur Internet - *Le Net* - n'est pas toujours très évident et les coûts de communication peuvent s'en ressentir.

Internet est un réseau :

- à commutation de paquets,
- utilisant le protocole TCP/IP,
- gérant ses adresses grâce au système d'adressage DNS.

Chaque serveur et prestataire Internet doit donc disposer d'une adresse IP. En effet, comme dans tout réseau à commutation de paquets, les données empruntent les mêmes voies physiques et sont orientées vers leur destinataire par les routeurs.

Afin de simplifier ces adressages, on fait correspondre à l'adresse numérique reconnue par le protocole TCP/IP une adresse symbolique de domaine DNS *(Domain Name System).* À l'origine ces adresses étaient regroupées aux États-Unis en six domaines :

com pour les organisations commerciales,
edu pour les universités ou établissements d'enseignement,
gov pour les organisations gouvernementales non militaires,
mil pour les militaires,
org pour les organisations non gouvernementales,
net pour les ressources du réseau...

Du fait de sa mondialisation, on trouve également des domaines par pays, chaque branche ayant alors la possibilité de gérer ses propres sous domaines.

fr France,

uk United Kingdom (Royaume Uni), ...

Ainsi http://www.louvre.fr indique une adresse d'un serveur situé en France, en l'occurrence le Louvre - dans lequel on peut se déplacer en utilisant un logiciel de type www. C'est le rôle du prestataire Internet d'établir la correspondance entre cette adresse et l'adresse IP du serveur d'information qui va émettre les pages Web concernant votre visite du musée du Louvre.

Pour utiliser Internet il est nécessaire de disposer de divers matériels et logiciels :

- une voie de communication rapide : modem câble, accès Numéris 64 KBits/s ou un modem le plus rapide possible (33 600 Bps ou plus) afin de limiter les temps de transfert des informations et donc la facture relative aux coûts des communications. Ceci dit cette vitesse est parfois « utopique » dans la mesure ou tous les serveurs ne sont pas capable d'assurer des réponses à des vitesses aussi rapides !

- un logiciel de visualisation Web tel que MSIE *(MicroSoft Internet Explorer) ou* Netscape Communicator... permettant de naviguer de serveur en serveur et de recevoir des informations graphiques ou textes selon les cas,

- une station de réception relativement puissante - Pentium... - avec une capacité de stockage intéressante et suffisamment de mémoire pour assurer les chargements des pages et des affichages rapides,

- un prestataire Internet. Le problème semble être actuellement celui du choix du prestataire - choix complexe compte tenu des tarifs - allant de la gratuité à des sommes plus conséquentes, et des services offerts. Doit-il être proche physiquement du réseau ? (avec le RTC sûrement, avec Numéris sans doute...). Mais les opérateurs mettent maintenant à disposition un numéro d'accès national tarifé comme un numéro local.

a) Terminologie Internet

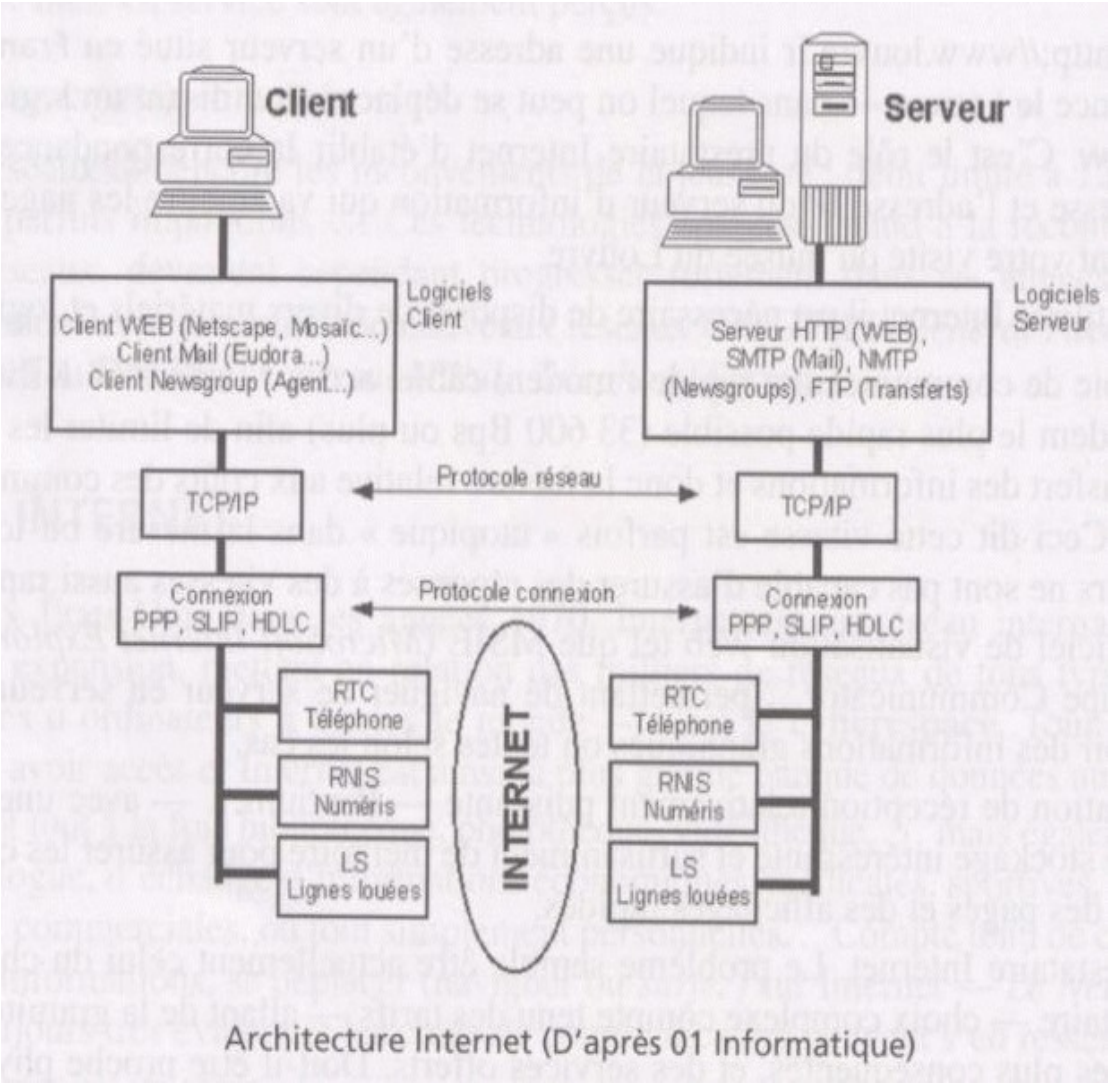
Afin de s'y retrouver dans l'enchevêtrement des serveurs et des réseaux que représente Internet, il est utile de connaître quelques termes.

Voilà, Yahoo, Alta Vista, Nomade... : serveurs dits « portails » permettant - grâce à une recherche par mots clés - de connaître les contenus d'autres serveurs. Ce sont les moteurs de recherche fondamentaux avec Internet. Si on ne sait pas où trouver telle ou telle information on peut utiliser ces moteurs. Il s'en crée régulièrement de nouveaux.

BBS *(Bulletin Board System* ou « babillards ») : serveurs télématiques (Compuserve, Calvacom, FranceNet, ...). Le responsable d'un BBS est dit *System Operator.* Ce serveur peut être de type *Web, Gopher, Ftp IRC.*

E-Mail : boite à lettres électronique (un compte) permettant d'échanger des courriers entre utilisateurs Internet. Une adresse e-mail se reconnaît à la présence du symbole @. Ainsi chevrollier@lchevrollier.ac-nantes.fr correspond à l'adresse de la boîte aux lettres de Chevrollier sur un serveur situé en France et faisant partie du sous-domaine Chevrollier, appartenant lui même au domaine ac-nantes.

FAQ *(Frequently Asked Questions) :* document qui rassemble les questions les plus fréquemment posées par les utilisateurs d'un serveur.



FTP ***(File Transfert Protocol) :*** **programme qui permet d'envoyer ou de recevoir des fichiers depuis les BBS ou depuis des serveurs FTP.**

Full IP : accès à l'ensemble des fonctionnalités Internet.

Gopher : logiciel de navigation ancien permettant de recevoir des pages de texte.

HTML ***(HyperText Markup Language)*** **: version simplifiée pour le Web du langage de documents structurés utilisé en gestion documentaire. Extensions en cours avec XML** ***(eXtend Markup Language).***

HTTP (HyperText Transfert Protocol) : **protocole d'accès au Web.**

IETF ***(Internet Engineering Task Force) :*** **groupe de travail et communauté de chercheurs et développeurs Internet, chargés d'assurer une certaine moralité du réseau.**

IRC (Internet Relay Chat) : **logiciel de dialogue interactif entre utilisateurs Internet.**

PGP (Pretty Good Privacy) : **programme de cryptage des données destiné à garantir la confidentialité des échanges d'informations notamment en ce qui concerne la mise en place de moyens de paiement sur le réseau Internet.**

SLIP et PPP ***(Serial Line Internet Protocol* et *Peer to Peer Protocol) :*** **protocoles qui permettent de faire du *Full IP* sur un port série.**

Telnet : logiciel de télé accès à des sites distants référencés sur Internet.

Web ***(World Wide Web*** **aussi appelé W3 ou WWW) : mode de connexion très utilisé, permettant de naviguer dans Internet en mode graphique.**

28.4 PRINCIPES DE CONCEPTION DE RESEAU

Compte tenu de la complexité et de l'étendue des connaissances nécessaires, la conception d'un réseau est souvent réalisée de manière empirique au niveau des petites et moyennes entreprises. Toutefois nous présenterons ici une méthode permettant une première approche d'un tel problème. L'étude préalable à la conception d'un réseau doit porter sur un certain nombre de points tels que :

- déterminer le volume des transactions ou des échanges de données,

- déterminer la durée d'une transaction ou le temps imparti à un transfert d'informations,

- en déduire le nombre de terminaux éventuellement nécessaires,

- en déduire le débit de la ligne nécessaire.

Le débit est la notion essentielle dans un calcul de réseau et on retrouve souvent une image qui correspond à un volume d'eau à écouler pour les données et à un tuyau d'un certain diamètre pour l'écoulement. Le bon sens ne trompe pas à penser que plus le diamètre du tuyau est large (plus le débit est important) et plus vite on aura transmis nos données et donc moins ça nous coûtera cher (sauf si le tuyau est plus cher...). On parle souvent de tuyau de communication pour désigner une voie de transmission.

Après cette approche, il faudra choisir une configuration de réseau, dépendant de critères géographiques mais aussi - devrait-on dire surtout ? - économiques.

28.4.1 Cas exemple

Une importante société immobilière, dont le siège est à Nantes, possède des établissements dans la région (Angers, Le Mans, Tours et Poitiers). Elle souhaite s'équiper d'une informatique performante, vitrine de l'entreprise, telle que les clients puissent, depuis n'importe quelle agence, consulter le catalogue des maisons ou appartements à vendre ou à louer, en bénéficiant d'une ou plusieurs images et d'informations textuelles telles que l'adresse, le prix fixé, ...

L'étude préalable menée, tant au siège qu'auprès des agences, nous fournit l'ensemble des renseignements suivants :

- les agences sont ouvertes 20 jours par mois, de 9 heure à 13 heure et de 15 heure à 19 heure,

- chaque site devra pouvoir communiquer avec un seul poste dédié par site, en mode dialogue transactionnel,
avec le siège de Nantes sur une durée n'excédant pas 4 heures par jour,

- chaque transaction doit durer moins de 3 secondes ce qui est estimé comme le « délai de patience » maximum du client,

- chaque transaction correspond à un volume de données (y compris la majoration estimée, destinée à tenir compte des caractères représentatifs du protocole) de 23 Ko,

- les données retenues tiennent compte de la croissance de la société et du trafic afférent et sont valables pour les 5 ans à venir,

- le serveur de données du siège sera capable de répondre à tout type de connexion.

Les distances à vol d'oiseau entre chaque sites sont les suivantes :

Point A	Point B	Distance en km
Nantes	Angers	90
Nantes	Le Mans	180
Nantes	Poitiers	180
Nantes	Tours	200
Angers	Le Mans	94
Angers	Poitiers	140
Angers	Tours	110
Le Mans	Poitiers	180
Le Mans	Tours	82
Poitiers	Tours	102

Le problème posé est donc de savoir quel type de réseau choisir pour obtenir un réseau efficace, et cela pour un coût le plus « raisonnable » possible.

a) Ébauche de solution

1. Commençons par déterminer le débit des lignes nécessaires.

Le volume des informations à faire passer en 3 secondes est de 23 Ko, soit 23 Ko X 1024 o X 8 bits = 188 416 bits à écouler, et donc un débit nécessaire de 188 416 / 3 s = 62 806 bits/s, ce qui peut être arrondi à un débit de 62 KBits/s.

2. Quels sont donc les réseaux publics envisageables capables d'assurer au moindre coût une telle relation ?

Les réseaux qui viennent immédiatement à l'esprit sont le Réseau Téléphonique Commuté, les Liaisons Spécialisées Analogiques, Numéris, Transfix ou Transpac. Les liaisons satellites présentant des contraintes de réservation des plages de transmission incompatibles avec la solution recherchée et les réseaux radios n'en étant encore qu'à leurs balbutiements.

> Réseau Téléphonique Commuté

On peut d'ores et déjà éliminer la solution du Réseau Téléphonique Commuté car il offre un débit théorique ne dépassant pas actuellement les 33 600 bits/s - V34 bis. Bien entendu on pourrait envisager de mettre en œuvre des techniques de compression qui pourraient peut-être permettre d'atteindre le débit recherché de 62 KBits. Cette technique reste cependant trop hasardeuse dans notre cas car si, pour des raisons de qualité de communication, le modem est obligé de se replier sur des débits théoriques inférieurs il ne pourra plus assurer le débit de 62 KBits désiré et le délai de 3 secondes désiré risque également de ne pas être tenu. D'autre part il est fort probable que le coût de 4 heures de communication interurbaine en période de plein tarif (période rouge) ne devienne rapidement prohibitif.

> Liaisons Spécialisées Analogiques

La solution reposant sur l'utilisation des LSA peut également être éliminée pour les mêmes raisons de débit théorique offert, limité à 33 600 bits/s, bien qu'ici la qualité de la voie de communication soit en principe meilleure et que la mise en oeuvre des techniques de compression puisse souffrir de moins d'aléas.

> Numéris

Avec un simple accès de base le réseau Numéris offre des débits autorisés de 64 KBits/s sur chacune de ses deux voies B, ce qui répond aux besoins de notre exemple. Les principes de tarifications utilisés sur Numéris sont essentiellement un tarif à la durée, fonction de la distance à vol d'oiseau entre les deux points mis en relation. Rappelons que le débit n'intervient pas sur la tarification.

La détermination de la configuration minimisant les coûts passe alors par l'élaboration d'une matrice des distances et des coûts selon une méthode simple dite de « Kruskal ».

MATRICE DES DISTANCES

	Angers	Le Mans	Poitiers	Tours
Nantes	90 km	180 km	180 km	200 km
Angers		94 km	140 km	110 km
Le Mans			180 km	82 km
Poitiers				102 km
Tours				

Le coût de la liaison se calcule alors de la manière suivante : par exemple dans le cas de la liaison Nantes-Angers, on constate que cette liaison est dans la tranche des 50-100 Km et que le coût de Numéris à cette plage horaire est de 2,31 F/mn. (par la suite nous vous renvoyons en Annexe A - Coûts succinct des réseaux publics en France en fin de chapitre pour retrouver les tarifs appliqués). Ces tarifs sont ceux de 1996 et ont évolués mais le but de l'étude de cas n'est pas d'obtenir des valeurs exactes mais de comprendre les principes de conception.

TARIFS NUMÉRIS

	Rouge	Blanc	Bleu	Bleu nuit
En local	1 UT / 60 s 0,615 F/mn	1 UT / 85,7 s 0,43 F/mn	1 UT / 120 s 0,31 F/mn	1 UT / 171 s 0,22 F/mn
D < 50 km	1 UT / 30 s 1,23 F/mn	1 UT / 42,9 s 0,86 F/mn	1 UT / 60 s 0,62 F/mn	1 UT / 85,7 s 0,43 F/mn
50 km ⩽ D ⩽ 100 km	1 UT / 16 s 2,31 F/mn	1 UT / 22,9 s 1,61 F/mn	1 UT / 32 s 1,15 F/mn	1 UT / 45,7 s 0,81 F/mn
D > 100 km	1 UT / 12 s 3,08 F/mn	1 UT / 17,1 s 2,16 F/mn	1 UT / 24 s 1,54 F/mn	1 UT / 34,3 s 1,08 F/mn

Chaque jour : 4 heures × 60 minutes × 2,31 F/mn soit arrondi 555 F/jour.
Sur le mois : 20 jours × 555 F/jour soit 11 100 F.

Compte tenu des heures de travail, aucune minoration ne peut s'appliquer (mêmes minorations que pour le RTC, heures creuses, nuit, jours fériés, ...). On fait ensuite le même calcul pour chacun des tronçons potentiels de la configuration.

MATRICE DES DISTANCES ET DES COÛTS

	Angers	Le Mans	Poitiers	Tours
Nantes	90 km 11 100 F	180 km 14 784 F	180 km 14 784 F	200 km 14 784 F
Angers		94 km 11 100 F	140 km 14 784 F	110 km 14 784 F
Le Mans			180 km 14 784 F	82 km 11 100 F
Poitiers				102 km 14 784 F
Tours				

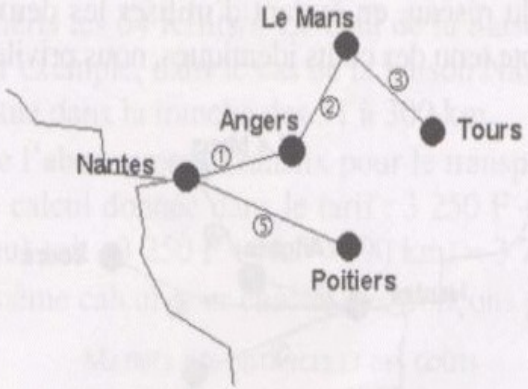
On classe enfin ces tronçons dans l'ordre croissant des coûts mensuels.

①	Nantes-Angers	11 100 F
②	Angers-Le Mans	11 100 F
③	Le Mans-Tours	11 100 F
④	Nantes-Le Mans	14 784 F
⑤	Nantes-Poitiers	14 784 F
⑥	Nantes-Tours	14 784 F
⑦	Angers-Poitiers	14 784 F
⑧	Angers-Tours	14 784 F
⑨	Le Mans-Poitiers	14 784 F
⑩	Poitiers-Tours	14 784 F

On « dessine » ensuite le réseau théorique en plaçant les tronçons dans l'ordre croissant des coûts et en évitant les boucles entre les noeuds du réseau. Ainsi, les trois premiers tronçons seront placés sur le dessin alors que le tronçon 4 ne le sera pas car la liaison Nantes-Le Mans est déjà « dessinée » au travers des tronçons 1 et 2 placés précédemment.

Pour montrer la démarche théorique proposée par cette méthode, nous ne cherchons pas, pour l'instant, à savoir si les tronçons dessinés seront en mesure de supporter le poids des débits cumulés de chaque site. Nous y reviendrons ultérieurement.

Poursuivant notre démarche, nous pouvons maintenant placer le tronçon 5 Nantes-Poitiers et, pour les mêmes raisons qui nous ont fait omettre le tronçon 4, nous ne placerons pas les tronçons numérotés de 6 à 10 car ces liaisons sont déjà établies par le biais des tronçons placés précédemment.



Réseau théorique de départ

L'abonnement mensuel à Numéris est actuellement de 200 F par mois et par point d'accès au réseau (par extrémité de tronçon). Ici nous avons les quatre tronçons ①, ②, ③ et ④ soit : 4 × 2 extrémités × 200 F = 1 600 F.

On arriverait alors à un total de :

communications

① Nantes-Angers	11 100 F
② Angers-Le Mans	11 100 F
③ Le Mans-Tours	11 100 F
⑤ Nantes-Poitiers	14 784 F
	48 084 F / Mois

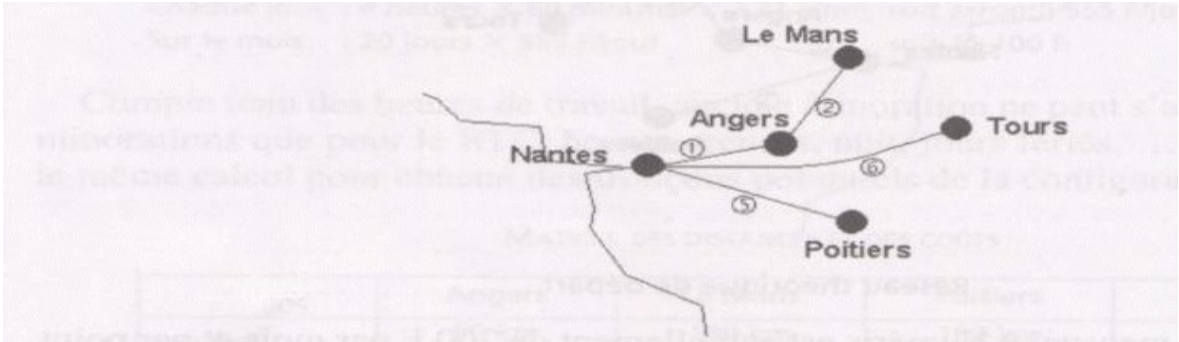
abonnements

① Nantes-Angers	2 × 200 F
② Angers-Le Mans	2 × 200 F
③ Le Mans-Tours	2 × 200 F
⑤ Nantes-Poitiers	2 × 200 F
	1 600 F / Mois
	49 684 F / Mois

frais de mise en service

① Nantes-Angers	2 × 675 F
② Angers-Le Mans	2 × 675 F
③ Le Mans-Tours	2 × 675 F
⑤ Nantes-Poitiers	2 × 675 F
	5 400 F à la mise en service

Dans le cas présent, ce n'est pas aussi simple, en effet si l'on retient la topologie de réseau précédente, on est amené à faire passer sur le tronçon 1 Nantes-Angers, non seulement les données issues d'Angers mais également celles en provenance de Tours et celles en provenance du Mans (tronçons 2 et 3). Or, s'il est possible avec un accès de base de faire passer deux voies à 64 KBits il n'est pas possible d'en faire passer trois ! Le tronçon Tours-Le Mans doit donc être « dévié » vers Poitiers (tronçon potentiel 10 Poitiers-Tours avec un coût de 14 784 F) ou relié directement sur Nantes (tronçon potentiel 6 Nantes-Tours avec un coût de 14 784 F). Afin de préserver les possibilités du réseau, en évitant d'utiliser les deux canaux B de la voie Poitiers-Nantes, et compte tenu des coûts identiques, nous privilégierons cette solution.



Le réseau Numéris retenu

On arrive alors à un total récapitulatif de :

communications

① Nantes-Angers	11 100 F
② Angers-Le Mans	11 100 F
⑤ Nantes-Poitiers	14 784 F
⑥ Nantes-Tours	14 784 F
	51 768 F / Mois

abonnements

① Nantes-Angers	2 × 200 F
② Angers-Le Mans	2 × 200 F
⑤ Nantes-Poitiers	2 × 200 F
⑥ Nantes-Tours	2 × 200 F
	1 600 F / Mois
	53 368 F / Mois

frais de mise en service

① Nantes-Angers	2 × 675 F
② Angers-Le Mans	2 × 675 F
⑤ Nantes-Poitiers	2 × 675 F
⑥ Nantes-Tours	2 × 675 F
	5 400 F à la mise en service

> Transfix

La détermination de la configuration minimisant les coûts passe également dans le cas de Transfix par l'élaboration d'une matrice des distances et des coûts selon la méthode de « Kruskal » dans la mesure ou le principe de tarification Transfix repose essentiellement sur un abonnement dépendant de la tranche de distance et du débit de la ligne. Nous utiliserons ici les tarifs pour un contrat de 5 ans puisque c'est la durée de calcul retenue dans l'étude.

Avec Transfix il nous faut, à priori, une liaison moyen débit permettant d'atteindre comme avec Numéris les 64 KBits/s. Le coût de la liaison se calcule alors de la manière suivante : par exemple, dans le cas de la liaison Nantes-Angers on constate que cette liaison se situe dans la tranche des 51 à 300 km.

Le coût mensuel de l'abonnement Transfix pour le transport de données est alors issu de la formule de calcul donnée dans le tarif : 3 250 F + 6d (où d représente la distance à vol d'oiseau) soit : 3 250 F + (6 F X 90 km) = 3 790 F.

On fait ensuite le même calcul pour chacun des tronçons potentiels.

MATRICE DES DISTANCES ET DES COÛTS

	Angers	Le Mans	Poitiers	Tours
Nantes	90 km 3 790 F	180 km 4 330 F	180 km 4 330 F	200 km 4 450 F
Angers		94 km 3 814 F	140 km 4 090 F	110 km 3 910 F
Le Mans			180 km 4 330 F	82 km 3 742 F
Poitiers				102 km 3 862 F
Tours				

On classe les tronçons dans l'ordre croissant des coûts mensuels.

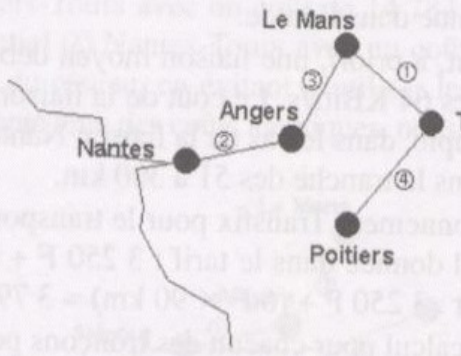
①	Le Mans-Tours	3 742 F
②	Nantes-Angers	3 790 F
③	Angers-Le Mans	3 814 F
④	Poitiers-Tours	3 862 F
⑤	Angers-Tours	3 910 F
⑥	Angers-Poitiers	4 090 F
⑦	Nantes-Le Mans	4 330 F
⑧	Nantes-Poitiers	4 330 F
⑨	Le Mans-Poitiers	4 330 F
⑩	Nantes-Tours	4 450 F

On « dessine » alors le réseau théorique en plaçant les tronçons dans l'ordre croissant des coûts et en évitant les boucles entre les noeuds du réseau comme nous l'avons indiqué lors de l'étude faite avec le réseau Numéris.
On constate aisément ici qu'on se retrouve avec une accumulation des débits sur les tronçons et qu'ainsi le tronçon 1 devra supporter le débit de Poitiers plus celui de Tours, que le tronçon 3 doit supporter les débits de Poitiers, Tours et Le Mans,...

On ne calcule donc pas le coût théorique total du réseau. Deux nouvelles solutions sont alors envisageables :

- soit on passe en haut débit pour les tronçons concernés de sorte qu'ils supportent les débits cumulés des segments antérieurs,

- soit on n'utilise que des tronçons non cumulés pour construire le réseau.



Le réseau théorique de départ

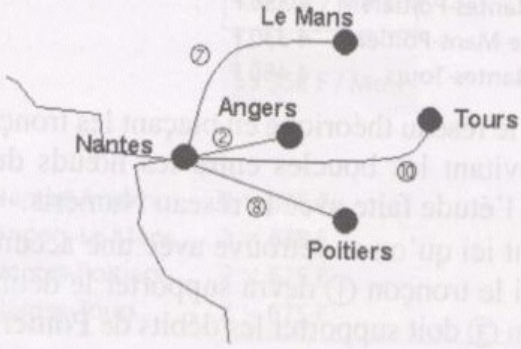
Dans le cas où on choisit de passer en hauts débits, la topologie du réseau ne change pas et seule la capacité des divers tronçons doit être revue à la hausse.

	Liaison	Débit retenu	Coût
① Le Mans-Tours	Haut débit	128 KBits/s	6 802 F
② Nantes-Angers	Haut débit	256 KBits/s	13 090 F
③ Angers-Le Mans	Haut débit	256 KBits/s	13 174 F
④ Poitiers-Tours	Moyen débit	64 KBits/s	3 862 F
		Total	36 928 F

Dans le cas où la topologie du réseau change, on doit donc prendre exclusivement les tronçons mettant en relation directe le site et Nantes, ce qui nous amène alors à ne conserver que les seuls tronçons suivants :

② Nantes-Angers	3 790 F
⑦ Nantes-Le Mans	4 330 F
⑧ Nantes-Poitiers	4 330 F
⑩ Nantes-Tours	4 450 F

Soit un coût cumulé de **16 900** F nettement plus intéressant.



Le réseau Transfix retenu

On constate ici que l'abonnement mensuel à Transfix est d'un coût bien inférieur à celui offert par Numéris mais que la mise en service coûte nettement plus cher. Toutefois, si on étudie le seuil de rentabilité, on constate que ces frais de mise en service sont amortis dès le deuxième mois de communication par rapport à Numéris.

> Transpac

Dans le cas de Transpac, il n'est plus nécessaire d'établir une matrice des coûts dans la mesure où la distance n'influe en principe pas sur le tarif (sauf éventuellement dans le cas des Liaisons Virtuelles Rapides) et dans la mesure également où tous les sites de notre étude offrent les mêmes caractéristiques de débit, de volume à transmettre, d'horaires, ...

Il nous suffit donc ici de faire le calcul pour un site et de multiplier ce montant par quatre puisque nous avons quatre sites (Angers, Le Mans, Tours et Poitiers) à relier au site central de Nantes.

Dans le cas d'un accès à Transpac, avec un débit de 64 KBits/s, nous avons deux possibilités :

- soit on utilise un accès synchrone X25 à haut débit,
- soit on considère une liaison virtuelle rapide LVR à 64 KBits/s.

Cas d'un accès synchrone X25 haut débit

Nous considérerons pour notre exemple l'emploi de Circuits Virtuels Commutés (ce qui évite de monopoliser les entrées du calculateur sur des circuits virtuels permanents). Toutefois la durée de connexion peut s'en ressentir, l'accès en CVP étant en principe plus rapide.

communication

CVC 4 h × 60' × 20 jours × 0,035 F/mn = 168 F.
Volume (62 KBits/s × 4h × 60' × 60") / 8 bits/o = 111 600 Ko.
111 600 Ko × 20 jours × 0,057 F/Ko = 127 224 F.
Soit par site : 127 224 + 168 = **127 392** F.
Et donc un total de 4 sites × 127 392 F = **509 568** F !

En réalité, compte tenu du volume important, une réduction de 25 % serait appliquée sur la taxation au volume. Le montant resterait malgré tout rédhibitoire puisqu'il atteindrait environ 382 344 F. Et il faudrait encore rajouter à ces coûts le montant des abonnements à savoir 7 200 F par extrémités soit 8 X 7 200 = 57 600 F.
Dans le meilleur des cas on atteint donc : 382 344 + 57 600 = 439 944 F par mois !

Il faut y rajouter les frais de mise en service, soit 8 000 F par extrémités. 4 sites à relier et donc 8 extrémités à 8 000 F chaque soit 64 000 F à la mise en service.

Cas d'une Liaison Virtuelle Rapide à 64 KBps

Nous allons considérer le cas d'une LVR de type C car elle est la plus avantageuse bien qu'il soit improbable que nos sites soient réellement situés sur la même plaque géographique (Tours et Nantes étant très probablement sur deux plaques différentes).

Il nous faut faire un calcul pour déterminer la classe de tarif la plus favorable.

Classe	Abonnement mensuel	LVR C Prix du Ko	Coût au volume (111 600 Ko × 20j)	Total Coût Volume + Abonnement
1	2 000	0,020	44 640	46 640
2	4 000	0,016	35 712	39 712
3	8 000	0,013	29 016	37 016
4	16 000	0,0112	24 999	40 999
5	24 000	0,010	22 320	46 320

La classe 3 semble donc la plus favorable.
Soit par site : 37 016 F. Le plafond de 50 000 F n'est pas atteint. Et donc un total de 4 sites X 37 016 F = 148 064 F !
Il faut rajouter à ces coûts le montant des abonnements, à savoir 7 200 F par extrémités, soit 8 X 7 200 = 57 600 F.
Dans le meilleur des cas on atteint donc : 148 064 + 57 600 soit 205 664 F par mois !

Il faut y ajouter les frais de mise en service, soit 1 500 F par extrémités. 4 sites à relier impliquent 8 extrémités à 1 500 F chaque soit un total de 12 000 F à la mise en service.

b) Conclusion

Un petit tableau récapitulatif va nous rappeler les chiffres

	RTC	LSA	Numéris	Transfix	Transpac LVR
Mise en service	non retenu	Non retenu	5 400	64 000	12 000
Coût mensuel			53 368	16 900	205 664

Il semblerait donc que Transfix soit, dans notre cas, la meilleure solution bien que ses frais de mise en service soient plus élevés. Il est amorti dès le deuxième mois par rapport à Numéris et dès le départ par rapport à Transpac.

Le choix d'une ébauche de solution passe par l'étude chiffrée de la configuration, telle qu'elle semble se dégager. Une fois ces critères déterminés, il faut considérer le barème des télécommunications en vigueur, et rechercher le réseau (RTC, LSA, Numéris, Transpac, Transfix...) offrant les performances souhaitées au moindre coût. Il ne faut pas oublier non plus de prendre en compte les divers composants du réseau tels que modems, concentrateurs, multiplexeurs, ... qui peuvent ou non être compris dans le service offert par le réseau retenu, et donc être éventuellement à chiffrer en plus.

L'approche générale de la conception d'un réseau doit donc être guidée :

- par la recherche des performances éventuelles (temps de réponses courts entraînant généralement l'emploi de débits élevés...),

- par la recherche d'une sécurité dans les transmissions (doublement de la voie, accès sécurisé...),

- par la recherche de la minimisation des coûts du réseau.

EXERCICES

28.1 Une importante société de grossiste en pharmacie reçoit, de la part des pharmacies clientes, environ 5 000 commandes par jour. Elle doit légalement sauvegarder, chaque nuit, l'ensemble de ces opérations auprès du centre de sécurité sociale local. Chaque commande comporte en moyenne dix prescriptions. Une ligne de prescription (références, quantité, …) représente en moyenne 100 caractères. Le pourcentage occupé par le protocole de communication est estimé à 10 % de plus par rapport aux données brutes. La distance à vol d'oiseau entre la société et le centre de sécurité sociale est de 12 km. La plage horaire pendant laquelle elle est autorisée à communiquer est 22 h 30-23 h et ces transmissions se font 25 jours par mois en moyenne. Quel réseau de transport lui proposeriez vous pour assurer un transfert rapide et fiable de ses données ? À combien reviendrait, par mois, ce transfert ?

SOLUTIONS

28.1 Il faut commencer par calculer le **volume** de données à transmettre.

5 000 commandes × 10 prescriptions × 100 caractères × 8 bits/caractère = 40 000 000 bits.

Comme le pourcentage lié au protocole est estimé à 10 % ceci nous amène à 44 000 000 bits.

Le temps de transfert maximum autorisé est de 30 minutes × 60 secondes soit 1 800 secondes.

Le **débit minimum** requis est donc de 44 000 000 / 1 800 soit environ 24 500 Bps.

On constate donc que, compte tenu de la faible distance et du faible débit, diverses solutions peuvent être proposées dont RTC, LS Analogiques, Numéris et Transpac.

a) **Solution RTC.** Bien que peu fiable le RTC peut être envisagé dans la mesure ou la durée de transmission est courte et sur une faible distance. Avec un modem à 33 600 Bps, le volume à écouler (44 000 000 bits) doit passer en 44 000 000 / 33 600 soit environ 22 minutes. Une erreur de transmission ne peut donc être compensée par la retransmission intégrale du fichier. Il faudrait donc envisager des procédures de reprises.
Le coût s'établit à 22 × 0,26 F/mn (tarif bleu) soit moins de 6 F par nuit et donc 25 × 6 = 150 F par mois. Il faut y rajouter l'abonnement qui s'élève à près de 115 F, soit un total de **265 F par mois** environ.
Cette solution très économique est toutefois risquée techniquement et dans ce cas on peut légitimement se demander si « le jeu en vaut la chandelle ».

b) **Solution LSA**. Les résultats techniques vont ici être les mêmes qu'avec le RTC ce qui implique un temps de transmission de 22 minutes. Par contre la transmission doit être beaucoup plus fiable qu'avec le RTC. Cependant, une fois encore, il n'y a pas de possibilité de retransmettre l'intégralité du fichier en cas de problème.
Financièrement l'opération devrait se monter à 620 + 56d avec une LS 2 fils soit 620 + (56 × 12 km) = **1 292 F par mois**. Ne pas oublier non plus les frais fixes de mise en service qui s'élèvent à 2 250 F le premier mois.

c) **Solution Numéris**. Le débit de base offert par Numéris est de 64 KBps. Le volume à écouler doit donc passer en 44 000 000 / 64 × 1 204 soit environ 12 minutes. Il est donc techniquement possible de recommencer l'intégralité de la transmission en cas de problème.
Financièrement l'opération devrait se monter à 0,62 F/mn × 12 mn soit environ 7,50 F par jour et donc (7,50 × 25 jours) environ 190 F par mois. Il faut y rajouter l'abonnement qui, si on considère un accès de base isolé, est de 200 F/mois. Total **390 F par mois**.
Ne pas oublier non plus les frais fixes de mise en service qui s'élèvent à 675 F le premier mois.
Un peu plus onéreuse tout en restant abordable, cette solution offre surtout l'intérêt de la sécurité au moindre coût.

d) **Solution Transpac**. Le débit retenu peut être de 64 KBps comme avec Numéris, ce qui préserve la sécurité de retransmission en cas d'incident. D'autres débits pourraient être envisagés bien entendu. Il faut envisager ensuite le mode de relation au réseau Transpac. Conservons par exemple un accès indirect par réseau Numéris.
Les frais d'accès sont donc de 0,60 F/mn × 12 mn (durée calculée précédemment avec le même débit sur Numéris) soit 7,20 F par nuit et donc (7,20 × 25) environ 180 F par mois.
La taxation au volume s'élève à (44 000 000 / 1024 / 8) environ 5371 Ko à 0,057 F / Ko = 306 F par nuit soit 7650 F par mois. Le total se monte donc à (7650 + 180) environ **7830 F par mois**. Est-il nécessaire d'aller étudier le prix de la mise en service ?
La solution qui se dégage d'elle même est donc ici Numéris qui offre un excellent rapport qualité-prix et l'avantage de la sécurité ce qui est toujours très important à considérer.

Annexe

Tarifs succincts des réseaux longue distance en France

Les extraits de tarifs (éventuellement arrondis) présentés ici sont, dans l'ensemble, ceux en vigueur en 1999. Nous n'en présentons qu'un extrait car ils sont d'une complexité dépassant le cadre d'un ouvrage général et ils ne sont donnés qu'a titre indicatif en vue des exercices. La tarification France Télécom est très évolutive. Il importe de se tenir informé des actualisations de tarifs si on entend être plus réaliste. N'hésitez pas à consulter les services du 11 (touche Sommaire puis enchaînement des codes appropriés), le serveur 36 14 code RLS ou les agences commerciales de France Télécom.

Tous les tarifs sont exprimés en Francs Hors-Taxes.

1. RESEAU TELEPHONIQUE COMMUTE

Tarifs à jour au 01/06/1998

1.1 Frais d'accès au réseau

Environ 50 F par point d'entrée. L'abonnement mensuel étant légèrement inférieur à 115 F.

1.2 Frais de communication

0.615 par unité (UT) de communication. La durée de chaque UT varie selon les zones de tarification et les réductions liées à la tranche horaire.

Deux plages horaires subsistent depuis octobre 1997 :

- plein tarif (zone rouge) de 8 heures à 19 heures en semaine et de 8 heures à 12 heures le samedi et
- 50 % (reste des zones).

Le temps est maintenant facturé à la seconde une fois le crédit de temps écoulé.

TARIFS ARRONDIS D'UNE COMMUNICATION TÉLÉPHONIQUE

Destination	Temps de crédit d'une unité	Coût à la minute	
		Tarif normal	Tarif Réduit
Communications locales	3 min	0,28	0,14
Communications de voisinage			
< 25 km	111 sec	0,40	0,20
> 25 km et < 30 km	74 sec	0,60	0,30
> 30 km et < 50 km	47 sec	0,95	0,475
Communications nationales	39 sec	1,14	0,57

2. LIAISON SPECIALISEES ANALOGIQUES

2.1 Frais de mise en service

Ces frais s'entendent pour chaque point d'accès au réseau et ne sont facturés qu'une fois lors la mise en service.

Liaison 2 fils : 2 250 F
Liaison 4 fils QN, S : 4 000 F.

2.1 Frais de mise en service

	0-10 km	11-50 km	51-300 km	> 300 km
LS 2 fils	340 + 84d	620 + 56d	2920 + 10d	5020 + 3d
LS 4 QN, QS	580 + 127d	1270 + 58d	3820 + 7d	5020 + 3d

d représente la distance à vol d'oiseau en kilomètres indivisibles. La partie fixe du tarif représentant en quelque sorte l'abonnement au réseau.

3. NUMERIS

3.1 Frais de mise en service

Ces frais s'entendent pour chaque point d'accès au réseau et ne sont facturés qu'une fois lors de la mise en service.

Accès de base isolé ou groupement d'accès de base : 675 F.
Accès primaire et groupement d'accès primaire : 4 2000 F.

3.2 Frais de communication

TARIFS ARRONDIS D'UNE LIAISON 64 KBITS/S EN TRANSMISSION DE DONNÉES

	Rouge	Blanc	Bleu	Bleu nuit
En local	1 UT / 60 s 0,615 F/mn	1 UT / 85,7 s 0,43 F/mn	1 UT / 120 s 0,31 F/mn	1 UT / 171 s 0,22 F/mn
D < 50 km	1 UT / 30 s 1,23 F/mn	1 UT / 42,9 s 0,86 F/mn	1 UT / 60 s 0,62 F/mn	1 UT / 85,7 s 0,43 F/mn
50 km ≤ D ≥ 100 km	1 UT / 16 s 2,31 F/mn	1 UT / 22,9 s 1,61 F/mn	1 UT / 32 s 1,15 F/mn	1 UT / 45,7 s 0,81 F/mn
D > 100 km	1 UT / 12 s 3,08 F/mn	1 UT / 17,1 s 2,16 F/mn	1 UT / 24 s 1,54 F/mn	1 UT / 34,3 s 1,08 F/mn

3.3 Abonnement mensuel de base

Accès de base isolé : 200 F

Groupement d'accès primaire : 300 F par accès

Accès primaire et groupement d'accès primaire : 104 F par canal B (minimum perçu 960 F).

4. TRANSPAC

Tarifs à jour au 26/03/1999.

4.1 Frais de mise en service

	Débit	Montant
Accès direct	de 14 400 à 19 200 Bits/s	6 800
	de 64 à 128 KBits/s	10 000
	256 KBits	22 000
Liaison Virtuelle Rapide	à 64 KBits/s et 128 KBits/s	1 500
	256 KBits/s	3 300
Numéris	Canal D	2 200
Téléphone	sécurisé ATS V32	2 950
Numéris	sécurisé ANS 64	3 300
Entrée réservée	synchrone ERS V32	1 150
	synchrone ERS 64	1 150

4.2 Accès directs

a) Par liaison louée

Débit d'accès	Prix mensuel
14 400 Bps	1 630 F
19 200 Bps	2 200 F
64 Kbps	2 400 F
128 KBps	4 700 F
256 KBps	9 200 F

Prix indépendant de la distance pour des débits inférieurs à 64 KBps. Au-delà et pour des distances supérieures à 15 km consulter les services commerciaux.

b) Par Numéris canal D

L'accès se fait par une liaison logique permanente (LLP) à 380 F / mois. Les frais de mise en service ou de reconstruction de cette LLP sont de 2 000 F.

4.3 Frais de communication

a) Transmission par circuit virtuel commuté – CVC

La facturation sur un circuit virtuel commuté ou permanent se fait essentiellement au volume avec une petite part à la durée.

b) Taxation au volume

L'unité de volume est le Kilo-octet (1 024 octets)

Minimum facturé : 3 200 octets.

Le coût du Ko est 0,052 F la durée est gratuite

	0h	6h	8h	12h	19h	24h
Semaine		**V3** – 70 %	**V2** – 30 %	**V1**		**V2** – 30 %
Samedi		**V3** – 70 %	**V2** – 30 %			
Dimanche & fériés		**V3** – 70 %				

Une dégressivité au volume s'applique également

Volume par bimestre	Réduction
1,5 à 3,5 millions de Ko	25 %
Au-delà de 3,5 millions de Ko	40 %

c) Transmission par liaison virtuelle rapide LVR à 64, 128 et 256 KBits/s

La facturation des LVR se fait par choix d'une classe de tarif à laquelle correspond à un abonnement mensuel et un prix du Kilo-octet. L'abonnement mensuel constitue un plancher de facturation. Il existe trois types de LVR :

- LVR A : entre deux abonnés avec commutateurs d'accès distants > 200 km,
- LVR B : entre deux abonnés avec commutateurs d'accès différents et distants de moins de 200 km,
- LVR C : entre deux abonnés connectés sur le même commutateur ou raccordés à deux commutateurs situés sur une même plaque géographique.

Classe	Abonnement mensuel	LVR A Prix du Ko	LVR B Prix du Ko	LVR C Prix du Ko
1	2 000	0,040	0,032	0,020
2	4 000	0,032	0,0256	0,016
3	8 000	0,026	0,0208	0,013
4	16 000	0,0225	0,018	0,0112
5	24 000	0,020	0,016	0,010

Un plafond est également défini en fonction du débit de la LVR et en cas de dépassement le surplus n'est pas facturé.

Débit	Plafond mensuel
64 KBits/s	50 000
128 KBits/s	90 000
256 KBits/s	140 000

4.4 Accès directs

Pour les entrées banalisées, les communications sont facturées sur la base d'une unité téléphonique toutes les 111 secondes avec modulation horaire.

Les entrées sont accessibles aux débits de 1 200 Bps à 28 800 Bps.

Le coût est de 0,60 F/mn

5. TRANSFIX

5.1 Frais d'accès au réseau

Ces frais s'entendent pour chaque point d'accès au réseau et ne sont facturés qu'une fois lors de la mise en service.

Bas et Moyens débits (de 2,4 KBits/s à 64 KBits/s) : 4 000 F

Hauts débits (de 128 KBits/s à 2 048 KBits/s)

128 KBits/s	256 et 384 KBits/s	512 et 768 KBits/s	1 024 à 2 048 KBits/s
4 000 F	10 000 F	20 000 F	30 000 F

Très Haut débit (34 MBits/s) : 17 500 F + 12 500 F / km si < 5 km sinon 100 000 F forfaitaires.

5.2 Frais de communication

BAS DÉBITS (PERMANENT)

	1 à 10 km	11 à 50 km	51 à 300 km	> 300 km
2,4 à 9,6 KBits/s	880 + 109d	1 420 + 55d	3 820 + 7d	5 020 + 3d
19,2 KBits/s	1 640 + 93d	2 170 + 40d	3 820 + 7d	5 020 + 3d

BAS DÉBITS (ABONNEMENT DE 5 ANS)

	1 à 10 km	11 à 50 km	51 à 300 km	> 300 km
2,4 à 9,6 KBits/s	760 + 91d	1 200 + 47d	3 250 + 6d	4 150 + 3d
19,2 KBits/s	1 410 + 78d	1 850 + 34d	3 250 + 6d	4 150 + 3d

MOYENS DÉBITS (HORS ABONNEMENT)

	1 à 10 km	11 à 50 km	51 à 300 km	> 300 km
48, 56 et 64 KBits/s	1 670 + 94d	2 220 + 39d	3 820 + 7d	5 020 + 3d

MOYENS DÉBITS (ABONNEMENT DE 5 ANS)

	1 à 10 km	11 à 50 km	51 à 300 km	> 300 km
48, 56 et 64 KBits/s	1 410 + 78d	1 850 + 34d	3 250 + 6d	4 150 + 3d

HAUTS DÉBITS (HORS ABONNEMENT)

	1 à 10 km	11 à 50 km	51 à 300 km	> 300 km
128 KBits/s	3 130 + 167d	4 100 + 70d	6 950 + 13d	9 050 + 6d
256 KBits/s	3 970 + 434d	6 800 + 151d	13 050 + 26d	17 850 + 10d
384 KBits/s	4 350 + 615d	7 800 + 270d	19 000 + 46d	27 400 + 18d
512 KBits/s	4 660 + 634d	7 650 + 335d	19 850 + 91d	41 150 + 20d
768 KBits/s	4 770 + 711d	8 600 + 328d	18 000 + 140d	51 600 + 28d
1 024 KBits/s	4 780 + 782d	9 500 + 310d	18 000 + 140d	45 600 + 48d
1 920, 1 984 et 2 048 KBits/s	5 370 + 723d	9 500 + 310d	18 000 + 140d	35 600 + 48d

HAUTS DÉBITS (ABONNEMENT DE 5 ANS)

	1 à 10 km	11 à 50 km	51 à 300 km	> 300 km
128 KBits/s	2 660 + 143d	3 500 + 59d	5 900 + 11d	7 700 + 5d
256 KBits/s	3 380 + 367d	5 750 + 130d	11 200 + 21d	14 800 + 9d
384 KBits/s	3 710 + 522d	6 650 + 228d	16 100 + 39d	23 000 + 16d
512 KBits/s	3 970 + 540d	6 500 + 287d	17 000 + 77d	35 000 + 17d
768 KBits/s	4 060 + 607d	7 350 + 278d	15 300 + 119d	43 800 + 24d
1 024 KBits/s	4 070 + 666d	8 100 + 263d	15 300 + 119d	38 700 + 41d
1 920, 1 984 et 2 048 KBits/s	4 600 + 613d	8 100 + 263d	15 300 + 119d	38 700 + 41d

TRÈS HAUT DÉBIT (HORS ABONNEMENT)

	1 à 10 km	11 à 50 km	51 à 300 km	> 300 km
34 MBits/s	24 320 + 5570d	29 050 + 5097d	170 750 + 2263d	721 250 + 428d

FIN DE L'OUVRAGE

SHARED BY ProToCoL HDLC ☺