

Les mémoires



Caractéristiques des mémoires

- But : conserver des informations
- 3 modes de fonctionnement :
 - accès en lecture *Read* pour obtenir l'information enregistrée dans une case spécifiée (adresse)
 - accès en écriture *Write* pour enregistrer une information dans une case spécifiée (adresse)
 - aucun accès à la mémoire (maintien)

Taille des informations

- Le *bit* : unité élémentaire d'information (0 ou 1)
- L'octet ou *byte* : paquet de 8 bits que l'on peut manipuler ensemble
 - on l'associe souvent à un caractère ASCII (*char*)
 - peut représenter un nombre, vecteur, autres
- Le mot ou *word* : paquet de bits multiple de 8 que l'on peut manipuler ensemble
 - généralement de 16 ou 32 bits. Il n'y a pas de standard !
 - fréquemment: word à 16 bits, dword (double word) à 32 bits
- Poids des bits dans un nombre entier:
 - Le bit de poids fort d'un nombre est le bit de gauche en anglais: MSB pour *most significant bit*
 - Le bit de poids faible d'un nombre est le bit de droite en anglais: LSB pour *least significant bit*

Les unités des mémoires

- Kilo, paquet de 1'024 éléments (2^{10})
 - 1K byte = 1024 bytes
- Méga, paquet de 1'048'576 éléments, (2^{20})
 - 1M byte = 1024 K bytes = 1'048'576 bytes
- Giga, paquet de 1'073'741'824 éléments (2^{30})
 - 1G byte = 1024 M bytes = 1'048'576 K bytes
- Tera, paquet de 1'099'511'627'776 éléments (2^{40})
 - 1T byte = 1024 G bytes = 1'048'576 M bytes
- Convention pour l'indication de bit ou byte :
 - 1K**b** 1 kilo **bits**
 - 1K**B** 1 kilo **bytes**

Les unités des mémoires

- Puissance métrique et binaire !

Valeur	Métrique	
1000	kB	kilobyte
1000 ²	MB	megabyte
1000 ³	GB	gigabyte
1000 ⁴	TB	terabyte
1000 ⁵	PB	petabyte
1000 ⁶	EB	exabyte
1000 ⁷	ZB	zettabyte
1000 ⁸	YB	yottabyte

Valeur		Binaire	
1024	2 ¹⁰	kiB	kibibyte
1024 ²	2 ²⁰	MiB	mebibyte
1024 ³	2 ³⁰	GiB	gibibyte
1024 ⁴	2 ⁴⁰	TiB	tebibyte
1024 ⁵	2 ⁵⁰	PiB	pebibyte
1024 ⁶	2 ⁶⁰	EiB	exbibyte
1024 ⁷	2 ⁷⁰	ZiB	zebibyte
1024 ⁸	2 ⁸⁰	YiB	yobibyte

- Disques durs vendus avec des tailles métriques :
1 TiB = 1'024 GiB = 1099 gigabytes => noté 1099 Go !

Les types de mémoires

- Les mémoires "vives"
 - informations perdues à la mise hors tension
 - lecture et écriture en cours d'utilisation
- Les mémoires "mortes"
 - informations conservées à la mise hors tension
 - lecture en cours d'utilisation
 - écriture (« programmation ») durant la fabrication de la mémoire ou écriture **particulière** durant fonctionnement du système qui la contient, implique un **effacement électrique**!

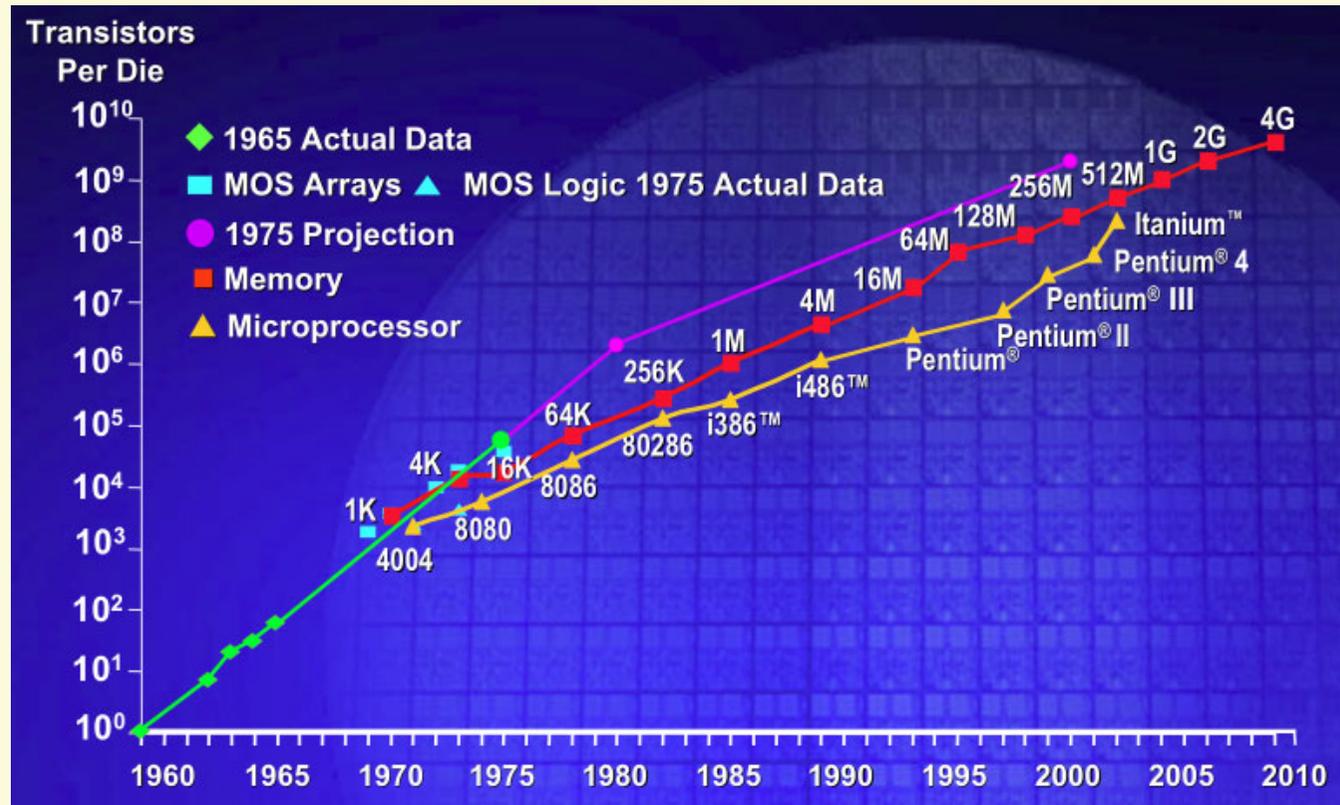
Les types de mémoires

- Mémoires volatiles (vives)
 - **RAM** (*random-access memory*): mémoire vive, volatile
 - **SRAM** static random access memory
 - **DRAM** dynamic random access memory
- Mémoires non-volatiles (mortes)
 - **ROM**† *read-only memory*
 - **PROM**† *programmable read-only memory*
 - **EPROM** ou **UV-EPROM** *erasable programmable read-only memory*
 - **EEPROM** ou **E2PROM** *electrically EPROM*
 - **Flash memory**

Les types de mémoires volatiles

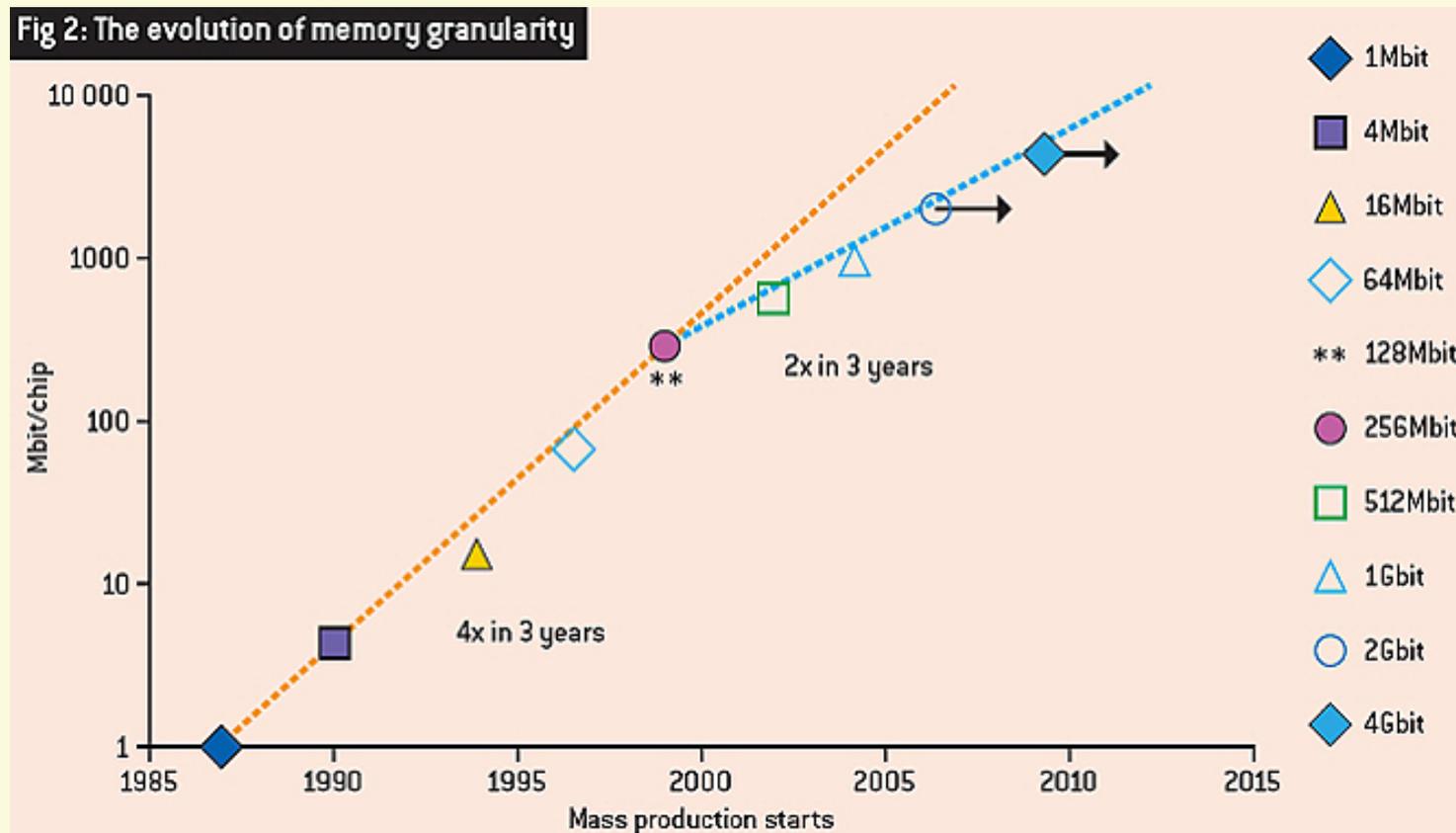
- **RAM** (*random-access memory*): mémoire vive, volatile
 - **SRAM** static random access memory: http://en.wikipedia.org/wiki/Static_random-access_memory
L'information est conservée dans des transistors. Elle est maintenue tant que la tension d'alimentation est présente
 - **DRAM** dynamic random access memory http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_random-access_memory
L'information est conservée dans un condensateur et maintenue tant que la tension d'alimentation est présente.. Il faut recharger (rafraîchir) périodiquement les cellules de mémoire.
 - **SDRAM** Synchronous dynamic RAM
 - **DDR SDRAM** Double data rate Synchronous dynamic RAM
DDR 100MHz, DDR2 133MHz, DDR3 166MHz, DDR4 200MHz
 - **GRDDR**: DDR dédiée aux cartes graphiques
 - **HMC**: hybrid Memory cube

Evolution des mémoires (chip)



Article "Moore's Law: More or Less?" de Neil J. Gunther, site Computer Measurement Group,
Voir: http://www.cmg.org/measurait/issues/mit41/m_41_2.html

Evolution des mémoires (chip)



DRAM refresher: Problems the technology is set to encounter, Chris Edwards, site newelectronics voir:
<http://www.newelectronics.co.uk/electronics-technology/dram-refresher-problems-the-technology-is-set-to-encounter/34922/>

Caractéristiques des SDRAM

- SDRAM
 - SDRAM PC100 à 100MHz, PC 133 à 133MHz...
- DDR1, 2, 3 et 4
- LPDDR_x est basé sur la même technologie mais pour du mobile=> Low Power
- GDDR_x est basée sur la DDR3 et est associée au processeur graphique (donc pas au CPU)

voir: http://en.wikipedia.org/wiki/DDR_SDRAM

Caractéristiques des SDRAM

- SDRAM
 - SDRAM PC100 à 100MHz, PC 133 à 133MHz
- DDR1, 2 et 3

Type	Data bus	Bank nbr	DRAM clock MHz	Bus clock MHz	Data rate MT/s	Max capacity
DDR	64 bits	1	100 to 200	100 to 200	200 to 400	1 Gbits
DDR2	64 bits	2	100 to 266	200 to 533	400 to 1066	4 Gbits
DDR3	64 bits	4	100 to 266	400 to 1066	800 to 2133	8 Gbits

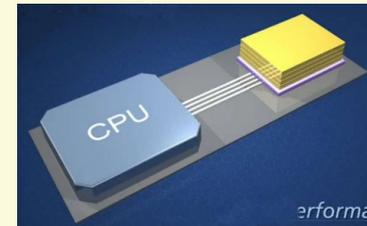
- Transfert sur les deux flancs du clock
Data rate = 2 * Bus clock
- A chaque évolution, le nombre de rangée de circuits double. Dès lors le débit double.

voir: http://en.wikipedia.org/wiki/DDR_SDRAM

HMC: serial memory

HMC : Hybrid memory cube

La mémoire **Hybrid Memory Cube (HMC)** est une mémoire constituée de couches empilées de mémoire de type DRAM. Cet empilement donne une troisième dimension à la mémoire (habituellement organisée sur une grille bidimensionnelle), d'où le terme cube. La partie de contrôle et la partie stockage de la mémoire sont fusionnées (habituellement, ce sont deux entités séparées sur une DRAM), d'où le terme « Hybrid »



Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Hybrid_Memory_Cube

<http://www.futura-sciences.com/tech/actualites/informatique-memoire-hmc-succedera-t-elle-ddr3-34391/>

<https://www.micron.com/resource-details/5de23cd2-4514-49cf-9bb9-9f039d05a081>

Les types de mémoires non-volatiles ...

- **ROM†** contenu définit lors de la fabrication
- **PROM†** contenu programmable une seule fois (fusible)
- **EPROM** ou **UV-EPROM** contenu programmable électriquement et effaçable avec rayons
- **EEPROM** contenu (mot) programmable et effaçable électriquement (quelques millisecondes)
- **Flash memory** contenu programmable électriquement mot par mot et effaçable électriquement par bloc.
 - Type: **NOR Flash**, **NAND Flash**
- ...

http://en.wikipedia.org/wiki/Non-volatile_memory

... mémoires non-volatiles

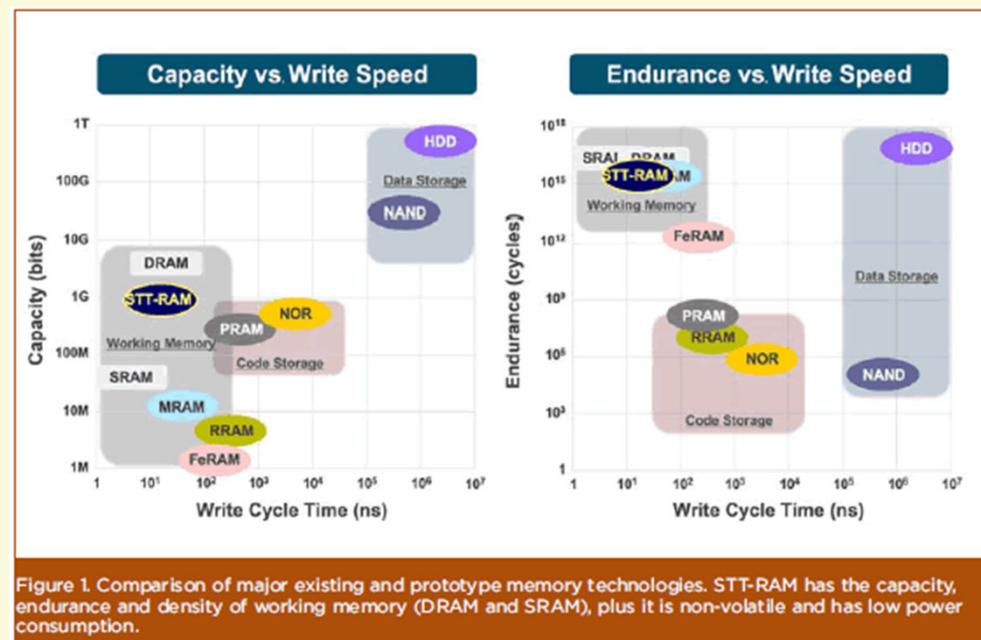
- **FeRAM** ou **FRAM** Ferroelectric RAM
- **MRAM** Magnetoresistive RAM
- **PRAM** Phase-change memory
composed by *chalcogenide* glass, which can be "switched" between two states, crystalline and amorphous.
- En développement:
 - CBRAM, SONOS, RRAM, Racetrack memory, NRAM, Millipede

Nouvelle mémoire: STT-RAM

STT-RAM (spin-transfer torque random access memory)

- It is a new memory technology that offers a solution to these critical issues. Of all the major existing and prototype memory technologies, it is the only one that has the capacity, endurance and speed of working memory (DRAM and SRAM), in addition to being non-volatile and requiring low write power (Figure 1).

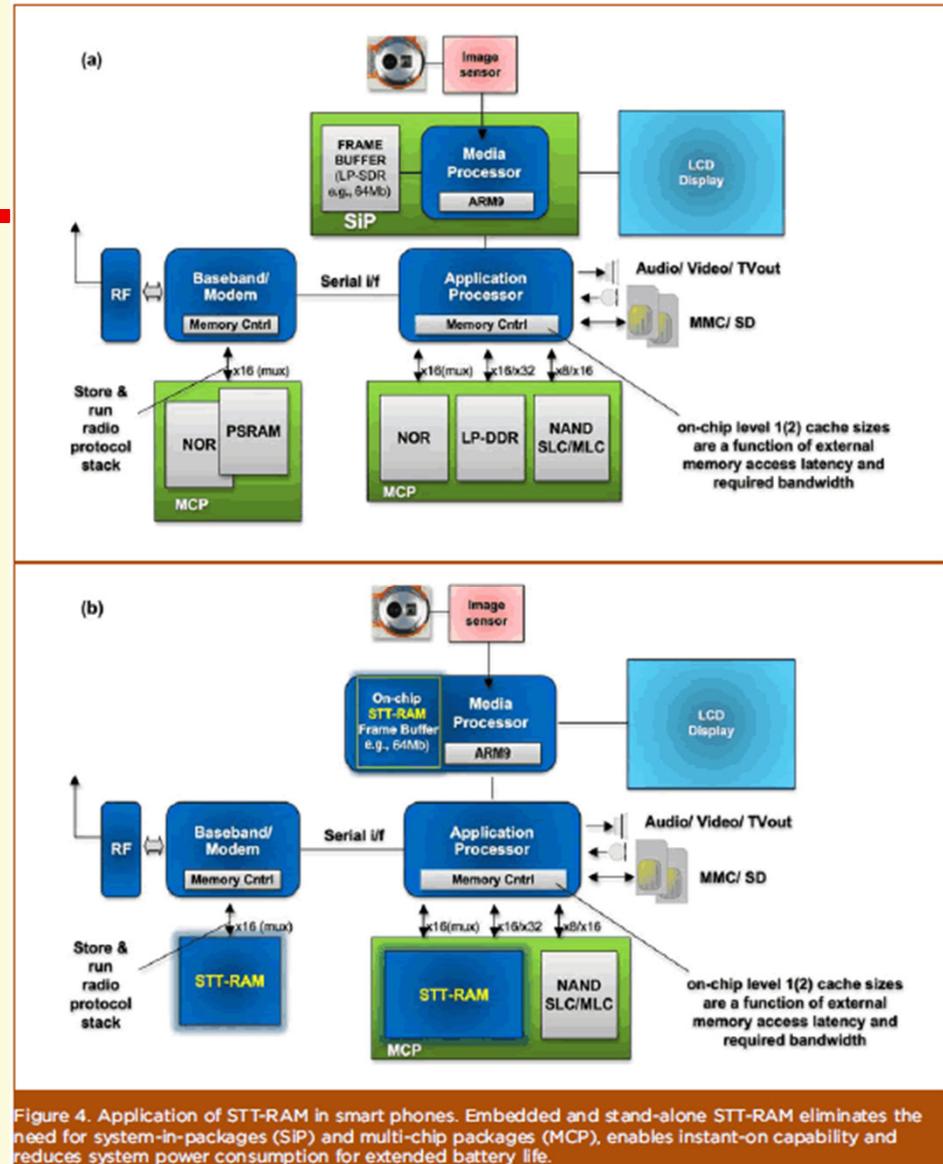
source:
[http://www.future-fab.com/
documents.asp?d_ID=4750](http://www.future-fab.com/documents.asp?d_ID=4750)



Application STT-RAM

Exemple d'application proposée pour la nouvelle génération de mémoire STT-RAM

source:
http://www.future-fab.com/documents.asp?d_ID=4750



Nouvelle mémoire: MRAM

MRAM (magnetic random access memory)

- As a second-generation magnetic random access memory (MRAM) technology that is scalable to future technology nodes, it offers system designers the ability to develop new products with new architectures, high performance and very low power consumption. It has the potential to revolutionize the performance of electronic products in many areas, create new sectors in the semiconductor industry, and give rise to entirely new products not yet envisaged.

source: http://www.future-fab.com/documents.asp?d_ID=4750

Nouvelle mémoire: ReRAM

ReRAM (resistive random access memory)

- Basé sur une résistance et un transistor
- Non volatile
- Faible consommation
- Temps d'accès très rapide
- En cours de développement, bientôt disponible

Le futur ? Oui d'après HP

source: http://www.future-fab.com/documents.asp?d_ID=4750

Utilisation des mémoires

- Nous allons voir l'utilisation des principales mémoires selon leurs caractéristiques et leur prix, soit:
 - SRAM
 - DRAM
 - Flash (NAND, NOR)
 - EEPROM

Utilisation SRAM

- Capacités moyenne 4Kb-128Mb
- Rapide jusqu'à 600 MHz
 - pas de latence
 - annoncé jusqu'à 1 GHz
- Prix élevé des circuits SRAM
- mémoire cache pour processeurs
 - SRAM interne au chip, la mémoire fonctionne à la fréquence du CPU!

Utilisation DRAM

- Grandes capacités jusqu'à 128 Gbits
- Rapides 500MHz
 - attention : latence importante
- Limitations accès (pages)
- Rafrachissement
- Mémoire centrale des ordinateurs

Différents types:

- DRAMs asynchrones
- SDRAMs synchrones

Utilisation mémoires Flash

- NAND 512 Gbits ou +
 - Haute capacité
 - Contraintes : accès, correction erreur, ...
 - Rapide en effacement et écriture
- NOR 2 Gbits
 - Accès aléatoire rapide
 - Plus rapide en lecture
 - Plus chère à capacité équivalente

Utilisation mémoires Flash

- NAND

- Applications utilisant grande capacité de plusieurs dizaines de GBytes, accès rapide en écriture
 - SDCARD pour appareil photo rapide
 - Clé USB
 - SSD

- NOR

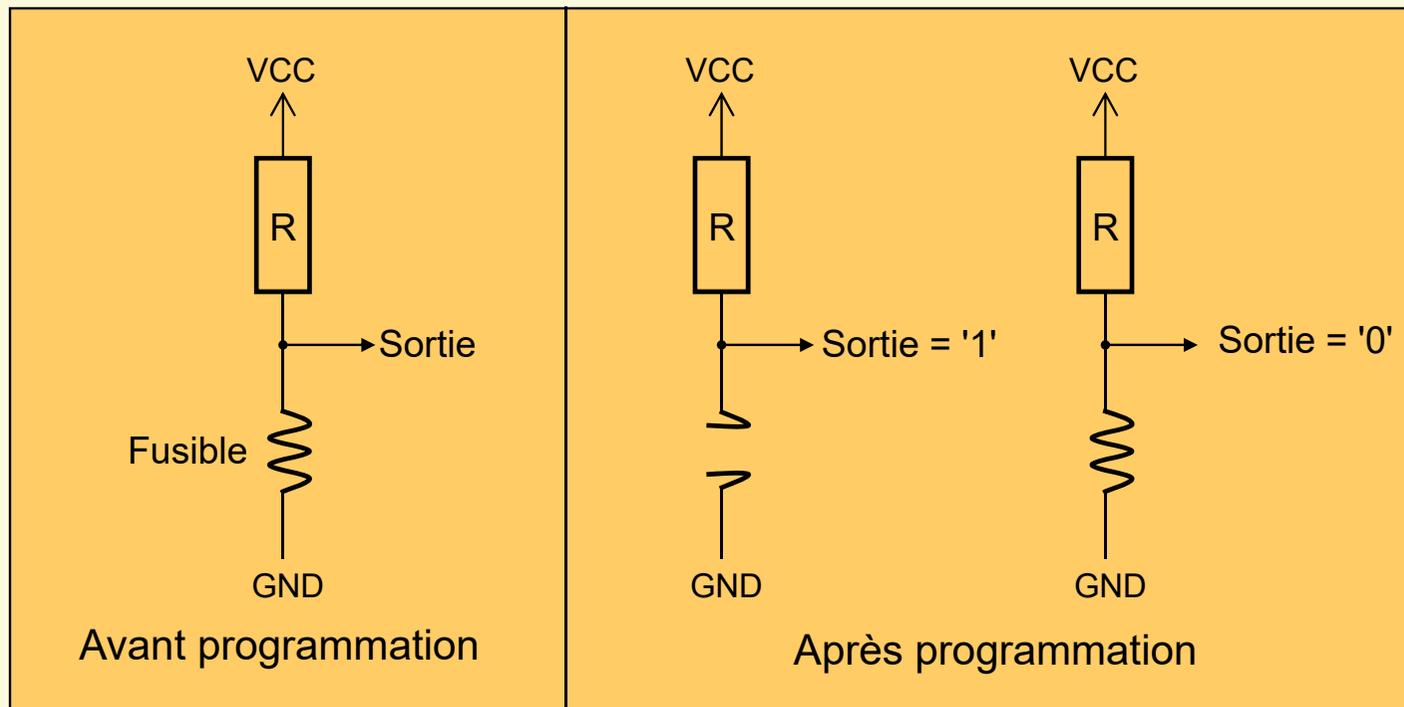
- Applications utilisant des accès en lecture, capacités de quelques centaines de MBytes
 - Configuration des FPGA ou DSP
 - Téléphones portables pour contenir l'OS

Utilisation EEPROM

- Petites capacités 1Kbits à 1Mbits
- Sauvegarde de paramètres
- Parallèle ou série
- Utilisé dans appareil électronique pour sauvegarde de quelques paramètres

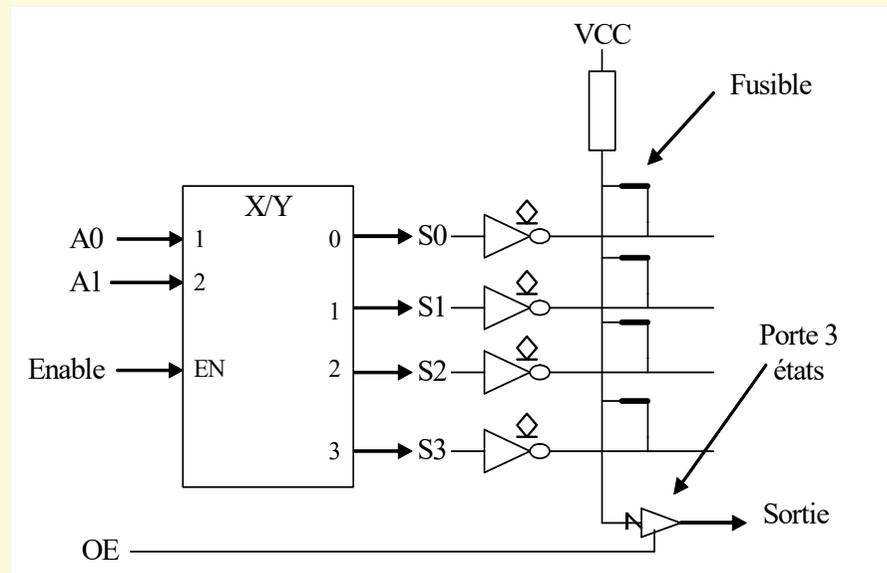
Mémoire morte : PROM

- Une mémoire morte 1 bit programmable, une seule fois, peut être réalisée avec une résistance et un fusible.



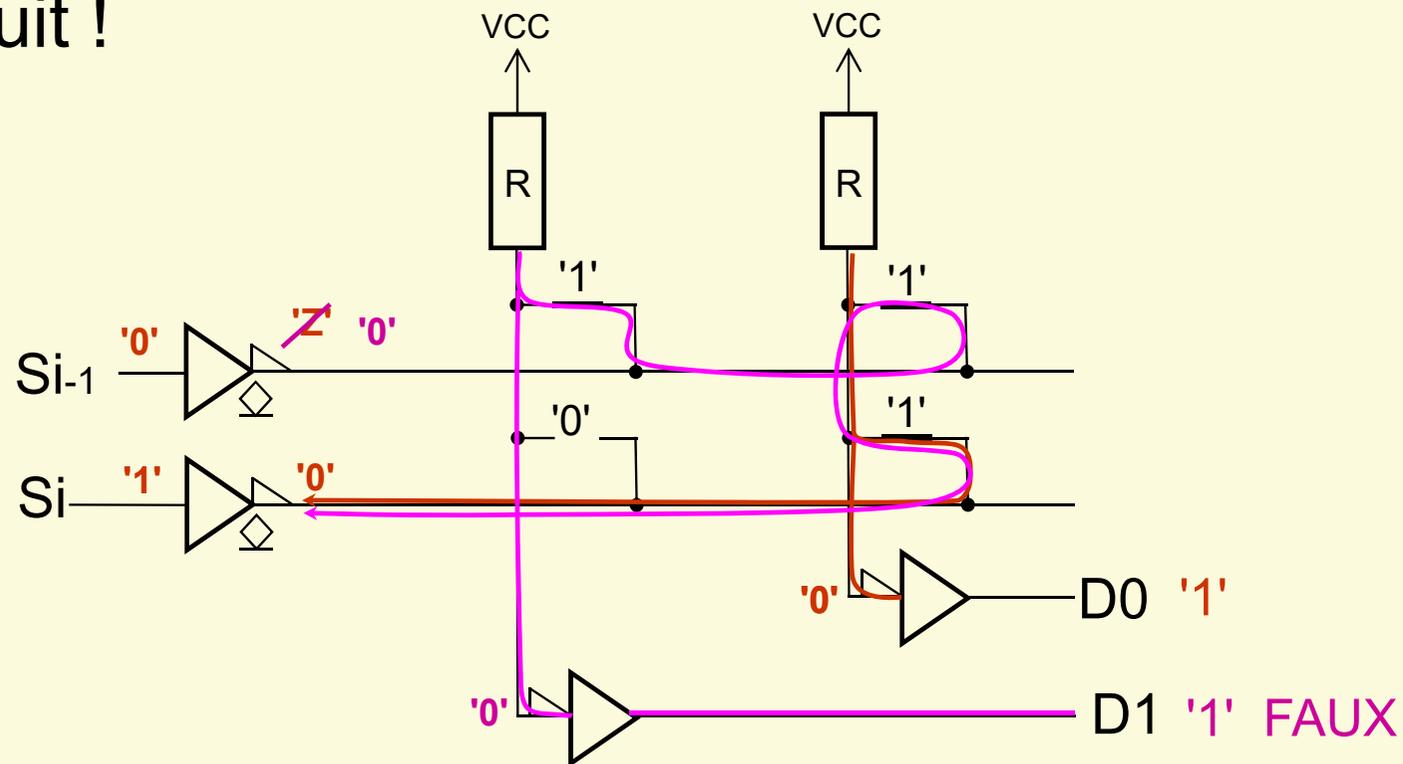
Mémoire morte 4 x 1 bit

- Fonction de sortie = somme de mintermes
 - Un décodeur permet de sélectionner un bit (minterme) parmi les 4
 - Un ou-câblé peut être réalisé avec des portes à collecteur ouvert.



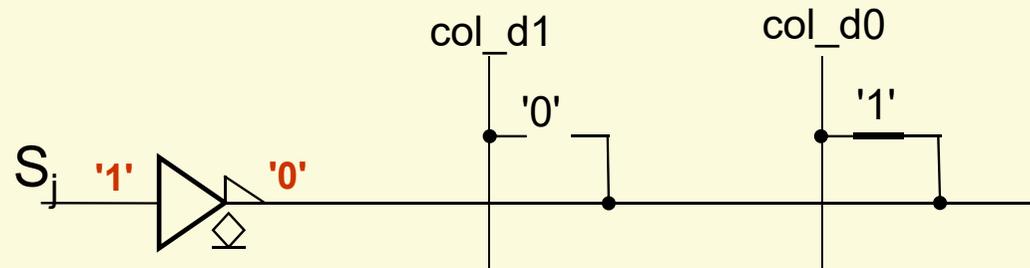
Mémoire morte 4 x 2 bits ...

- 2 bits de donnée : 2 colonnes de fusibles
- court-circuit !



Mémoire morte 4 x 2 bits ...

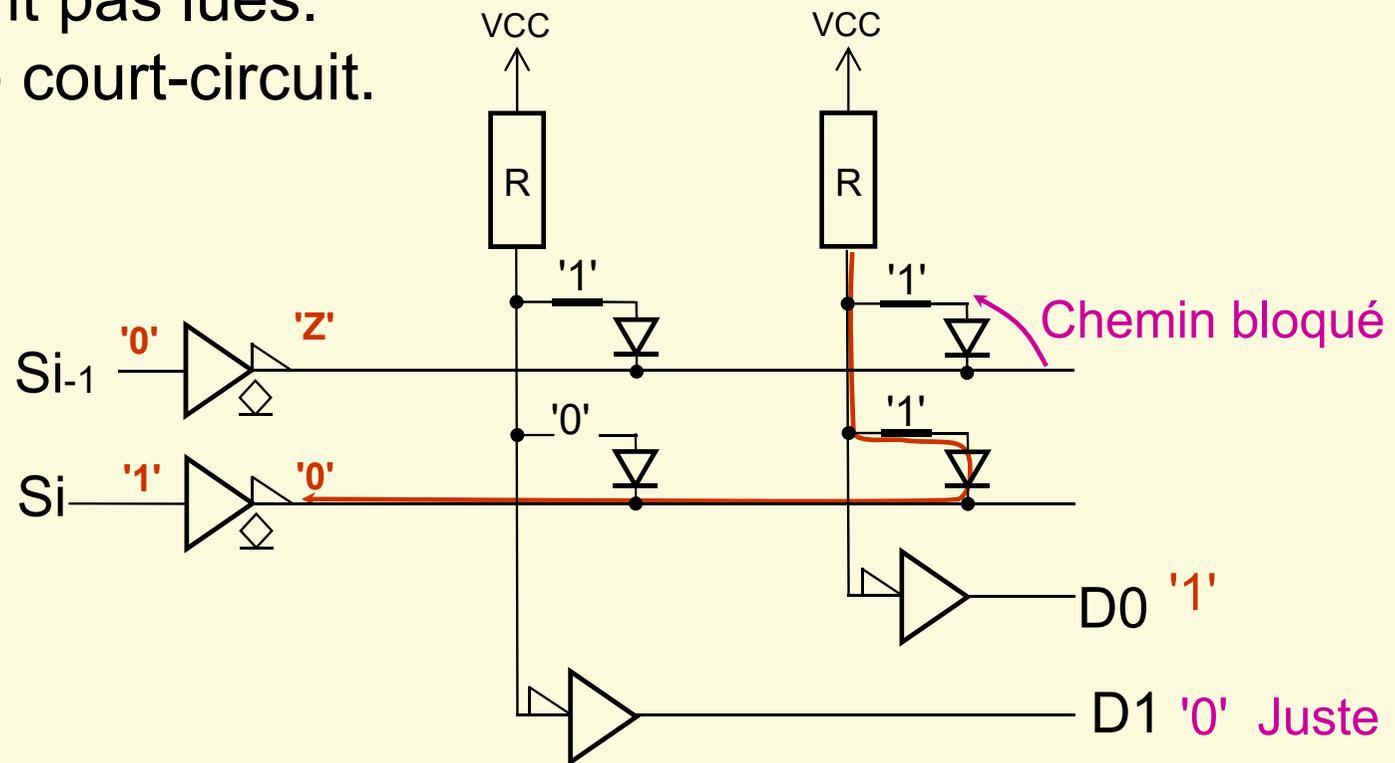
- Le décodeur sélectionne une sortie i.e. une ligne de donnée de 2 bits



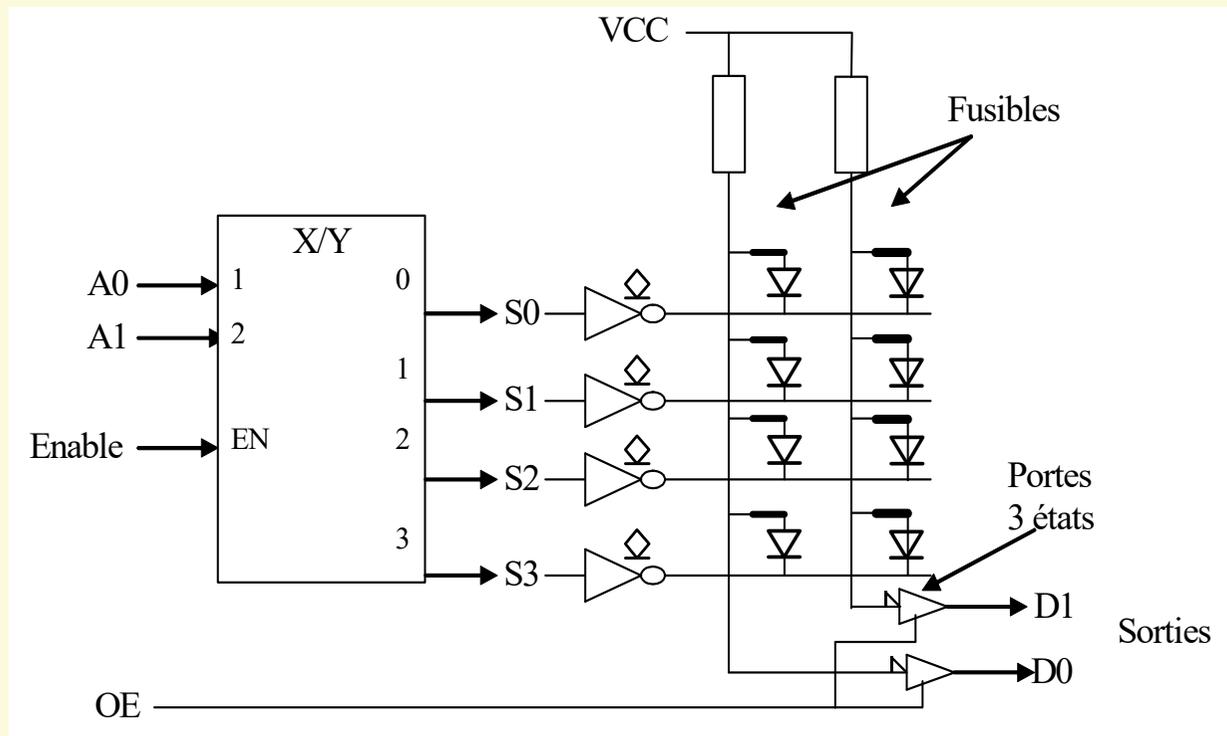
- Ici la valeur stockée à la ligne j est «01»
- Dans le cas d'une valeur à «1», l'état «0» de la sortie de la porte trois état est propagé sur la ligne col_d0
- Si sur une autre ligne, la valeur du bit est à «1», l'état «0» va se propager sur la ligne $j-1$ (voir exemple)
- Le problème est qu'ainsi cet état «0» peut se propager sur une autre colonne de donnée à la place de « z »
 - Dans l'exemple: le bit D1 de la ligne j est lu à «1»! Faux!

... mémoire morte 4 x 2 bits ...

- La diode bloque les chemins pour les lignes en hautes impédances donc elles ne sont pas lues. Cela supprime le court-circuit.



... mémoire morte 4 x 2 bits

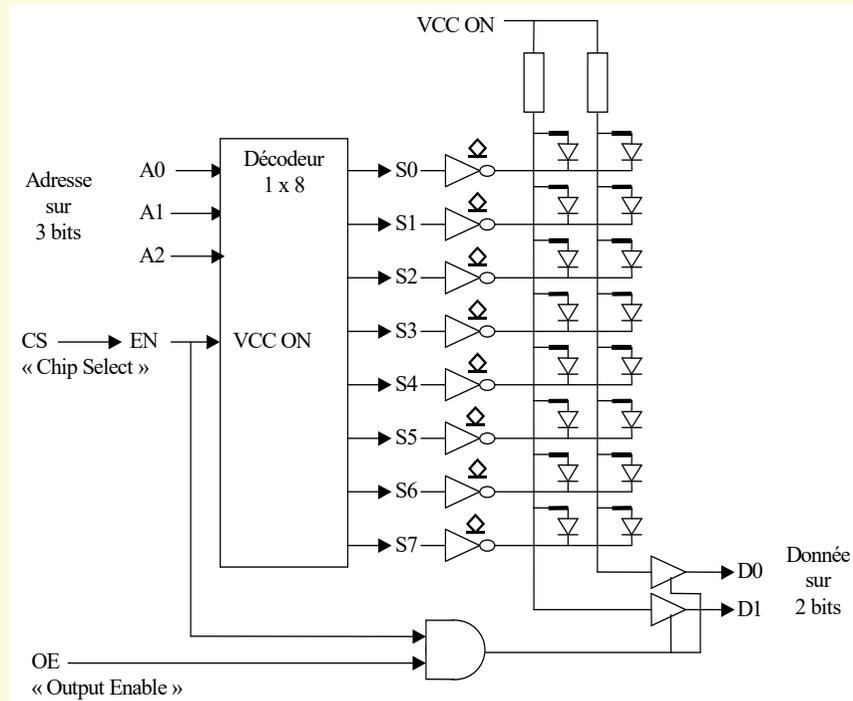


Mémoire morte 8 x 2 bits ...

- Une entrée d'activation du circuit *Chip Select* (CS)
 - peut aussi commander la mise sous tension des blocs internes
- Une entrée de 3 bits (*Address*) pour sélectionner une case de la mémoire
- Une entrée *Output Enable* (OE) pour commander l'activation de la sortie de données
- Une sortie de 2 bits (*Data*) fournissant la valeur lue

... mémoire morte 8 x 2 bits ...

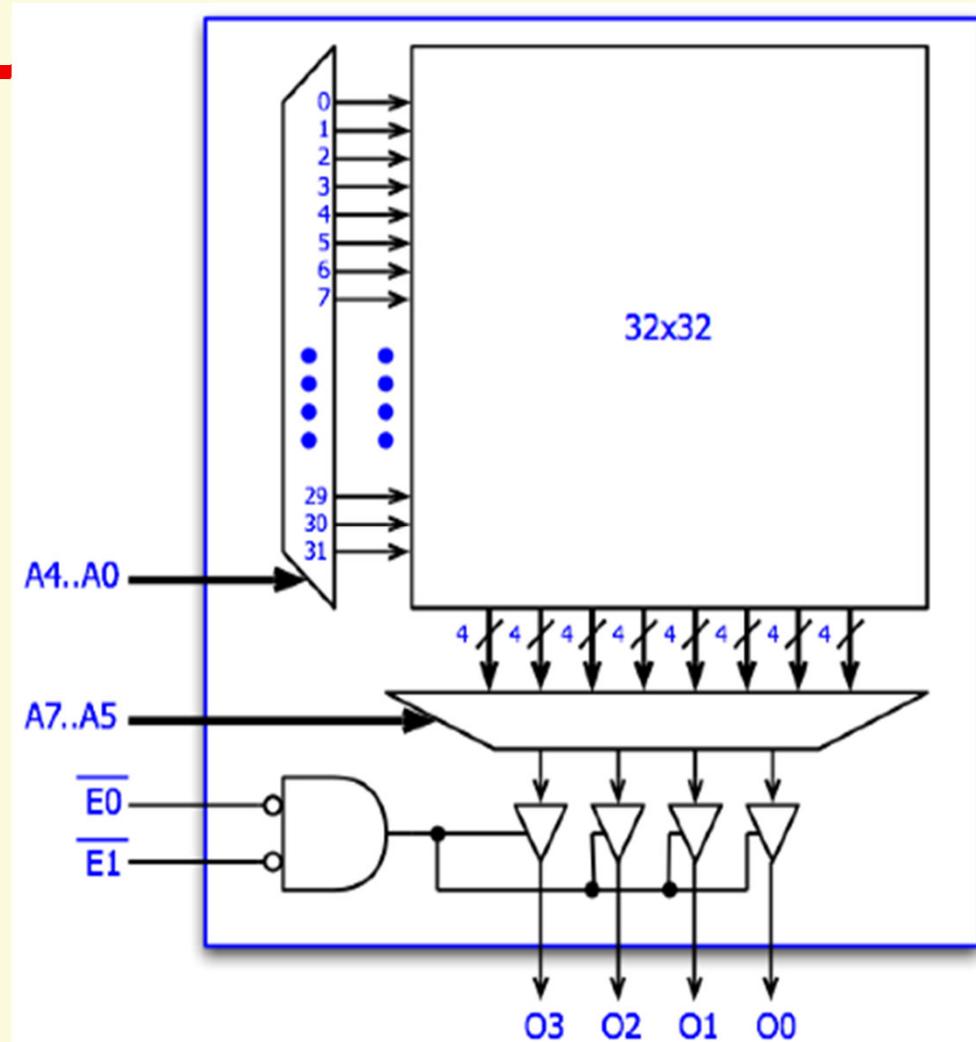
- Architecture de la mémoire



Mémoire ROM 256 x 4 bits

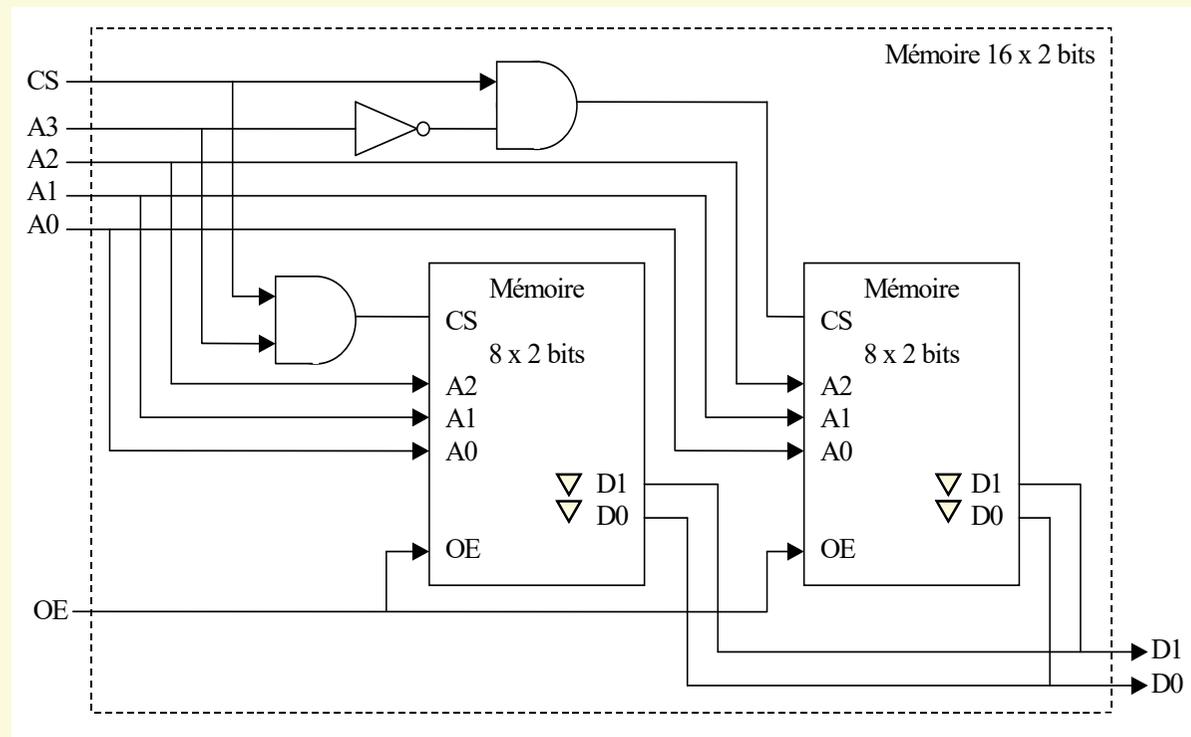
Capacité totale : 1024 bits

Décomposé en une
matrice 32 x 32 bits



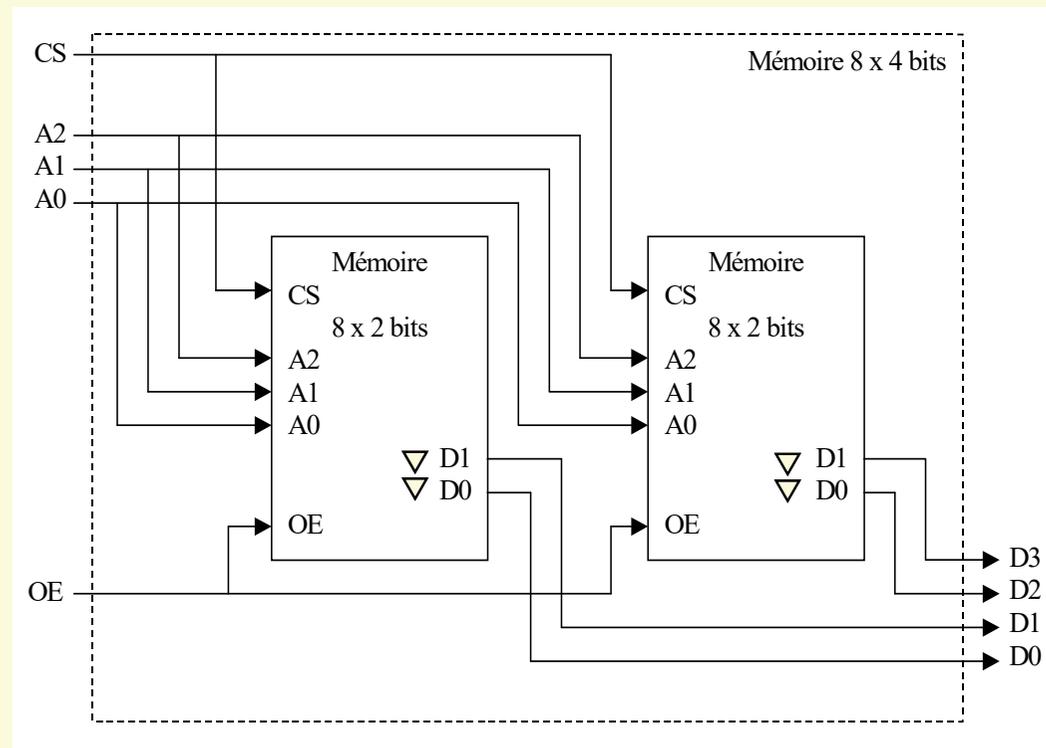
Extension des adresses (profondeur)

- Les entrées de sélection du circuit permettent d'étendre la profondeur en utilisant plusieurs circuits



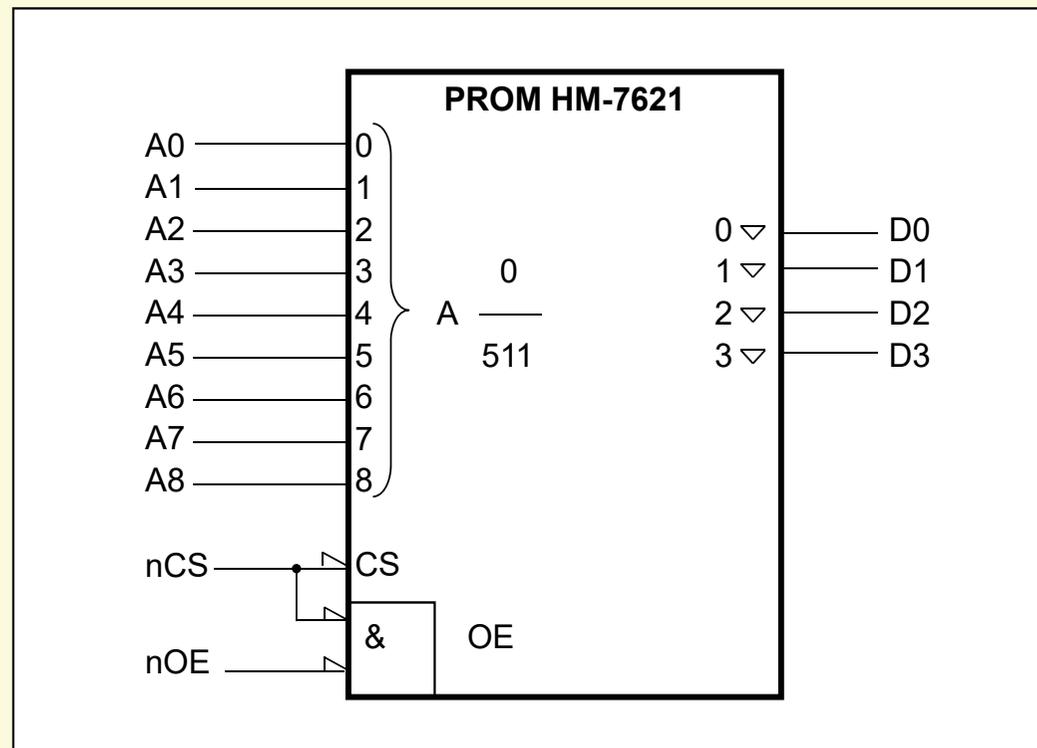
Extension des données (largeur)

- Utilisation de 2 circuits mis en parallèle



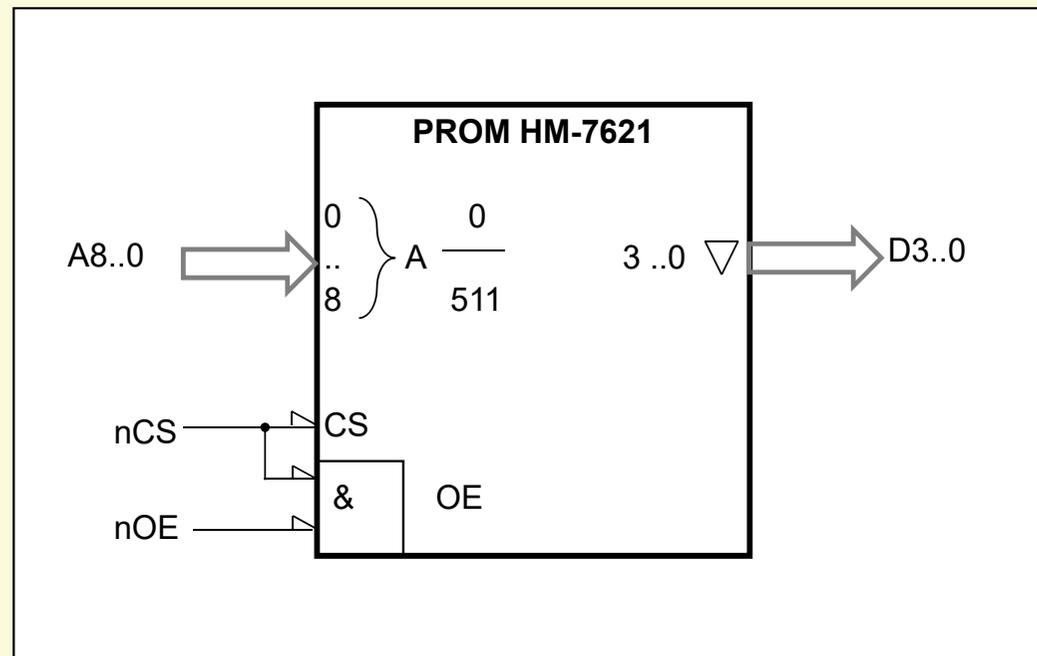
Symbole CEI d'une PROM

- Mémoire HM-7621, capacité 512x4



... symbole CEI d'une PROM

- Mémoire HM-7621, capacité 512x4
 - représentation avec des bus (compact & lisible)



Symbole recommandé

Mémoire = système combinatoire

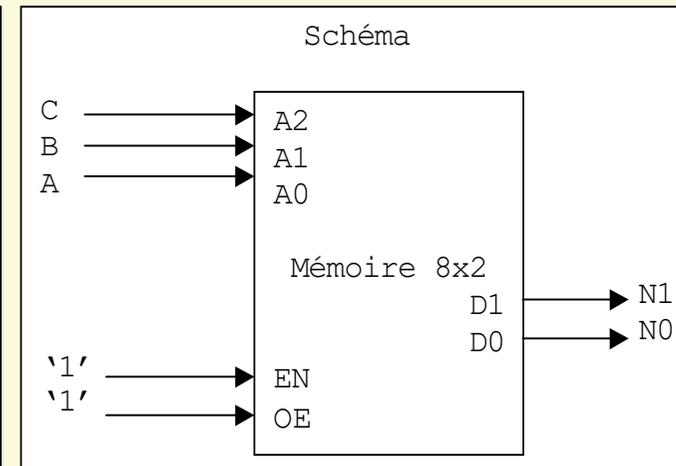
- Les bits d'adresse sont les entrées
- Les bits de donnée sont les sorties
- La valeur mémorisée à l'adresse x est celle qui figure dans la table de vérité pour la combinaison x des entrées

Mémoire en système combinatoire

- Exemple : circuit calculant le nombre de '1' dans un mot de 3 bits

C	B	A	Nb 1	N1	N0
0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	1
0	1	0	1	0	1
0	1	1	2	1	0
1	0	0	1	0	1
1	0	1	2	1	0
1	1	0	2	1	0
1	1	1	3	1	1

Adresse			Donnée	
A2	A1	A0	D1	D0
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	1	1



Mémoire en système combinatoire

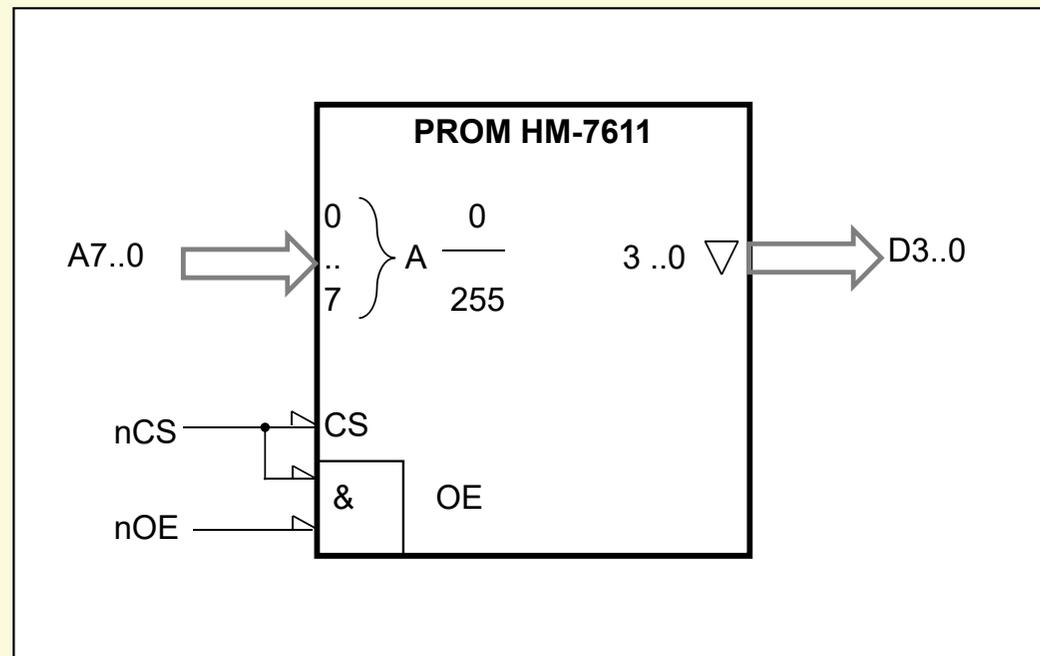
- Les temps de réaction entrées/sorties sont plus grands (rapport 1 à 10 fréquent) que pour une réalisation avec des portes
- Les transitoires ne sont pas maîtrisables
- Une mémoire à n bits d'adresse permet de réaliser toutes les fonctions combinatoires à n entrées.
- Une mémoire à m bits de données permet de réaliser m fonctions des mêmes entrées

Exercices

- 1) Vous disposez de plusieurs PROM de type HM-7611 (256x4).
 - a) Réalisez une mémoire de capacité 256x12.
 - b) Réalisez une mémoire de capacité 1024x4.
 - c) Réalisez une mémoire de capacité 512x8.
- 2) Vous disposez de PROM de type HM-7649 (512x8). Dessinez le schéma permettant de réaliser une mémoire d'une capacité de 1Kx4 bits.
- 3) Vous disposez de PROM de type HM-7603 (32x8). Dessinez le schéma permettant de réaliser une PROM d'une capacité de 128x2 bits.

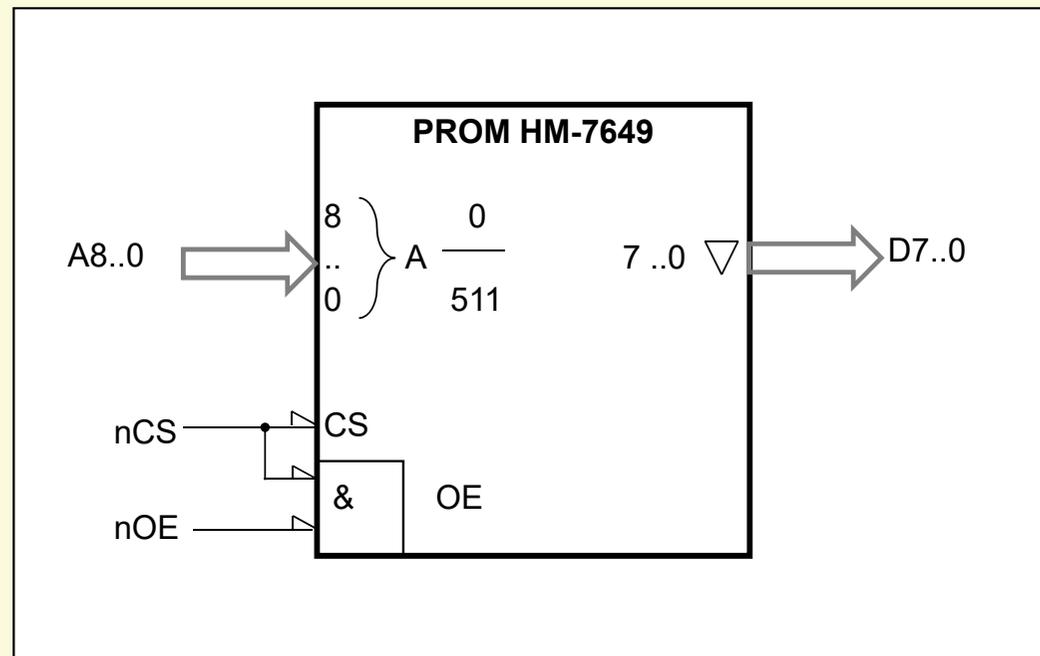
Symbole PROM 256x4

- Mémoire HM-7611, capacité 256x4



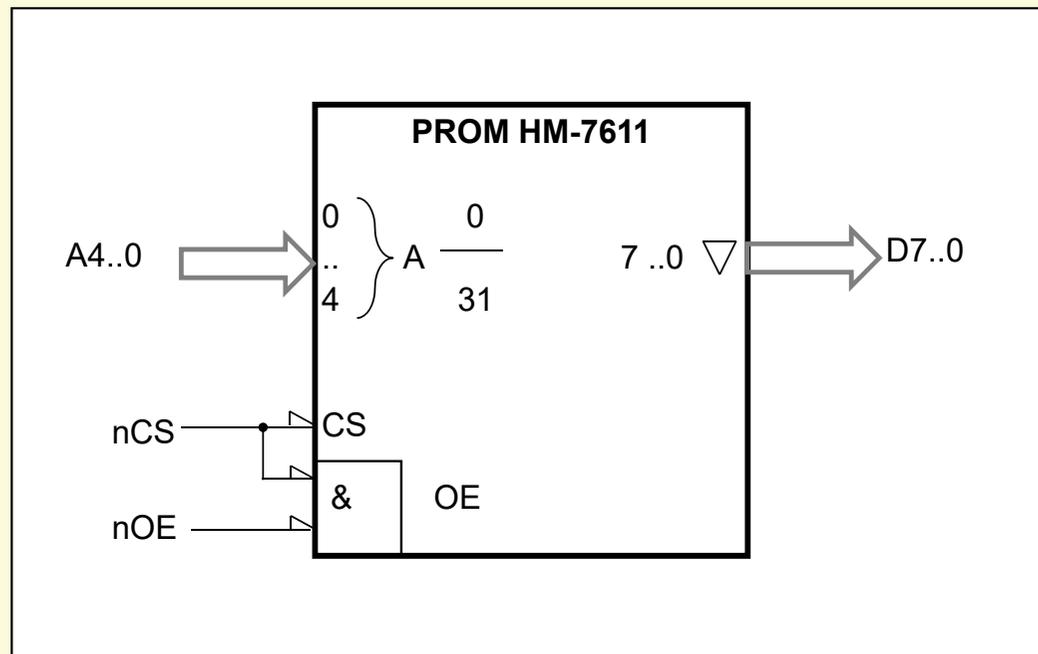
Symbole PROM 512x8

- Mémoire HM-7649, capacité 512x8
 - représentation avec des bus (plus lisible)



Symbole PROM 32x8

- Mémoire HM-7603, capacité 32x8



Fin de la présentation

