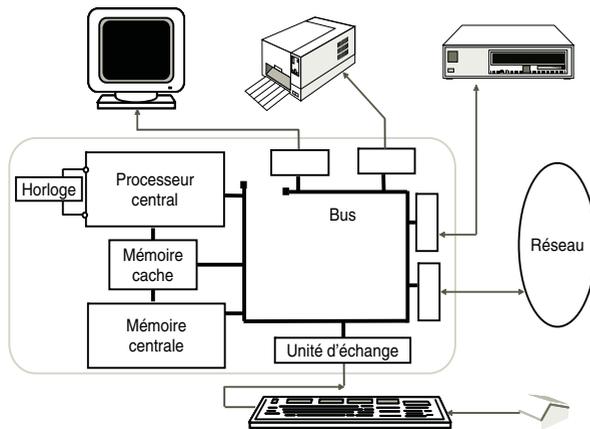


## Table des matières

1	Qu'est-ce qu'un ordinateur ? .....	3
	Codage de l'information .....	35
	Du problème à sa résolution .....	47
	Compilation d'un programme C : le travail du préprocesseur .....	51
2	La segmentation : les différentes parties d'un processus .....	55
	La pile : utilisation au travers d'appels de fonction .....	58
3	La pile : appel de fonction et passage de paramètres .....	61
	L'arithmétique des pointeurs .....	63
	La multiprogrammation .....	66
4	Gestion de la mémoire entre différents processus .....	67
	Gestion de la mémoire : les solutions fournies par la mémoire virtuelle .....	68
	Le «paging» .....	71
5	Présentation d'Unix .....	73
	La virtualisation de la machine vue par Unix .....	80
	Mode utilisateur et mode noyau .....	82
6	Les Processus Unix .....	83
7	Notion de programme et de processus .....	84
	Commutation de contexte .....	87





\* une *mémoire centrale* :

◇ architecture «Von Neuman» : programme et données résident dans la même mémoire.

*La lecture ou l'écriture dans la mémoire concerne une donnée ou une instruction.*

◇ architecture «Harvard» : programme et données sont dans des mémoires différentes ;

*Il est possible de charger simultanément une instruction et une donnée.*

L'architecture d'un ordinateur est de type «von Neumann».

Des matériels embarqués, comme des modules Arduino ou des DSP, «Digital Signal Processor», utilisent une architecture de type «Harvard».

- \* un *processeur central* ou CPU, «*Central Processing Unit*» qui réalise le traitement des informations logées en mémoire centrale :
  - ◇ le processeur permet l'exécution d'un programme ;
  - ◇ chaque processeur dispose d'un langage de programmation composé d'**instructions machine** spécifiques ;
  - ◇ **résoudre un problème** : exprimer ce problème en une suite d'instructions machines ;
  - ◇ la solution à ce problème est **spécifique à chaque processeur** ;
  - ◇ le programme machine et les données manipulées par ces instructions machine sont placés dans la mémoire centrale.
- \* des *unités de contrôle* de périphériques et des périphériques :
  - ◇ périphériques d'entrée : clavier, souris, etc ;
  - ◇ périphériques de sortie : écran, imprimante, etc ;
  - ◇ périphérique d'entrée/sortie : disques durs, carte réseau, etc.
- \* un *bus de communication* entre ces différents composants.

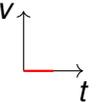
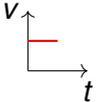


Mais un bit, c'est quoi au juste ?  
Qu'est-ce que l'adressage ?



# Qu'est-ce qu'un bit, «*binary digit*» ?

Un **bit** représente un système à **deux états** possibles :

- «*allumé*»,  ou «*éteint*»,  ;
- «*allumé*»,  ou «*éteint*», , d'où le symbole présent sur les interrupteurs poussoir :  ou  ;
- «*Vrai*» ou «*Faux*» ;
- un **voltage** «*bas*»  ou un voltage «*haut*»  (où «*v*» est le voltage et «*t*» le temps) ;
- une **magnétisation** de sens nord-sud  ou de sens sud-nord  sur un support magnétique ;
- la **valeur** «*1*» ou la valeur «*0*».

## Qu'est-ce qu'un bit de mémoire dans un ordinateur ?

«*Un bit est juste un emplacement de stockage d'électricité :*

- ▷ *s'il n'y a pas de charge électrique alors le bit est 0 ;*
- ▷ *s'il y a une charge électrique  alors le bit est 1*

*La seule chose que l'ordinateur peut mémoriser est si le bit est à 1 ou 0.»*

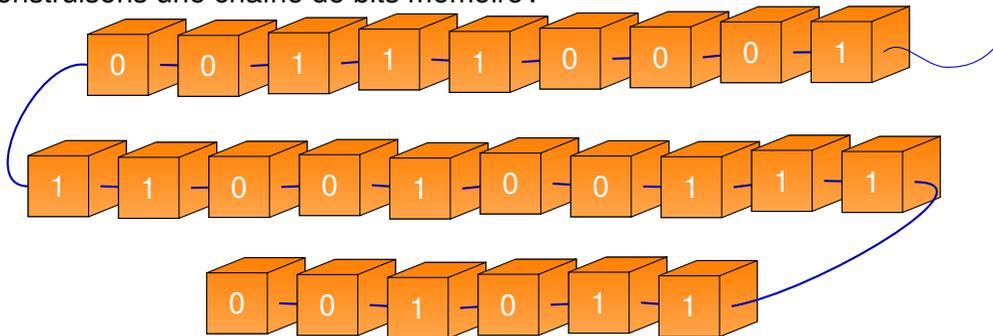


Chaque bit de mémoire correspond à une case dans laquelle on peut stocker un bit de données, soit la valeur 1, soit la valeur 0.

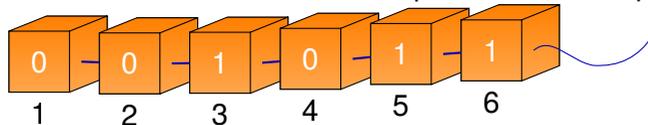


# Comment accéder à la valeur de chaque bit de mémoire ?

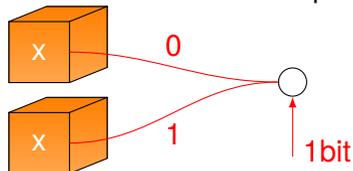
Construisons une chaîne de bits mémoire :



Comment accéder à une case précise ?  $\Rightarrow$  On pourrait numéroter les cases !



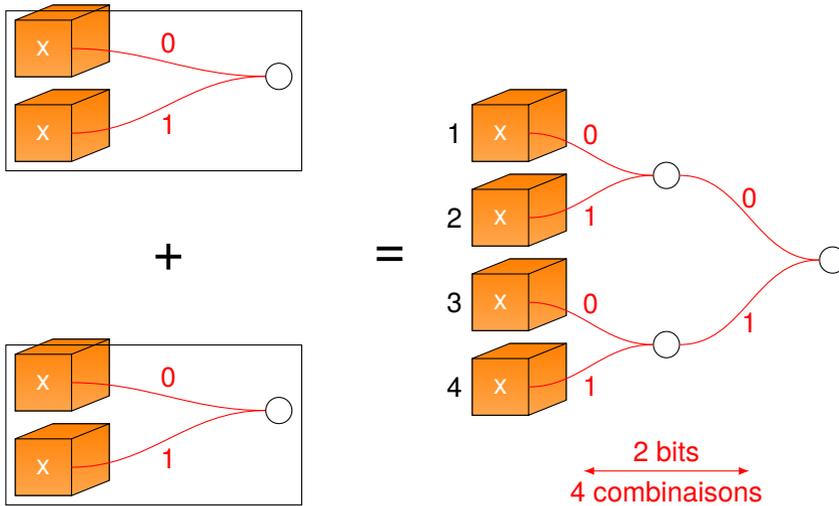
Mais, si le numéro de la case doit être **manipulé par l'ordinateur**, il doit être **mémorisé** dans des cases !  
Combien de bits faut-il pour numéroter toutes les cases mémoires ?



$\Rightarrow$  1 bit donne deux combinaisons : «0» et «1»

Un bit de «comptage» peut compter deux bits de mémoire... Si on veut 100 cases mémoires, il faut 50 cases pour les compter ? Non c'est un peu plus compliqué que cela...





Numéro case	bits $n$
1	00
2	10
3	01
4	11

On remarque que si on lit la combinaison des bits  $n$  de droite à gauche, on arrive directement au bit désiré :

Numéro case	bits $n$
1	00
2	01
3	10
4	11

- ⇒ Pour 4 cases, ou 4 bits de données, il faut 2 bits de numérotation.
  - ⇒ Pour 8 cases, il faut 3 bits de numérotation.
  - ⇒ Pour 16 cases, il faut 4 bits de numérotation.
  - ⇒ Pour 32 cases, ou 32 bits de données, il faut 5 bits de numérotation.
- Il faut  $\log_2(N)$  bits de numérotation pour  $N$  cases
- ⇒ optimal mais pas très économique !

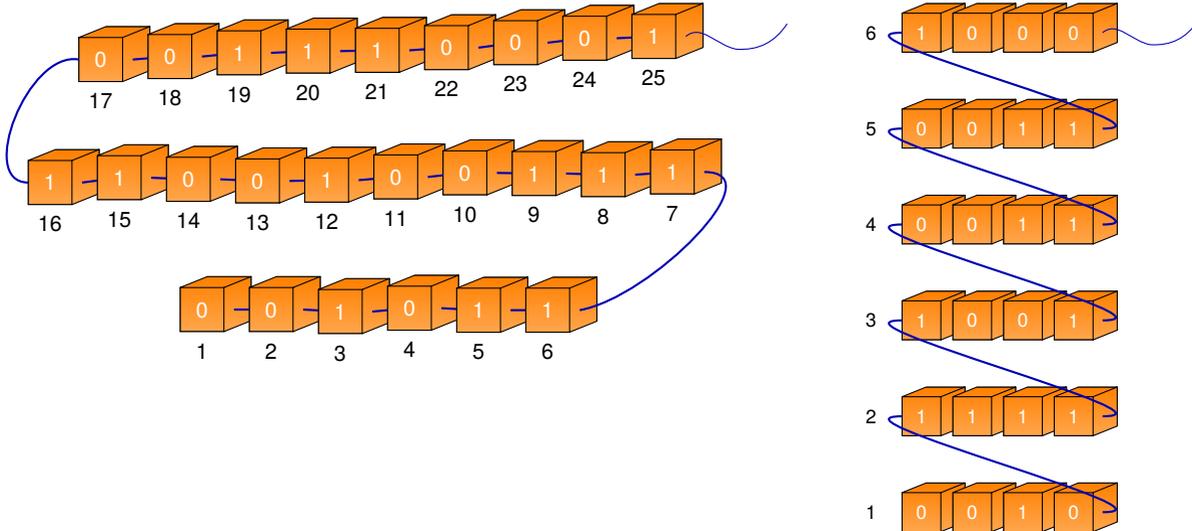
Si on numérote en partant de zéro, la numérotation correspond à la séquence binaire :

Numéro case	bits $n$
0	00
1	01
2	10
3	11



# Comment diminuer la numérotation ?

On associe les bits mémoires par groupe de taille donnée, puis on compte ces groupes :



Ici, on a regroupé par groupe de 4 bits, appelé «*quartet*» ou «*nibble*».

Il faut :

- ▷ 1 bit de numérotation pour deux quartets, ou 8 bits mémoire ;
- ▷ 2 bits de numérotation pour 4 quartets, ou 16 bits de mémoire ;
- ▷ 3 bits de numérotation pour 8 quartets, ou 32 bits de mémoire ;

C'est mieux !



# Quelle est la bonne taille de regroupement des bits de mémoire ?

Il faut trouver un compromis entre :

- le nombre de bits nécessaire à la **numérotation** de ces groupes ;
- l'intérêt qu'un groupe peut représenter pour **coder** de l'information.

Quel est l'intérêt d'un groupe ?  $\Rightarrow$  le nombre de séquences de bits différentes qu'il peut exprimer.

Avec un quartet ou «*nibble*», combien de **séquences différentes** de bits peut-on exprimer ?

$$2 * 2 * 2 * 2 = 2^4 = 16$$

Et si on voulait associer un caractère de l'alphabet à chacune de ces séquences ? On ne pourrait pas exprimer l'alphabet entier !

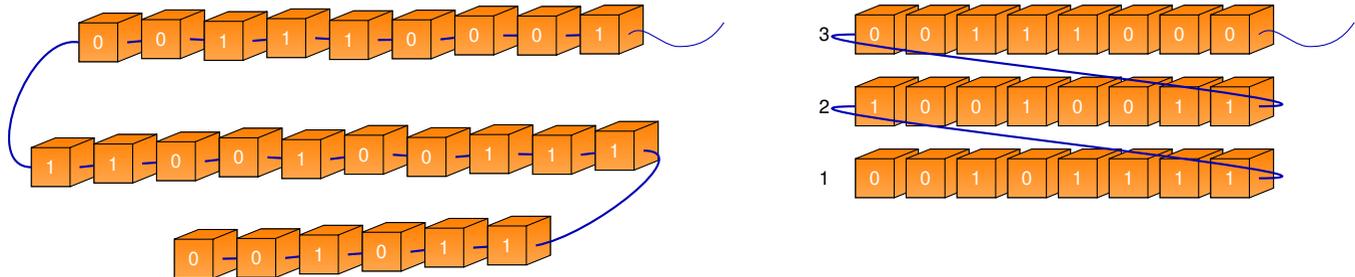
séq.	lettre	séq.	lettre	séq.	lettre	séq.	lettre
0000	a	1000	e	1111	i	1010	m
0001	b	1001	f	0110	j	1011	n
0010	c	1100	g	0101	k	1101	o
0100	d	1110	h	1001	l	0010	p

$\Rightarrow$  Il faut trouver un **meilleur compromis** !

- ▷  $2^5 = 32 \Rightarrow$  on peut exprimer un alphabet mais il reste juste 6 caractères pour la ponctuation...
- ▷  $2^6 = 64 \Rightarrow$  un alphabet + 10 chiffres + caractères accentués + ponctuation, encore un peu juste
- ▷  $2^7 = 128 \Rightarrow$  plutôt satisfaisant.
- ▷  $2^8 = 256 \Rightarrow$  le choix qui a été fait.



On regroupe les bits de mémoires par groupe de 8, appelé octet ou «byte» :



Il faut :

- ▷ 1 bit de numérotation pour 2 octets ou 16 bits de mémoire ;
- ▷ 2 bit de numérotation pour 4 octets ou 32 bits de mémoire ;
- ▷ 3 bits de numérotation pour 8 octets ou 64 bits de mémoire ;
- ▷ 4 bits de numérotation pour 16 octets ou 128 bits de mémoire ;
- ▷ 8 bits de numérotation pour 256 octets ou 1024 bits de mémoire ;
- ▷ 16 bits de numérotation pour 65536 octets ou 64 Kilo-octets de mémoires ;

## Attention

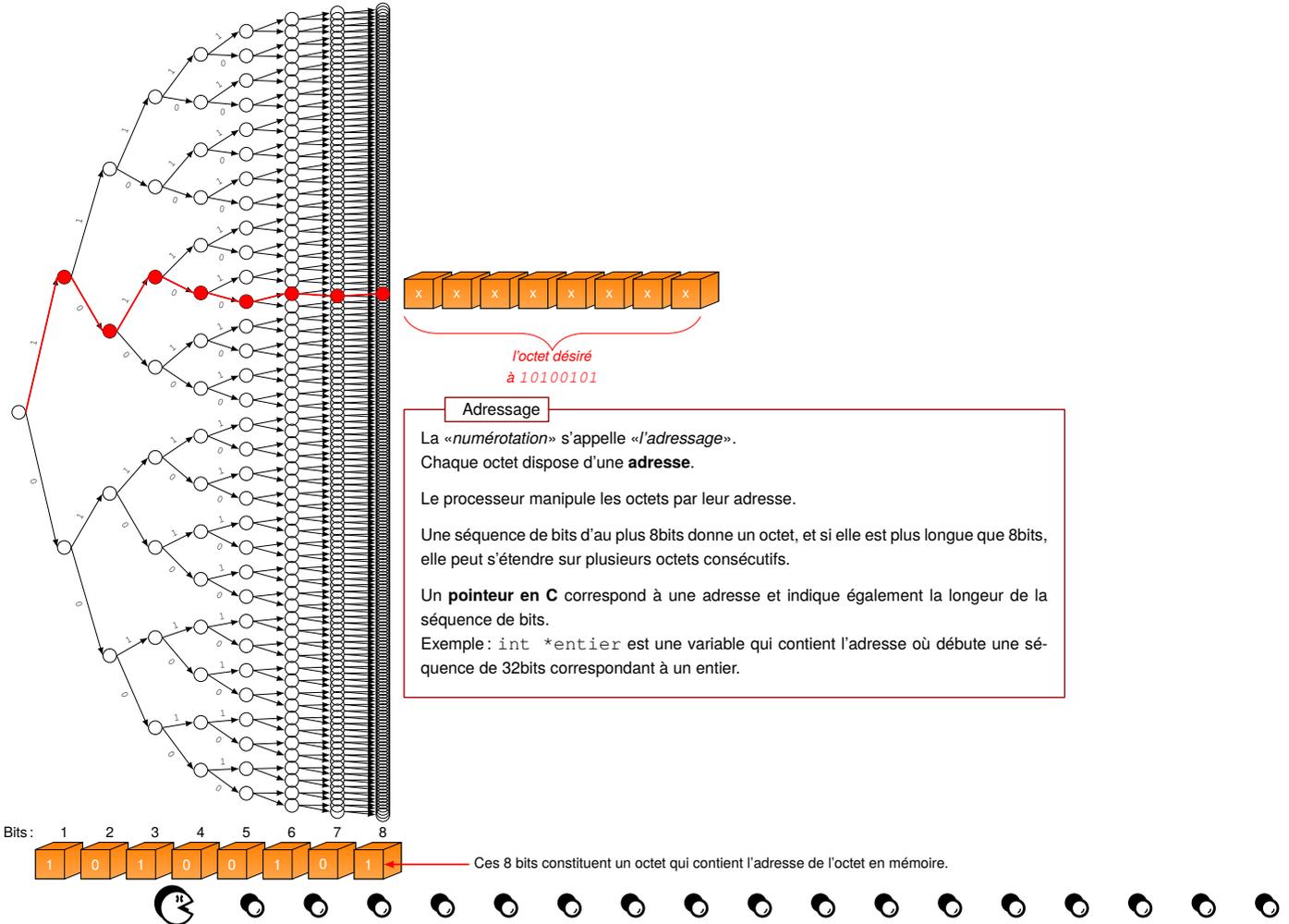
En informatique, «kilo» représente 1024 lorsqu'il s'agit de manipulation dans l'ordinateur.

Parce que « $2^{10} = 1024$ ».

Dans le SI, «*système international*», «kilo» signifie 1000 et **kibi** signifie 1024.

C'est l'unité utilisée pour les débits réseaux : 20 Mbits  $\Rightarrow 10^6$  bits ou la capacité de stockage.





*l'octet désiré*  
à 10100101

### Adressage

La «numérotation» s'appelle «l'adressage».  
Chaque octet dispose d'une **adresse**.

Le processeur manipule les octets par leur adresse.

Une séquence de bits d'au plus 8bits donne un octet, et si elle est plus longue que 8bits, elle peut s'étendre sur plusieurs octets consécutifs.

Un **pointeur en C** correspond à une adresse et indique également la longueur de la séquence de bits.

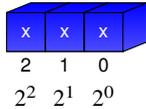
Exemple: `int *entier` est une variable qui contient l'adresse où débute une séquence de 32bits correspondant à un entier.



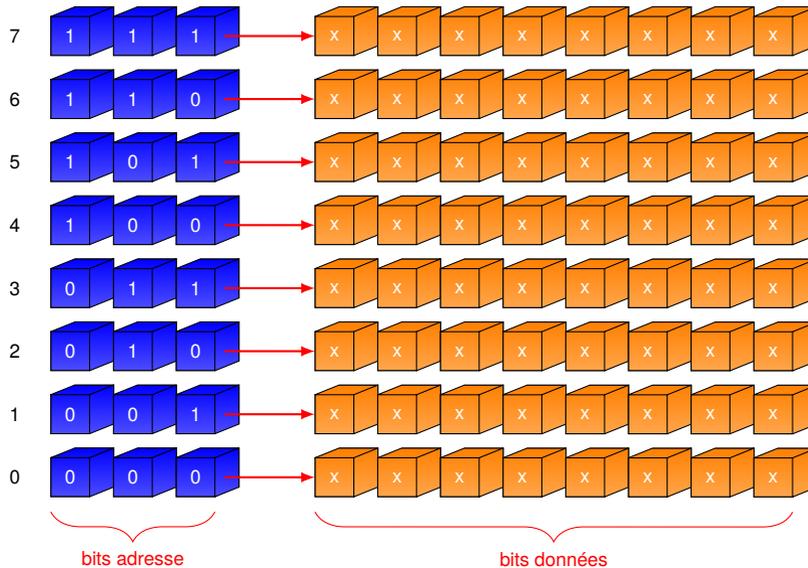
Ces 8 bits constituent un octet qui contient l'adresse de l'octet en mémoire.

## Exemple : adressage sur 3 bits

- ▷ il y a  $2^3 = 8$  octets adressables ;
- ▷ chaque adresse peut être codée sur 3 bits :



Ce qui donne une mémoire de **8 octets** ou 64 bits :



Du coup, l'adressage est toujours le même ?  
Non...notion de «*page*»

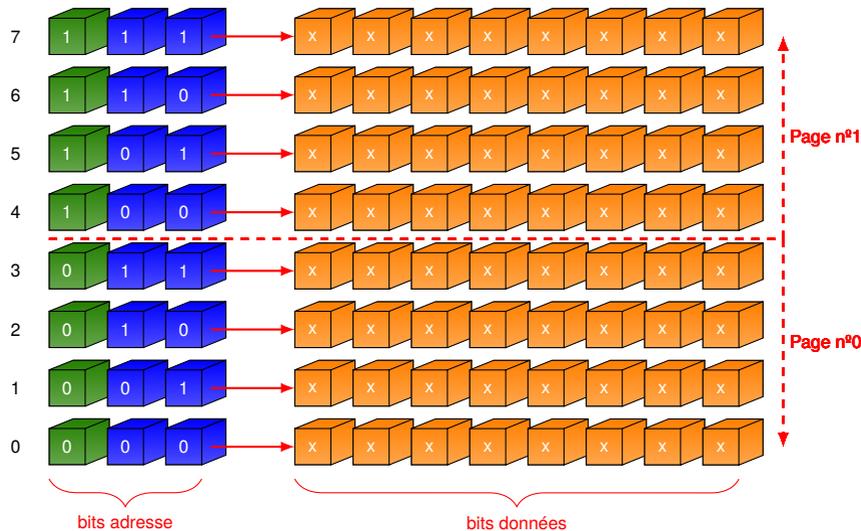


## Exemple d'adressage sur 3 bits avec un bit de page et 2bits d'adresse dans la page

- ▷ une «page» correspond à tous les octets adressables avec un préfixe d'adresse donné ;



- ▷ il est possible de numéroté les pages :



adresses de la page 0 :	0 00	0 01	0 10	0 11
adresses de la page 1 :	1 00	1 01	1 10	1 11

On parle aussi de l'«*adresse x dans la page n*».

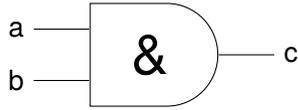
Exemple : l'adresse 10 dans la page 1 correspond à l'adresse complète 110



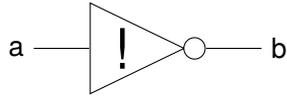
Et un processeur ça marche comment ?  
C'est fait comment physiquement ?



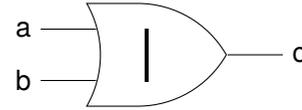
Le «*et*» :  $c = a \& b$  ou  $c = a \wedge b$



Le «*non*» :  $b = !a$  ou  $b = \neg a$

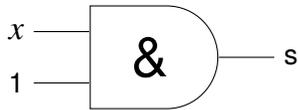


Le «*ou*» :  $c = a|b$  ou  $c = a \vee b$

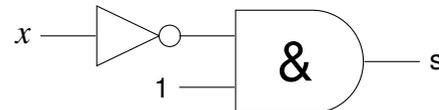


## Créer des opérations

L'opération  $x = 1$



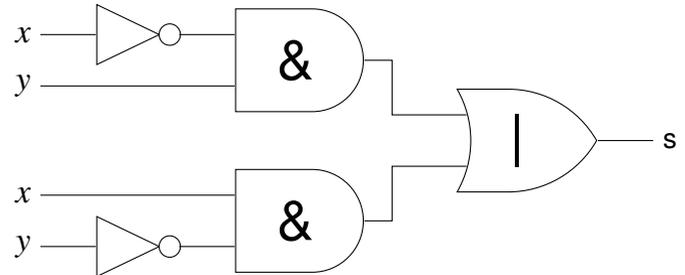
L'opération  $x = 0$



## L'opérateur «*xor*»

Table de vérité du *xor*

a	b	$\oplus$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

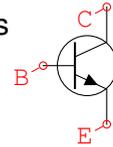


On constate que le *xor* est vrai si  $a \neq b$



## Le transistor

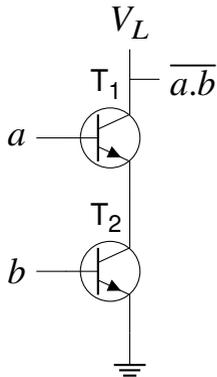
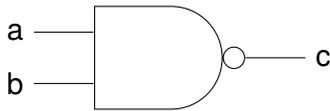
Le **transistor** agit comme un **interrupteur** : le courant peut circuler du «*collecteur*» vers «*l'émetteur*» uniquement si une tension est présente sur la «*base*» :



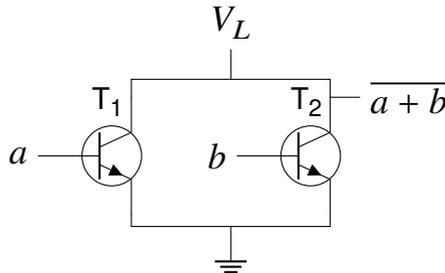
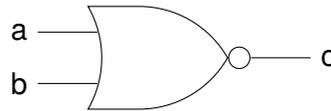
## Simuler les portes logiques ?

Il est «*plus simple*» de construire des portes logiques **negatives** :

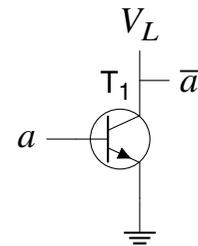
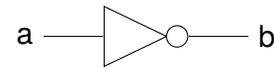
Le «*non-et*» ou NAND :



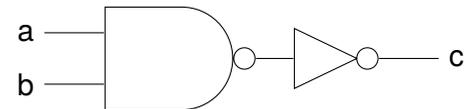
Le «*non-ou*» ou NOR :



Le «*non*» :



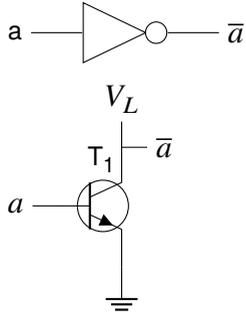
Et si on voulait une porte logique «*positive*», comme un «*OU*» ?



Passer d'un **valeur logique** à un autre revient à **changer le voltage** :

- ▷  $0V$  pour le «0» logique  $\Rightarrow$  ce qui est relié directement au «ground» ;
- ▷  $V_L$  pour le «1» logique  $\Rightarrow$  ce qui est relié directement à  $V_L$  ;

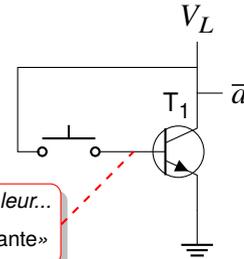
Exemple sur le «non» :



Si l'entrée  $a$  est connectée à

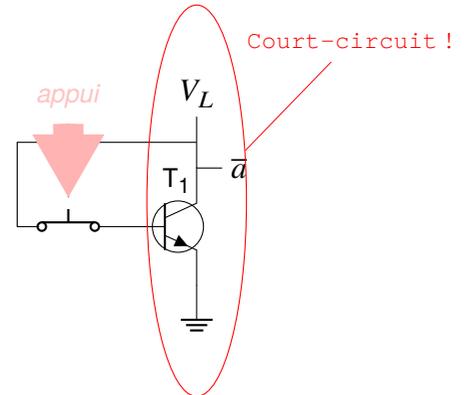
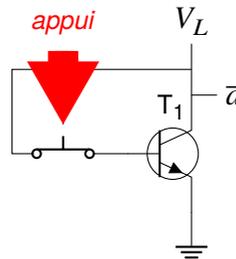
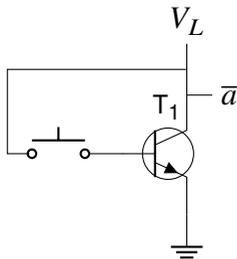
- ▷  $V_L$  alors on dit que  $a$  vaut 1 ;
- ▷ «ground» alors on dit que  $a$  vaut 0 ;

Ce qui donne :



*Ici, on est pas bien sûr de la valeur...  
 On appelle ça une «valeur flottante»*

Et électriquement, ça marche ?



Le **courant électrique** se comporte comme un liquide dont le **flot** circule du «*plus*» vers le «*moins*» :

- le **voltage**, exprimé en volts, qui exprime la «*pression*» du flot ;
- la **résistance**, exprimée en ohms, qui mesure la résistance opposée à ce flot ;

*On notera également qu'une **chute de voltage** se produit à la sortie d'une résistance comme pour un liquide où une haute pression en entrée d'un obstacle donne une plus faible pression en sortie*

- l'**intensité**, exprimé en ampères, qui indique la quantité de liquide qui circule.

En réalité, le nombre de charges électriques circulant dans le flot (électrons).

*En général, c'est l'intensité du courant, son ampérage, qui entraîne des problèmes dans un circuit.*

**Loi d'Ohm  $U = R * I$ , ou «volts et résistance crée l'ampérage»**

$$\frac{V}{\Omega} = A$$

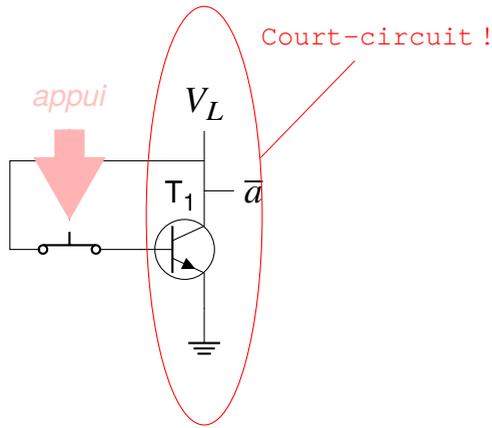
ce qui se traduit pour un voltage constant par :

⇒ l'ampérage ↑ quand la résistance ↓  
⇒ l'ampérage ↓ quand la résistance ↑

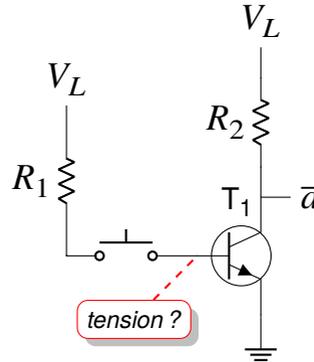
Ce qui permet de distinguer **3 situations de panne** dans un circuit :

- ▷ le **circuit ouvert** où il n'y a pas de circulation ⇒ la **résistance** est infinie et le flot est nul ;
- ▷ le **court-circuit** où le flot va directement vers le «*ground*» ce qui entraîne trop de flot ⇒ la **résistance** est très proche de zéro et l'ampérage tend vers l'infini ⇒ les composants brûlent !  
*Ils libèrent la fumée magique qui les faisait fonctionner...*
- ▷ **pas assez de flot de courant** pour que le circuit fonctionne correctement ⇒ la **résistance** est trop élevée.  
*On remarque que chaque panne est liée à un changement de résistance...*





Il faut ajouter des résistances pour limiter l'intensité du courant, c-à-d son ampérage.



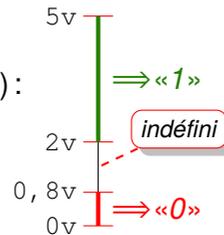
On évite deux court-circuits possibles avec  $R_1$  et  $R_2$ .

Par contre, on ne connaît pas la tension à l'entrée de la «base» du transistor...

## Comment distinguer un «0» et un «1» ?

Pour des circuits électroniques «standards» (TTL) :

- ▷ de 5v à 2v ⇒ «1» ;
- ▷ de 0,8v à 0v ⇒ «0» ;
- ▷ de 0,9v à 1,9v ⇒ «indéfini» ou «flottant» ;



## Autre usage de ces résistances

Elles garantissent une tension :

- ▷ **Pull up** resistor : garantie une tension proche de  $V_L$ , c-à-d un «1» logique, *ici*,  $R_1$  et  $R_2$  ;
- ▷ **Pull down** resistor : garantie une tension proche de 0, c-à-d un «0» logique, *ici*, il n'y en a pas !



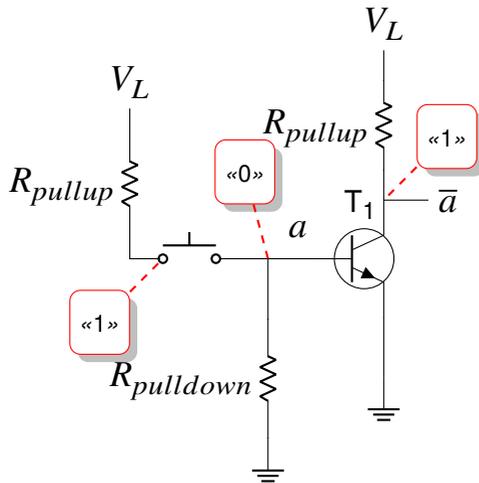
On rajoute des résistances de «pull up» pour :

- ▷ **forcer une tension** interprétable comme un «1» logique ;
- ▷ **éviter un court circuit** en cas d'utilisation d'interrupteur pour ouvrir/fermer le circuit ;

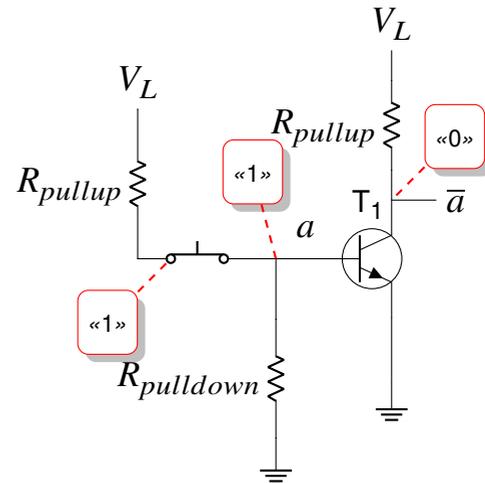
On rajoute des résistances de «pull down» pour :

- ▷ **forcer une tension** interprétable comme un «0» logique ;
- ▷ **éviter un court circuit** en cas d'utilisation d'interrupteur pour ouvrir/fermer le circuit ;

D'où le circuit final :

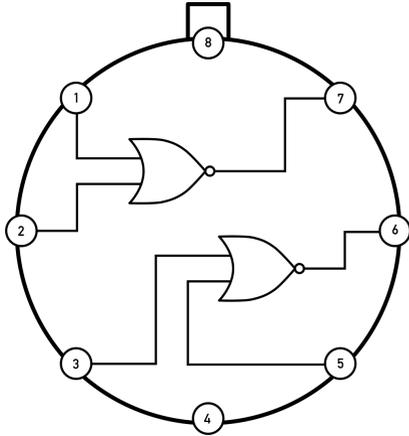


Si  $a = 0$  alors  $\bar{a} = 1$



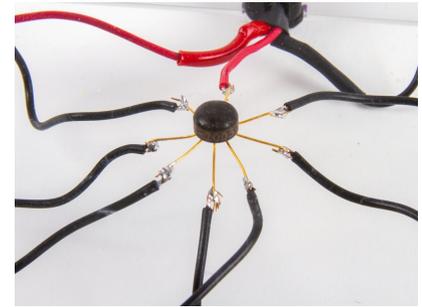
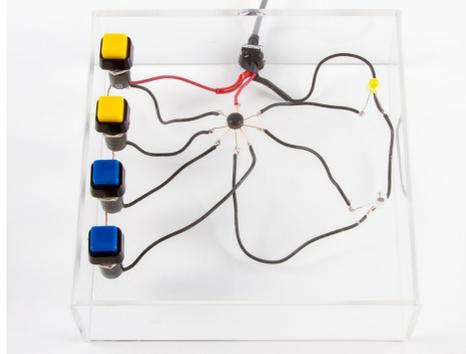
Si  $a = 1$  alors  $\bar{a} = 0$



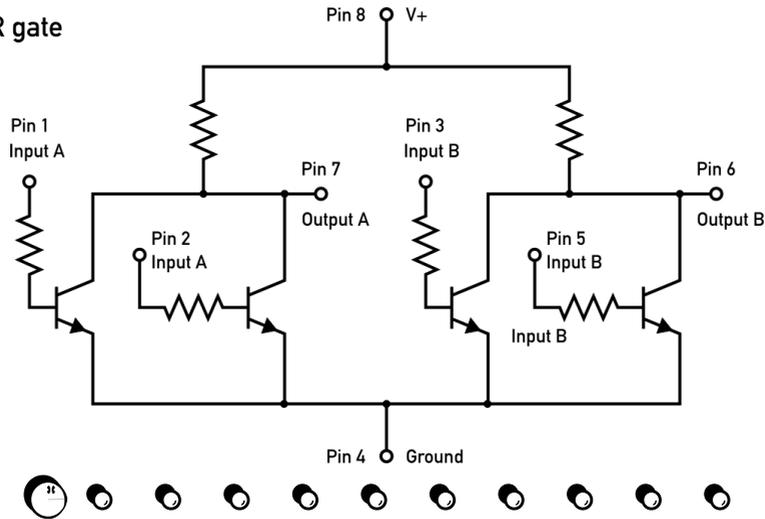


$\mu$ L914  
Dual 2-input NOR gate

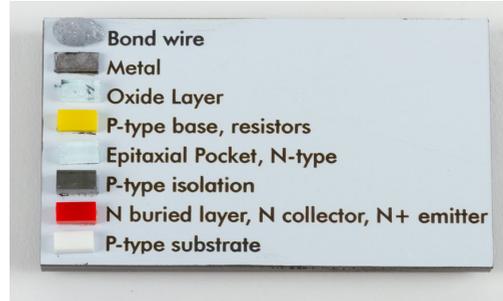
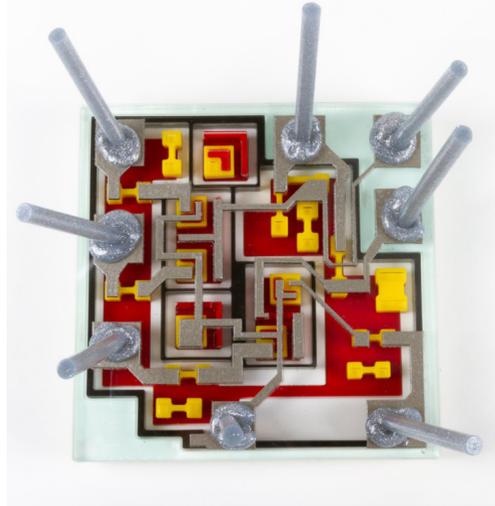
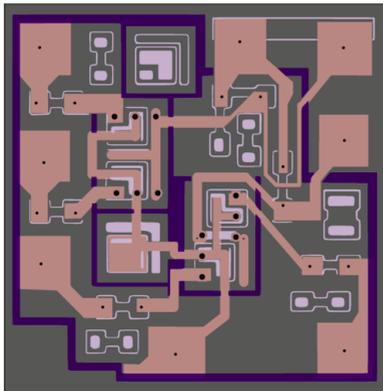
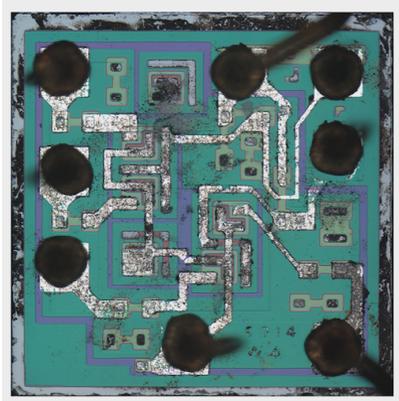
Le composant est au centre, connecté à des boutons poussoirs.



Agrandissement du composant.



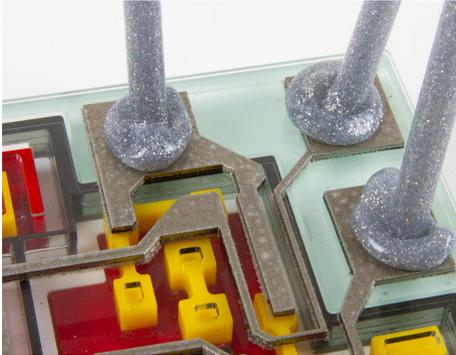
Le composant a été «*décapé*» : sa coque de protection a été enlevée par abrasion et utilisation d'acides :



Le composant est constitué de différentes couches de matériaux différents, superposées les unes sur les autres.  
*On obtient chaque couche par dépôt de substrat ou par gravure (creusement d'une couche).*



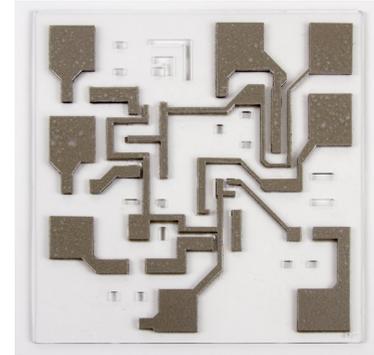
Fils de connexion vers l'extérieur :



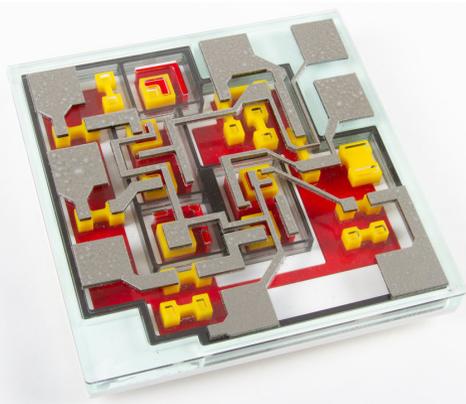
Connexion sur la couche conductrice :



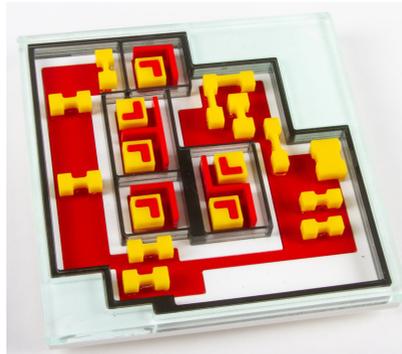
Couche conductrice :



Toutes les couches :



Sans la couche conductrice :



Les Transistors :

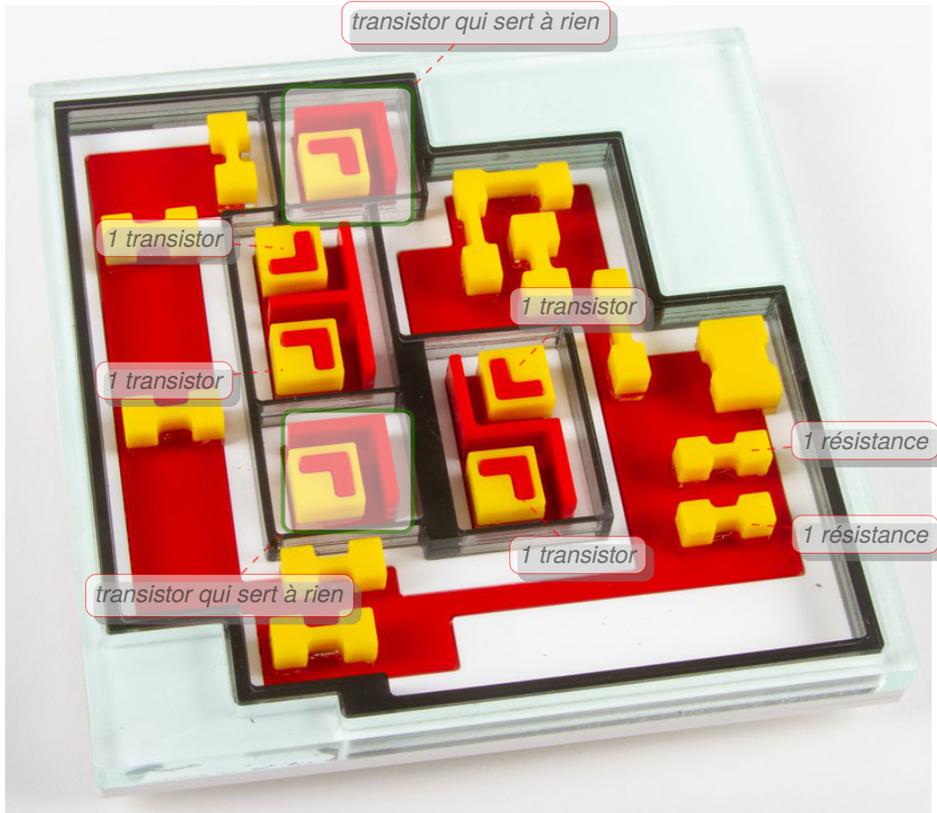


Les Résistances :



*Deux transistors ne servent à rien.*





Les Transistors :



Les Résistances :



On retrouve chaque transistor et résistance du circuit. Certains transistors ne servent à rien : ils ont été gravés/déposé mais ne sont pas connectés par la couche conductrice.



# Exemple le processeur 8bits 6502



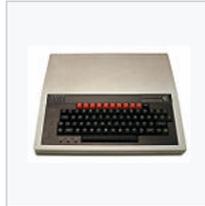
- ❑ processeur développé par Chuck Peddle pour la société MOS Technology ;
- ❑ introduit en 1975 ;
- ❑ très populaire :



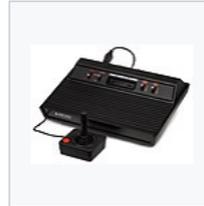
Apple IIe



Commodore PET



BBC Micro



Atari 2600



Atari 800



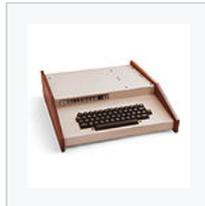
Commodore VIC-20



Commodore 64



Family Computer



Ohio Scientific  
Challenger 4P



Tamagotchi digital pet<sup>[53]</sup>

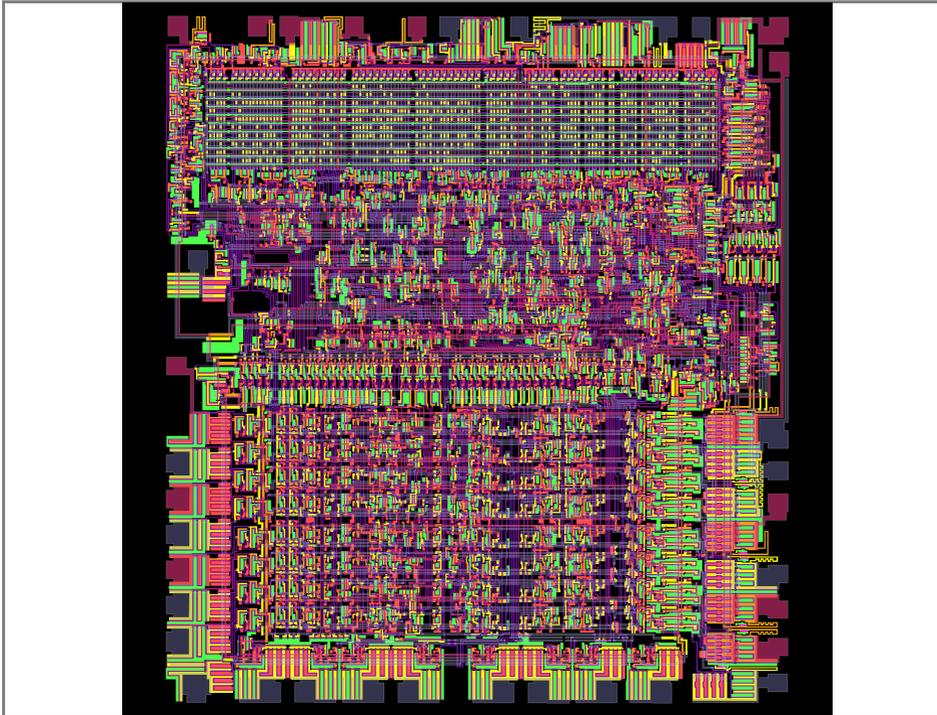


Atari Lynx

- ❑ toujours en vente et utilisé dans les **systèmes embarqués** ;
- ❑ processeur 8bits, avec un bus d'adresse sur 16bits et «*little-endian*», cadencé de 1 à 2 MHz



[FAQ](#) [Blog](#) [Links](#) [Source](#) [easy6502 assembler](#) [mass:werk disassembler](#)



```
halfcyc:372 phi0:0 AB:0015 D:69 RnW:1
PC:0015 A:12 X:07 Y:fb SP:fb nv-BdIzc
Hz: 3.3 Exec: SEC(T0+T2)

0000: a9 00 20 10 00 4c 02 00 00 00 00 0
0010: e8 88 e6 0f 38 69 02 60 00 00 00 0
0020: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
0030: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
0040: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
0050: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
0060: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
0070: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
0080: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
0090: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
00a0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
00b0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
00c0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
00d0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
00e0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
00f0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
0100: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
0110: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
0120: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
0130: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
0140: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
0150: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
0160: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
0170: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
0180: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
0190: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
01a0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
01b0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
01c0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
```

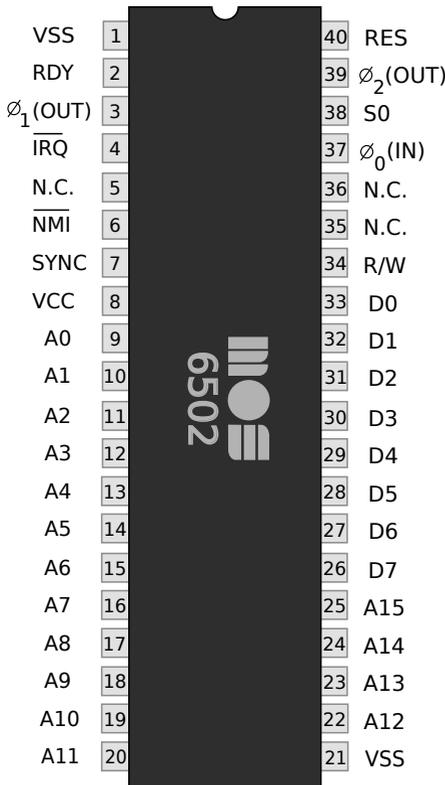
@AABBCCDDEEFFG

Use 'z' or '>' to zoom in, 'x' or '<' to zoom out, click to probe signals and drag to pan.  
Show:  (diffusion)  (grounded diffusion)  (powered diffusion)  (polysilicon)  (metal)  (protection)  
Find:    Animate during simulation:  
 [Link to this location](#)

cycle ab db rw Fetch pc a x y s p

<http://www.visual6502.org/JSSim/expert.html>





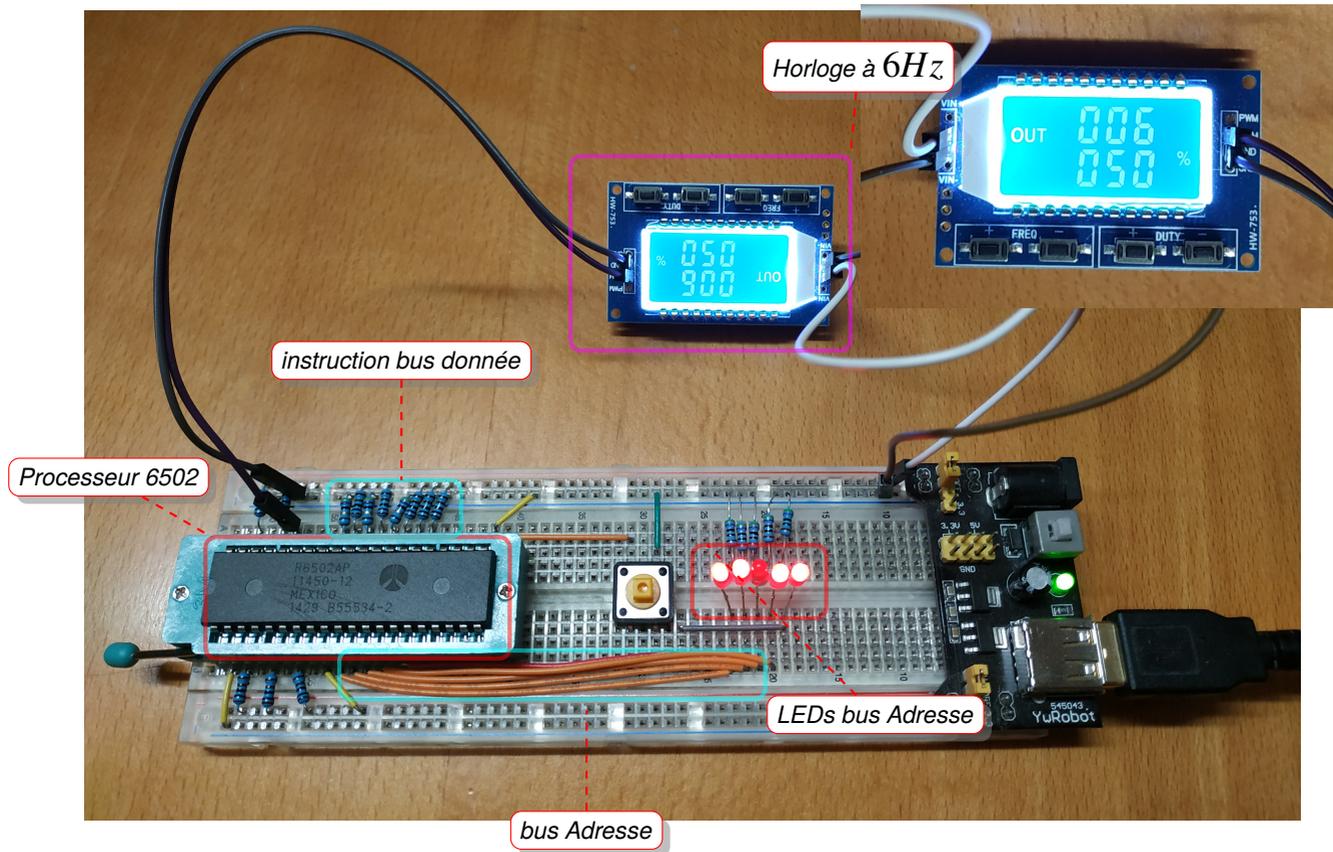
▷ Accès à la mémoire :

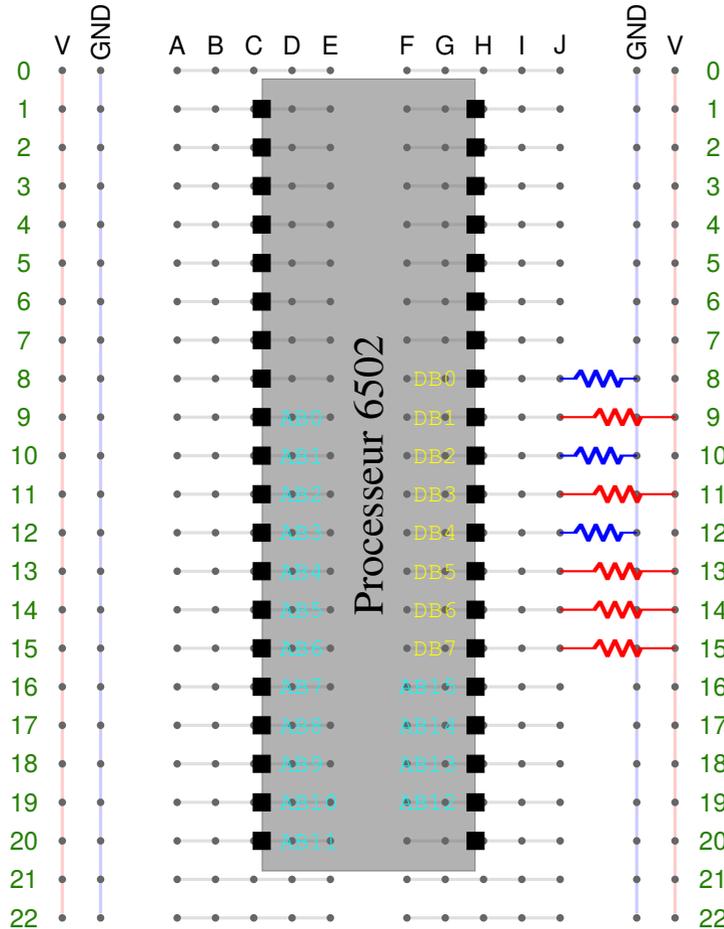
- $A_0, \dots, A_{15}$  : 16 bits d'adresse ;
- $D_0, \dots, D_7$  : 8 bits de données ;
- $R/W$  : indique si c'est une opération de lecture ou d'écriture ;

▷ Interactions avec l'extérieur :

- $Sync$  : signal d'horloge : rythme le travail du processeur ;
- $NMI$  : «*Non Maskable Interruption*» : signal d'interruption ;
- $RES$  : «*reset*», réinitialise l'état du processeur et, si maintenue, le bloque ;







⇒ 11101010 de DB7 à DB0  
 ce qui donne en hexa  $\{1110\}_2\{1010\}_2 = \{E\}_{16}\{A\}_{16}$

EA en instruction 6052 ⇒ NOP pour «No Operation»  
 Ce qui veut dire que le processeur ne fait rien  
 Il passe seulement à l'instruction suivante  
 ⇒ il incrémente le CO, «Compteur ordinal», ou «instruction counter»  
 ⇒ l'adresse est incrémentée sur le bus d'adresse AB0 à AB15

# Additionner deux nombres en assembleur 6502

## Sur 8bits



Le programme assembleur :

```
LDA adresse1 ; charge le nombre stocké à l'adresse 1 dans l'accumulateur
ADC adresse2 ; additionne le nombre stocké à l'adresse 2 à l'accumulateur
STA adresse3 ; stocke le contenu de l'accumulateur à l'adresse 3
RTS ; retourne
```

Les mnémoniques :

```
AD adresse1
6D adresse2
8D adresse3
60
```

## Sur 16bits

Le premier nombre sur deux octets 

W	W1
---	----

Le second nombre sur deux octets 

X	X1
---	----

**Attention :** on est en «*Little Endian*»,  
c-à-d avec inversion des octets de la valeur sur 16bits.

	octets		
	1 <sup>er</sup>	2 <sup>nd</sup>	
Premier nombre	307	51	1 car 307=1*256+51
Second nombre	764	252	2 car 764=2*256+252

Le programme assembleur :

```
CLC
LDA adresse W
ADC adresse X
STA adresse Y
LDA adresse W1
ADC adresse X1
STA adresse Y1
LDA #&0
ADC #&0
STA adresse Z
RTS
```

Les mnémoniques :

```
18
AD adresse W
6D adresse X
8D adresse Y
AD adresse W1
6D adresse X1
8D adresse Y1
A9 00
69 00
8D adresse Z
60
```

⇒ on utilise le bit de retenu...



## Application d'un xor d'un texte avec un mot de passe

Le programme calcule  $saisie_i \oplus mdp_i$  pour chaque caractère  $i$  de *saisie* et de *mdp*.

```

1 define sortie $200 ; on définit l'adresse de sortie à 0200
2
3 LDA saisie ; on lit la taille de la chaîne saisie
4 STA sortie ; on la reporte dans la chaîne de sortie
5 ADC #$1 ; on incrémente la valeur pour la comparaison utilisée pour arrêter la boucle
6 STA $0 ; on la stocke dans la page zéro
7 LDA mdp ; on lit la taille de la chaîne mdp
8 ADC #$1 ; on incrémente la valeur utilisée pour réinitialiser l'utilisation du mdp
9 STA $1 ; on la stocke dans la page zéro
10
11 LDX #$1 ; on charge la valeur 1 dans le registre X
12 LDY #$1 ; on charge la valeur 1 dans le registre Y
13
14 boucle: ; on définit une étiquette
15 LDA saisie,X ; on charge dans l'accumulateur la valeur à l'adresse saisie+X
16 EOR mdp,Y ; on réalise un xor entre le registre A et la valeur à l'adresse mdp+Y
17 STA sortie,X ; on stocke le résultat à l'adresse sortie+X
18 INX ; on incrémente la valeur contenu dans le registre X
19 CPX $0 ; on compare la valeur de la taille de la chaîne saisie
20 BEQ fin ; si elle est identique, on a fini et on mets l'adresse fin dans le registre PC
21 INY ; on incrémente la valeur contenue dans le registre Y
22 CPY $1 ; on compare avec la valeur de la taille de la chaîne mdp
23 BNE boucle ; si elle n'est pas égale on recommence la boucle en sautant à l'adresse boucle
24 LDY #$1 ; sinon on réinitialise le registre Y à 1
25 JMP boucle ; et on effectue un saut à l'adresse boucle
26 fin: ; étiquette
27 BRK ; instruction d'arrêt
28
29 saisie:
30 dcb 5,$68,$65,$6c,$6c,$6f ;hello
31 mdp:
32 dcb $9,$74,$6f,$70,$73,$65,$63,$72,$65,$74;topsecret
    
```



Address	Hexdump	Dissasembly
\$0600	ad 2e 06	LDA \$062e
\$0603	8d 00 02	STA \$0200
\$0606	69 01	ADC #\$01
\$0608	85 00	STA \$00
\$060a	ad 3c 06	LDA \$063c
\$060d	69 01	ADC #\$01
\$060f	85 01	STA \$01
\$0611	a2 01	LDX #\$01
\$0613	a0 01	LDY #\$01
\$0615	bd 2e 06	LDA \$062e, X
\$0618	59 3c 06	EOR \$063c, Y
\$061b	9d 00 02	STA \$0200, X
\$061e	e8	INX
\$061f	e4 00	CPX \$00
\$0621	f0 0a	BEQ \$062d
\$0623	c8	INY
\$0624	c4 01	CPY \$01
\$0626	d0 ed	BNE \$0615
\$0628	a0 01	LDY #\$01
\$062a	4c 15 06	JMP \$0615
\$062d	00	BRK
\$062e	0d 68 65	ORA \$6568
\$0631	6c 6c 6f	JMP (\$6f6c)
\$0634	20 62 6f	JSR \$6f62
\$0637	6e 6a 6f	ROR \$6f6a
\$063a	75 42	ADC \$42, X
\$063c	09 74	ORA #\$74
\$063e	6f	???
\$063f	70 73	BVS \$06b4
\$0641	65 63	ADC \$63
\$0643	72	???
\$0644	65 74	ADC \$74

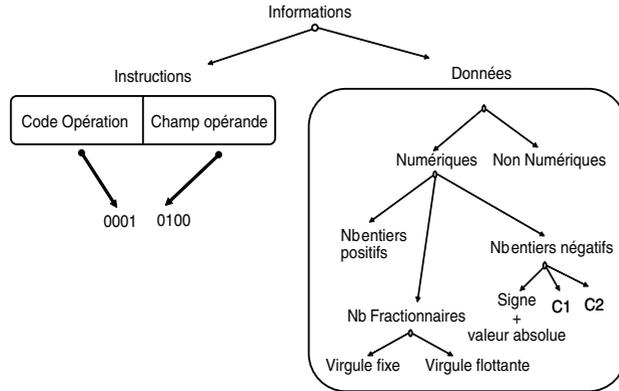
0600:	ad 2e 06 8d 00 02 69 01 85 00 ad 3c 06 69 01 85
0610:	01 a2 01 a0 01 bd 2e 06 59 3c 06 9d 00 02 e8 e4
0620:	00 f0 0a c8 c4 01 d0 ed a0 01 4c 15 06 00 0d 68
0630:	65 6c 6c 6f 20 62 6f 6e 6a 6f 75 72 09 74 6f 70
0640:	73 65 63 72 65 74

On note que :

\$062e	adresse de la chaîne saisie
\$063c	adresse de la chaîne mdp
\$062d	adresse de l'instruction brk
\$062e	le désassembleur trouve des instructions dans le contenu de la chaîne saisie ⇒ Interprétation automatique erronée
\$063e	Interprétation automatique impossible,
\$0643	il n'y a pas d'instruction reconnue



Les différentes natures d'information :



- données et instructions sont codées sur un ou plusieurs mots mémoires ;
- instructions machine :
  - ◇ propre à chaque processeur ;
  - ◇ «code opération» : sélectionne l'instruction machine, sa taille dépend du «jeu d'instructions» du processeur ;
  - ◇ «champ opérande» : indique l'adresse ou la donnée que manipule l'instruction

Bit                    0   1                    Alphabet binaire

x	2 combinaisons	0	1
xx	4 combinaisons	0 0	0 1
		1 0	1 1
xxx	8 combinaisons	0 0 0	0 0 1
		0 0 1	0 1 0
		0 1 1	1 0 0
		1 0 0	1 0 1
		1 0 1	1 1 0
		1 1 1	1 1 1

n	2 <sup>n</sup>
0	1
1	2
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128
8	256
9	512
10	1024

n bits donnent 2<sup>n</sup> combinaisons différentes

Le codage binaire :

Informations

↓

Données

↓

Nb entiers positifs

Octet    01100101

Position du bit    →    7 6 5 4 3 2 1 0

0 1 1 0 0 1 0 1

Valeur de l'octet :

$0 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$

Soit 101 en base 10

La valeur maximale d'un entier sur p bits est 2<sup>p</sup> - 1



La table «ASCII», «American Standard Code for Information Interchange» a été définie en 1960.

\* comporte :

- ◇ sur 7 bits : US-ASCII ;
- ◇ des caractères de contrôle : valeur de 0 à 31, contrôle réseau et impression ;
- ◇ des caractères alphabétiques, numériques et ponctuation : valeur de 32 à 127 ;

					0	0	0	0	1	1	1	1
					0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	NUL	DLE	SP	0	@	P	.	p
0	0	0	1	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0	0	1	0	2	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0	0	1	1	3	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0	1	0	0	4	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0	1	0	1	5	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0	1	1	0	6	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0	1	1	1	7	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1	0	0	0	8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1	0	0	1	9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1	0	1	0	10	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1	0	1	1	11	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1	1	0	0	12	FF	FC	,	<	L	\	l	
1	1	0	1	13	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1	1	1	0	14	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1	1	1	1	15	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

\* étendue sur 8 bits :

- ◇ caractères accentués de 128 à 255 ;

128 Ç	144 È	160 é	176 ÷	192 Ì	208 Ì	224 à	240 ù
129 ù	145 é	161 ì	177 ÷	193 Ì	209 Ì	225 à	241 ù
130 é	146 Æ	162 ó	178 ÷	194 Ì	210 Ì	226 Ì	242 ù
131 ä	147 ö	163 ú	179 ÷	195 Ì	211 Ì	227 Ì	243 ù
132 ä	148 ö	164 ñ	180 ÷	196 Ì	212 Ì	228 Ì	244 ù
133 ä	149 ò	165 ñ	181 ÷	197 Ì	213 Ì	229 Ì	245 ù
134 ä	150 ù	166 *	182 ÷	198 Ì	214 Ì	230 Ì	246 ù
135 ç	151 ù	167 °	183 ÷	199 Ì	215 Ì	231 Ì	247 ù
136 è	152 ý	168 ÷	184 ÷	200 Ì	216 Ì	232 Ì	248 ù
137 é	153 Ö	169 ÷	185 ÷	201 Ì	217 Ì	233 Ì	249 ù
138 è	154 Ü	170 ÷	186 ÷	202 Ì	218 Ì	234 Ì	250 ù
139 ì	155 °	171 ½	187 ÷	203 Ì	219 Ì	235 Ì	251 ù
140 ì	156 é	172 ¼	188 ÷	204 Ì	220 Ì	236 Ì	252 ù
141 ì	157 ÷	173 ÷	189 ÷	205 Ì	221 Ì	237 Ì	253 ù
142 Ä	158 ÷	174 «	190 ÷	206 Ì	222 Ì	238 Ì	254 ù
143 Ä	159 ÷	175 »	191 ÷	207 Ì	223 Ì	239 Ì	255 ù

Source : [www.LookupTables.com](http://www.LookupTables.com)



Soit le programme suivant et le résultat de son exécution :

```
#include <stdio.h>

int main()
{
    char caractere = 'A';
    short int valeur_16_bit = 513;
    ❶ char *un_octet = (char *) &valeur_16_bit;
    char valeur_signee = 213;
    unsigned char valeur_non_signee = 213;
    printf("Variable caractere\n");
    printf("  sous forme de caractere : %c\n",caractere);
    printf("  de valeur hexadecimale : %x\n",caractere);
    printf("  de valeur decimale : %d\n",caractere);
    printf("Variable valeur_16_bit\n");
    printf("  elle tient sur %ld octets\n",sizeof(short int));
    printf("  sous forme decimale : %d\n", valeur_16_bit);
    printf("  sous forme hexadecimale : %x\n", valeur_16_bit);
    ❷ printf("  Premier octet de la variable valeur_16_bit\n");
    printf("    sous forme decimale : %d\n", *un_octet);
    printf("    sous forme hexadecimale : %x\n", *un_octet);
    ❸ printf("  Second octet de la variable valeur_16_bit\n");
    printf("    sous forme decimale : %d\n", *(un_octet+1));
    printf("    sous forme hexadecimale : %x\n", *(un_octet+1));
    printf("  BigEndian ou LittleEndian ?\n");
    printf("Variable valeur_signee en entier : %d\n",valeur_signee);
    printf("Variable valeur_non_signee en entier : %d\n",valeur_non_signee);
    printf("  signee %x et non signee %x\n", valeur_signee, valeur_non_si
gne);
}
```

```

xterm
pef@darkstar:~/tmp$
gcc -o tester_format
res_sys_format.c
pef@darkstar:~/tmp$
./tester_format
Variable caractere
  sous forme de caractere : A
  de valeur hexadecimale : 41
  de valeur decimale : 65
Variable valeur_16_bit
  elle tient sur 2 octets
  sous forme decimale : 513
  sous forme hexadecimale : 201
  Premier octet de la variable
  valeur_16_bit
    sous forme decimale : 1
    sous forme hexadecimale : 1
  Second octet de la variable
  valeur_16_bit
    sous forme decimale : 2
    sous forme hexadecimale : 2
  BigEndian ou LittleEndian ?
Variable valeur_signee en
entier : -43
Variable valeur_non_signee en
entier : 213
  signee ffffffff et non signee
d5

```

Quelle est la taille par défaut d'un `int` ?  
 4 octets d'après le dernier affichage  
 ffffffff

- ❶ ⇒ crée un pointeur d'octet et le faire pointer sur le premier octet de l'entier qui en compte deux ;
- ❷ ⇒ affiche la valeur pointée, c-à-d la valeur du premier octet ;
- ❸ ⇒ affiche celle du second octet en utilisant «l'arithmétique des pointeurs» : décalage de l'adresse de une fois la taille du type pointé, c-à-d, ici, de un octet (type du pointeur `char *`).



## L'octet

La valeur 70 représentée en binaire  $\Rightarrow$

0	1	0	0	0	1	1	0
128	64	32	16	8	4	2	1

Cet octet peut ensuite être associé avec un caractère au travers de la table «ASCII» ou du codage UTF-8.

## Les entiers relatifs

Suivant la taille de la représentation machine :

- on associe le bit de «poids fort», c-à-d associé à la puissance de 2 la plus grande, au signe ;
- on choisit un codage facilitant l'arithmétique binaire ;
- on peut représenter des valeurs comprises entre  $-2^{nbre.bits-1}$  et  $2^{nbre.bits-1} - 1$

Exemple sur une représentation suivant une taille de 8bits,  $nbre\_bits = 8$  :

0	1	0	0	0	1	1	0	= 70
0	1	1	1	1	1	1	1	= 127
0	0	0	0	0	0	1	0	= 2
0	0	0	0	0	0	0	1	= 1
0	0	0	0	0	0	0	0	= 0
1	1	1	1	1	1	1	1	= -1
1	1	1	1	1	1	1	0	= -2
-128	64	32	16	8	4	2	1	

- \* on ne code qu'une seule fois la valeur 0 :  
*il n'y a pas +0 et -0*
- \* les opérations arithmétiques sont simplifiées :  
 $3 - 4 = 3 + (-128 + 124) = -128 + 127 = -1$

0	0	0	0	0	0	1	1	3
1	1	1	1	1	1	0	0	-4
1	1	1	1	1	1	1	1	-1

La conversion d'un entier négatif en sa représentation correspond à inverser les bits de sa valeur absolue et d'ajouter 1 au résultat ou à représenter  $2^{nbre.bits} - |x|$ . Cette opération s'appelle «complément à  $2^n$ ».



## Réels

Un réel est manipulé par la machine sous une forme approchée appelée «nombre à virgule flottante» ou «*float*» constitué de :

- ▷ un signe ;
- ▷ une mantisse, c-à-d un nombre fixe de bits significatifs ;
- ▷ un exposant suivant une base 2, 10 ou 16 (hexadécimal) ;

Exemple :

- \* en base 10 : 13,625 ou  $13625 * 10^{-3}$ , la mantisse est 13625 ;
- \* en base 2 :

Puissance de 2	3	2	1	0	,	-1	-2	-3
valeur	8	4	2	1	,	0,5	0,25	0,125
bit	1	1	0	1	,	1	0	1

$$\begin{aligned}1101,101_2 &= 1 * 2^3 + 1 * 2^2 + 0 * 2^1 + 1 * 2^0 + 1 * 2^{-1} + 0 * 2^{-2} + 1 * 2^{-3} \\ &= 1 * 8 + 1 * 4 + 0 * 2 + 1 * 1 + 1 * 0,5 + 0 * 0,25 + 1 * 0,125 \\ &= 8 + 4 + 0 + 1 + 0,5 + 0 + 0,125 \\ &= 13,625_{10}\end{aligned}$$

Ce qui donne  $1101101 * 2^{-3}$ , la mantisse est 1101101.



```
xterm
>>> float.hex(1.72)
'0x1.b851eb851eb85p+0'

>>> float.hex(0.3)
'0x1.333333333333333p-2'

>>> float.hex(0.1)
'0x1.999999999999999ap-4'
```

Sous Python :

- ▷ `float.hex()` : donne la représentation hexadécimal du nombre à virgule ;
- ▷ `float.fromhex()` : retrouve le nombre à virgule à partir de sa représentation hexadécimale.

D'après l'exemple de la doc Python :

`0x3.a7p10` est égal à  $(3 + 10./16 + 7./16**2) * 2.0**10$ , soit la valeur `3740.0`

Où en notation humaine :

$$(3 + 10 * \frac{1}{16} + 7 * \frac{1}{16^2}) * 2^{10} = (3 + 10 * \frac{1}{16} + 7 * \frac{1}{16^2}) * 2^4 * 2^4 * 2^2 = (3 + 10 * \frac{1}{16} + 7 * \frac{1}{16^2}) * 16 * 16 * 4 = (3 * 16 + 10 + 7 * \frac{1}{16}) * 16 * 4 = (3 * 16 * 16 + 10 * 16 + 7) * 4 = (768 + 160 + 7) * 4 = 3740$$

On notera que `0.1` est égale à :

$$(1 + 9 * \frac{1}{16} + 9 * \frac{1}{16^2} + 9 * \frac{1}{16^3} + \dots 9 * \frac{1}{16^{12}} + 10 * \frac{1}{16^{13}}) * 2^{-4}$$

Ce qui conduit à une approximation de cette valeur :

`0,1000000000000000055511151231257827021181583404541015625`



- on associe un bit pour exprimer si le nombre est positif ou négatif : le bit de « poids fort » situé à gauche ;
- on fixe le nombre de bits alloués à la représentation de l'exposant :
  - ◇ on simplifie le codage de cet exposant, en exprimant différemment son signe :
    - \* on décide de ne pas exprimer le signe par l'utilisation d'un bit, mais en le déduisant par une opération de « décalage » :  $exposant\_décalé = exposant + décalage$   
*Ainsi, pour un exposant variant de +100 à -100, si on choisit un décalage de 100, la valeur de l'exposant décalé ira de 0 à 200 .*
    - \* on calcule l'espace de valeurs possibles suivant le nombre fixe de bits associés à l'exposant ;  
Exemple pour un exposant sur 8 bits :  $2^{nombre\_bits\_exposant} = 256$
    - \* on choisit une valeur particulière de cet espace,  $2^{nombre\_bits\_exposant} - 1$ , pour exprimer :
      - ▷ la valeur infini :  $\infty$  avec une mantisse nulle ;
      - ▷ une valeur d'erreur : *NaN*, «not a number» avec une mantisse non nulle ;
    - \* on utilise la valeur zéro de l'exposant pour exprimer :
      - ▷ le nombre 0 : exposant et mantisse nuls ;
      - ▷ des nombres «dénormaux» : exposant nul mais mantisse non nulle ;
    - \* on divise cet espace de valeurs en deux pour exprimer au choix, un exposant positif ou négatif ;  
Exemple pour un exposant sur 8 bits :  $2^{nombre\_bits\_exposant-1} = 128$
    - \* on détermine la valeur du décalage compte tenu de la taille de l'espace de valeurs restant :  
 $décalage = 2^{nombre\_bits\_exposant-1} - 1$   
Exemple pour un exposant sur 8 bits :  $décalage = 2^7 - 1 = 127$   
l'exposant peut varier alors de :
      - ▷ +127, ce qui donne  $exposant\_décalé = 127 + 127 = 254$  la valeur maximale possible ;
      - ▷ à -126, ce qui donne  $exposant\_décalé = -126 + 127 = 1$  la valeur minimale possible ;



## La norme IEEE754 facilite le traitement par un ordinateur

Les comparaisons entre deux nombres à virgule flottante est facilité : elle est similaire, dans la plupart des cas, à celle réalisée sur des entiers.

## Représentation des valeurs et stockage de la mantisse

Les nombres représentés suivant cette norme doivent obligatoire avoir un bit à 1 au début de leur représentation :

$$0,00101_2 = 1,01_2 * 2^{-3}$$

Ce qui permet :

- de «supprimer» du stockage ce premier bit à 1 (il devient implicite) ;
- d'augmenter de 1 bit la capacité de représentation.

## Calcul de la capacité de représentation numérique

La valeur est calculée suivant la formule suivante :

$$(-1)^{bit\_signe} * mantisse * 2^{exposant-décalage}$$

On distingue deux «précisions» différentes pour un codage sur 32 bits ou 64 bits :

▷ simple précision :

- ◊ valeur la plus proche de zéro :  $\pm 2^{-126} \cong \pm 1,175494351 * 10^{-38}$
- ◊ valeur la plus éloignée de zéro :  $\pm (2 - 2^{23}) * 2^{127} \cong 3,4028235 * 10^{38}$

▷ double précision :

- ◊ valeur la plus proche de zéro :  $\pm 2^{1022} \cong \pm 2,2250738585072020 * 10^{-308}$
- ◊ valeur la plus éloignée de zéro :  $\pm (2^{-1024} - 2^{971}) \cong \pm 1,7976931348623157 * 10^{308}$

	Encodage	Signe	Exposant	Mantisse	Valeur d'un nombre	Précision	Chiffres significatifs
Simple précision	32 bits	1 bit	8 bits	23 bits	$(-1)^{bit\_signe} * mantisse * 2^{exposant-127}$	24 bits	7
Double précision	64 bits	1 bit	11 bits	52 bits	$(-1)^{bit\_signe} * mantisse * 2^{exposant-1023}$	53 bits	16



## Les nombres «dénomarmisés»

Les nombres en représensation «dénomarmisés» :

- permettent d'exprimer des valeurs plus petites que celles exprimables dans la représentation normalisée ;
- ne disposent pas de «bit implicite» à 1 en début de la représentation contrairement à la version normalisée ;
- ne possèdent pas autant de chiffres significatifs que la représentation normalisé ;
- permettent une perte graduelle de précision quand les résultats de calculs sont trop proches de zéro pour être représentés par la version normalisée.

L'exposant de ces nombres est à zéro ce qui donne un exposant de  $-126$  en simple précision et de  $-1022$  en double précision.

Ce qui donne :

- ▷ en simple précision, plus petit nombre différent de zéro et plus grand nombre négatif différent de zéro :  $\pm 2^{-1074} \cong \pm 2^{-149} \cong \pm 1,4012985 * 10^{-45}$  ;
- ▷ en double précision, plus petit nombre différent de zéro et plus grand nombre négatif différent de zéro :  $\pm 2^{-1074} \cong \pm 4,9406564584124654 * 10^{-324}$  ;

## Les valeurs $\infty$ et NaN

$x \div 0 = \pm\infty$
$0 \div 0 = NaN$
$x \div \infty = \pm 0$
$\infty \div \infty = NaN$
$(+\infty) + (+\infty) = +\infty$
$(+\infty) - (+\infty) = NaN$



## La capacité des valeurs numériques

Les valeurs entières ne sont pas limitées en dimension.

Calcul de la clé du numéro de sécurité sociale sur 13 chiffres :

```
In [17]: numero_secu=1700187001001
```

```
In [18]: 97-(numero_secu%97)
```

```
Out[18]: 73
```

Les nombres à virgule flottante sont limités suivant la «taille des mots» processeur :

- ▷ pour 32 bits la limite est  $\pm 3.4 * 10^{38}$  ;
- ▷ pour 64 bits la limite est  $\pm 1.8 * 10^{308}$  :

```
In [12]: 9*1.8E307
```

```
Out[12]: 1.62e+308
```

```
In [13]: 10*1.8E307
```

```
Out[13]: inf
```

## Les règles d'associativité et de commutativité

Soit l'équation: 
$$\frac{(x-x+y)}{y} = \frac{((x-x)+y)}{y} = \frac{(x-(x+y))}{y}$$

Calcul sous Python :

▷ Pour des valeurs  $x$  et  $y$  proches :

```
>>> x=10000000.0
>>> y=9999999.0
>>> print ((x-x)+y)/y
1.0
>>> print ((x+(y-x))/y)
1.0
```

▷ Pour des valeurs  $x$  et  $y$  éloignées :

```
>>> x=10000000000000.0
>>> y=0.000000000001
>>> print ((x-x)+y)/y
1.0
>>> print ((x+(y-x))/y)
0.0
```



## Erreur de calcul :

```
In [106]:
v=-1.0
for i in range(0,201):
    print (math.acos(v))
    v = v + 0.1
```

```
-----
ValueError      Traceback (most recent call last)
<ipython-input-106-e13af1a75e60> in <module>()
      1 v=-1.0
      2 for i in range(0,201):
----> 3     print acos(v)
      4     v = v + 0.1
```

ValueError: math domain error

```
3.14159265359
2.69056584179
...
0.643501108793
0.451026811796
2.10734242554e-08
```

## Une autre version :

```
v = -100
for i in range(0,201) :
    print (math.acos(v/100.0))
    v = v + 1
```

## Pourquoi ?

```
In [3]: format(0.01, '.30f')
Out[3]: '0.01000000000000000000208166817117'
```

```
In [4]: sum([0.01]*100)
Out[4]: 1.0000000000000007
```

```
In [5]: round(1.0000000000000007, 13)
Out[5]: 1.0
```

```
In [9]: float.hex(0.1)
Out[9]: '0x1.9999999999999ap-4'
```

## Explications :

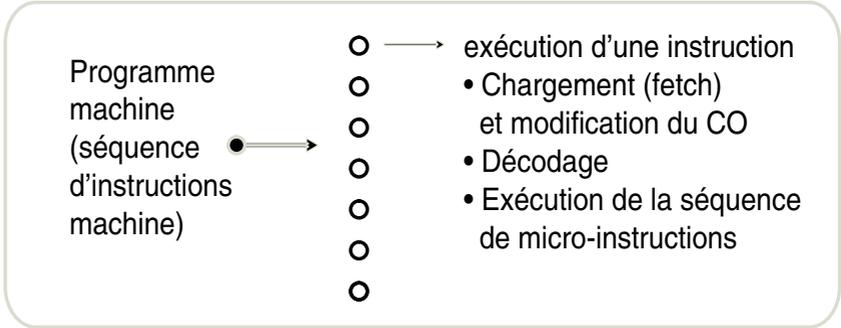
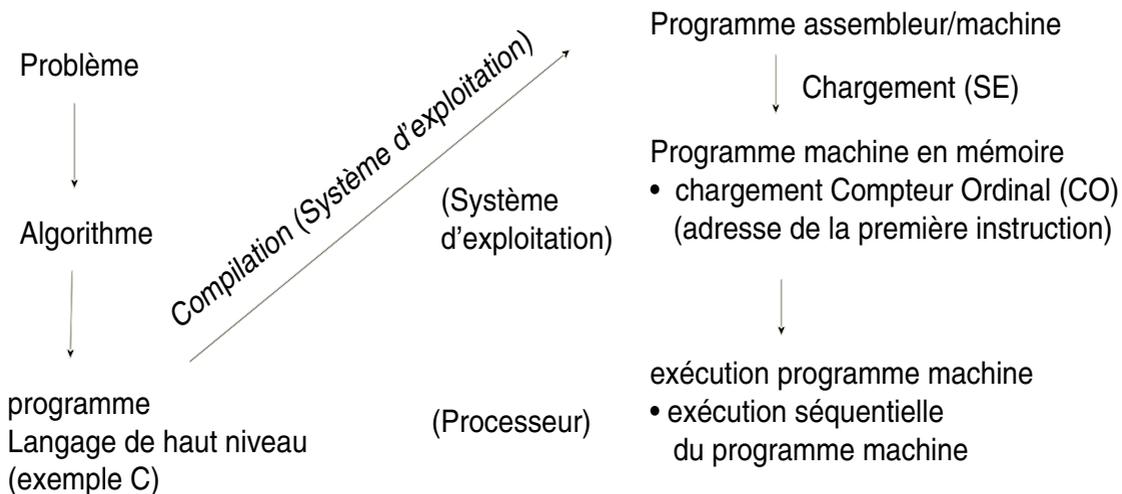
- \* «0x1.9999999999999ap-4» est un nombre flottant normalisé en double précision exprimé en hexadécimal ;
- \* «0x» : indique la notation hexadécimale ;
- \* «1.» : correspond au bit implicite ;
- \* «99 99 99 99 99 99 a» : la mantisse sur 52 bits ;
- \* «p-4» : correspond à l'exposant  $2^{-4}$

En binaire, cela donne :

1.1001100110011001100110011001100110011001100110011001100110011001101 \*  $2^{-4}$

```
In [3]: from decimal import Decimal
In [4]: Decimal(0.1)
Out[4]: Decimal('0.100000000000000005551115123...')
```



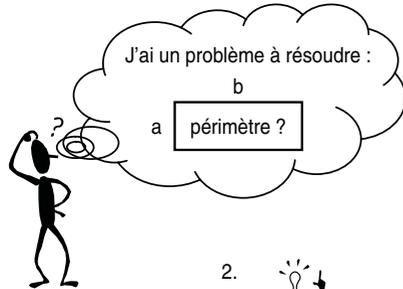


Un des rôles du Système d'Exploitation, ou «OS», «operating system» est de chargé le programme dans la machine.



- le problème est exprimé dans un langage de «haut niveau», tel que C, Java, Python *etc.*
- un compilateur traduit le «source» du langage de haut niveau choisi, en programme en langage d'assemblage ;
- ce langage d'assemblage est traduit en assembleur correspondant au programme exécutable par la machine.

1.



2.

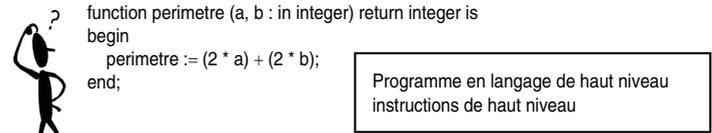


J'écris une solution !  
ALGORITHME  
Périmètre = 2 a + 2 b

3. En utilisant un langage de programmation, je code la solution pour la faire exécuter par l'ordinateur

PROGRAMME constitué d'instructions

```
function perimetre (a, b : in integer) return integer is
begin
  perimetre := (2 * a) + (2 * b);
end;
```



COMPILATEUR

```
perimetre : pop Rg1 R1
            pop Rg1 R2
            mul Im R1 R2
            mul Im R2 2
            add Rg2 R1 R2
            push Rg1 R1
            ret
```

Programme en langage d'assemblage :  
Instructions composées de Mnémoniques

ASSEMBLEUR

MÉMOIRE

```
01101110111110011
01111010001011100
10111101110111111
00111011110111011
00111111000111101
```

Programme à exécuter :  
instructions machine et valeurs en binaire

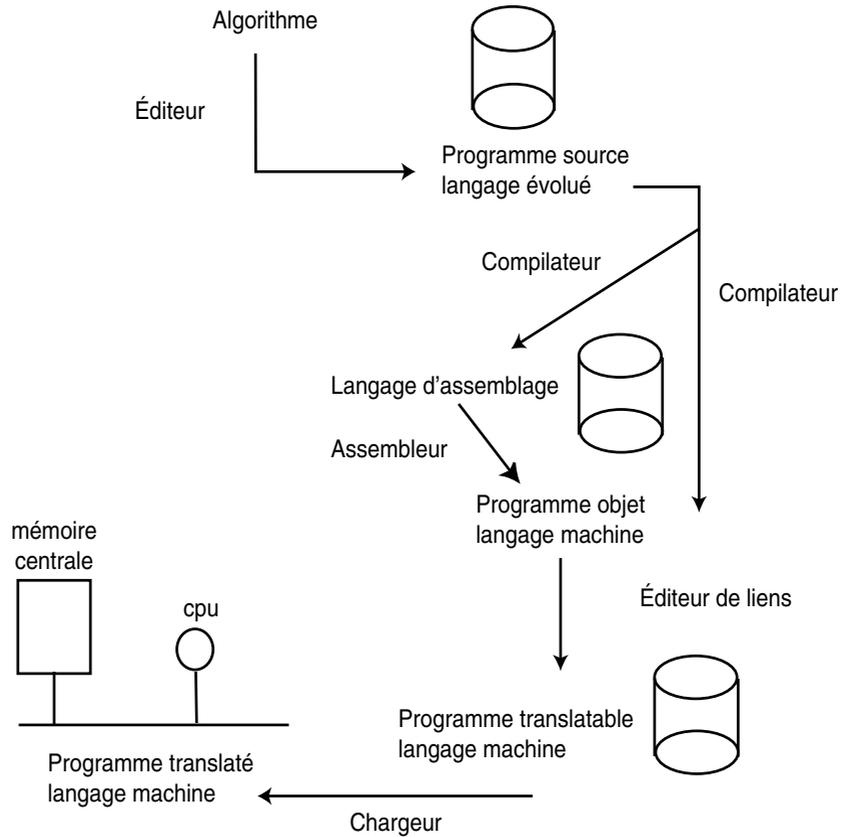


BUS

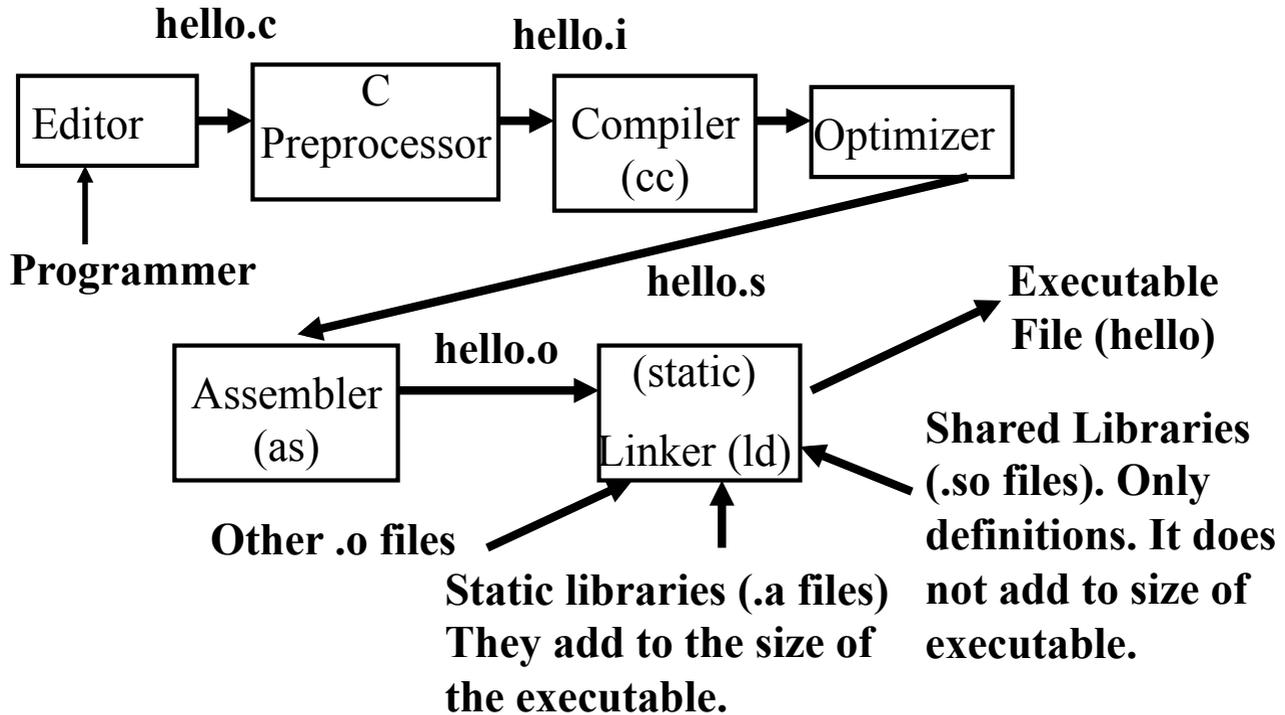
Traduction

Les «mnémoniques» sont des appellations mémorisables par un humain, correspondant aux instructions machine.





## Les différentes étapes et les différents outils



**Exemple****Le programme suivant :**

```
1 #include <stdio.h>
2 main()
3 {
4     printf("Hello\n");
5 }
```

**Donne après le travail du préprocesseur :**

```
1 $ gcc -E hello.c > hello.i
2      (-E stops compiler after running preprocessor)
3 hello.i:
4      /* Expanded /usr/include/stdio.h */
5 typedef void *__va_list;
6 typedef struct __FILE __FILE;
7 typedef int     ssize_t;
8 struct FILE {...};
9 extern int fprintf(FILE *, const char *, ...);
10 extern int fscanf(FILE *, const char *, ...);
11 extern int printf(const char *, ...);
12 /* and more */
13 main()
14 {
15     printf("Hello\n");
16 }
```

*Le préprocesseur rajoute le contenu des fichiers d'en-tête indiqués dans les directives de compilation «#include» :*

- `#include <...>` : indique qu'il faut rechercher le fichier dans ceux du système, par exemple dans le répertoire `/usr/include`
- `#include "..."` : indique de rechercher le fichier dans le répertoire courant.



```

1 $ gcc -S hello.c      (-S stops compiler after assem
  bling)
2 hello.s:
3   .file "hello.c"
4   .section .rodata
5 .LC0:
6   .string "Hello"
7   .text
8   .globl main
9   .type main, @function
10 main:
11 .LFB0:
12   .cfi_startproc
13   pushl   %ebp
14   .cfi_def_cfa_offset 8
15   .cfi_offset 5, -8
16   movl   %esp, %ebp
17   .cfi_def_cfa_register 5
18   andl   $-16, %esp
19   subl   $16, %esp
20   movl   $.LC0, (%esp)
21   call   puts
22   leave
23   .cfi_restore 5
24   .cfi_def_cfa 4, 4
25   ret
26   .cfi_endproc
28 .LFE0:
29   .size   main, .-main
30   .ident  "GCC: (Ubuntu/Linaro 4.6.3-1ubuntu5) "
31   .section .note.GNU-stack,"",@progbits

```

*On accède au langage d'assemblage généré par le compilateur.*



- `gcc -c hello.c` crée un «objet», `hello.o`, c-à-d un fichier contenant les instructions exécutables directement par le processeur;
- l'objet `hello.o` possède des «symboles», c-à-d des références vers des fonctions, indéfinis comme l'appel à la fonction `printf`;
- la fonction principale, «`main`», possède une valeur relative à l'objet qui la contient, «`hello.o`»

La commande «`nm`» permet d'afficher les symboles définies dans l'objet :

```
xterm
$ nm hello.o
00000000 T main
          U puts
```

Où l'on constate qu'un PC est «Little endian» :

```
xterm
$ readelf -h hello.o
ELF Header:
  Magic:   7f 45 4c 46 01 01 01 00 00 00 00 00 00 00 00
  Class:                               ELF32
  Data:                                   2's complement, little endian
  Version:                               1 (current)
  OS/ABI:                                UNIX - System V
  ABI Version:                           0
  Type:                                   REL (Relocatable file)
  Machine:                               Intel 80386
```



- gcc -o hello hello.c crée l'exécutable «hello»;
- printf ne possède pas de valeur tant que le programme n'est pas chargé en mémoire (devenu un processus).

```
xterm
$ nm hello
080484bc R __IO_stdin_used
          w __Jv_RegisterClasses
0804a014 A __bss_start
0804a00c D __data_start
08048470 t __do_global_ctors_aux
08048350 t __do_global_dtors_aux
08049f14 d __init_array_end
08049f14 d __init_array_start
08048460 T __libc_csu_fini
080483f0 T __libc_csu_init
          U __libc_start_main@@GLIBC_2.0
0804a014 A _edata
0804a01c A _end
0804849c T _fini
080484b8 R _fp_hw
080482b0 T _init
08048320 T _start
0804a014 b completed.6159
0804a00c W data_start
0804a018 b dtor_idx.6161
080483b0 t frame_dummy
080483d4 T main
          U puts@@GLIBC_2.0
```

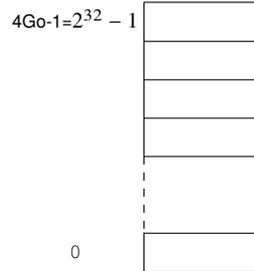
D'après la documentation de la commande «nm» :

- ▷ "A" "A", The symbol's value is absolute, and will not be changed by further linking.
- ▷ "B" "b", The symbol is in the uninitialized data section (known as BSS).
- ▷ "D" "d", The symbol is in the initialized data section.
- ▷ "R" "r", The symbol is in a read only data section.
- ▷ "T" "t", The symbol is in the text (code) section.
- ▷ "U" "U" The symbol is undefined.
- ▷ "W" "w" The symbol is a weak symbol that has not been specifically tagged as a weak object symbol. When a weak defined symbol is linked with a normal defined symbol, the normal defined symbol is used with no error. When a weak undefined symbol is linked and the symbol is not defined, the value of the symbol is determined in a system-specific manner without error. On some systems, uppercase indicates that a default value has been specified.



## 2 La segmentation : les différentes parties d'un processus

Un programme sur un adressage sur 32 bits voit la mémoire de l'adresse 0 à  $2^{32} - 1$ , c-à-d 4Go :



### Les segments :

- \* chaque section possède des droits d'accès différents : `read/write/execute`
- \* **Code** : les instructions du programme (appelé parfois «*Text*»);
- \* **Data** : les variables globales initialisées ;
- \* **Bss** : les variables globales non initialisées (elles seront initialisées à 0) ;
- \* **Heap** : mémoire retournée lors d'allocation dynamique avec les fonctions «`malloc/calloc/new`» : *elle croît vers le haut* ;
- \* **Stack** : stocke les variables locales et les adresses de retour : *elle croît vers le bas* ;
- \* **Shared libraries** : les bibliothèques partagées, c-à-d le code des fonctions partagées par plusieurs processus (fonctions d'entrée/sortie, mathématiques, *etc.*).



## Le fichier «hello\_world.c» :

```
1 #include <stdio.h>
2
3 int main(void)
4 {
5     printf("hello world\n");
6     return 0;
7 }
```

## La présence de différents segments :

```
xterm
$ objdump -h hello_world
hello_world:      file format elf32-i386

Sections:
Idx Name          Size      VMA           LMA           File off  Algn
 5 .text          0007ae2c   08048300     08048300     00000300  2**4 CONTENTS, ALLOC, LOAD, READONLY, CODE
25 .data          00000c40   080ed060     080ed060     000a4060  2**5 CONTENTS, ALLOC, LOAD, DATA
26 .bss           000016d4   080edca0     080edca0     000a4ca0  2**5 ALLOC
```

## La taille des différents segments présents dans l'exécutable :

```
xterm
$ gcc -o hello_world hello_world.c
$ size hello_world
   text    data     bss     dec     hex  filename
 1131     256         8    1395    573  hello_world
```

## L'option «-static» permet d'inclure les fonctions de bibliothèques dans l'exécutable :

```
xterm
$ gcc -static -o hello_world hello_world.c
$ size hello_world
   text    data     bss     dec     hex  filename
668942    3316    5892   678150  a5906  hello_world
```



```

1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include <sys/types.h>
4 #include <unistd.h>
5
6 int global_init_data = 30;
7 int global_noinit_data;
8
9 void function_prints(void)
10 { char c;
11   int local_data = 1;
12   int *dynamic_data = (int *)calloc(1, sizeof(int));
13
14   printf("Pid of the process is = %d\n", getpid());
15   printf("Addresses which fall into:\n");
16   printf("1) Data segment = %p\n", &global_init_data);
17   printf("2) BSS segment = %p\n", &global_noinit_data);
18   printf("3) Code segment = %p\n", &function_prints);
19   printf("4) Stack segment = %p\n", &local_data);
20   printf("5) Heap segment = %p\n", dynamic_data);
21   scanf("%c", &c);
22 }

```

```

24 int main()
25 {
26   function_prints();
27   return 0;
28 }

```

```

xterm
$ ./segments
Pid of the process is = 4697
Addresses which fall into:
1) Data segment = 0x804a020
2) BSS segment = 0x804a02c
3) Code segment = 0x8048494
4) Stack segment = 0xbfe47454
5) Heap segment = 0x8d76008

```

```

xterm
$ more /proc/4697/maps
08048000-08049000 r-xp 00000000 08:01 424814 ./segments
08049000-0804a000 r--p 00000000 08:01 424814 ./segments
0804a000-0804b000 rw-p 00001000 08:01 424814 ./segments
08d76000-08d97000 rw-p 00000000 00:00 0 [heap]
bfe28000-bfe49000 rw-p 00000000 00:00 0 [stack]

```

```

xterm
$ nm -f sysv segments
Symbols from segments:
Name Value Class Type Size Section
main |08048558| T | FUNC|00000012||.text
global_init_data |0804a020| D | OBJECT|00000004||.data
global_noinit_data |0804a02c| B | OBJECT|00000004||.bss
function_prints |08048494| T | FUNC|000000c4||.text

```

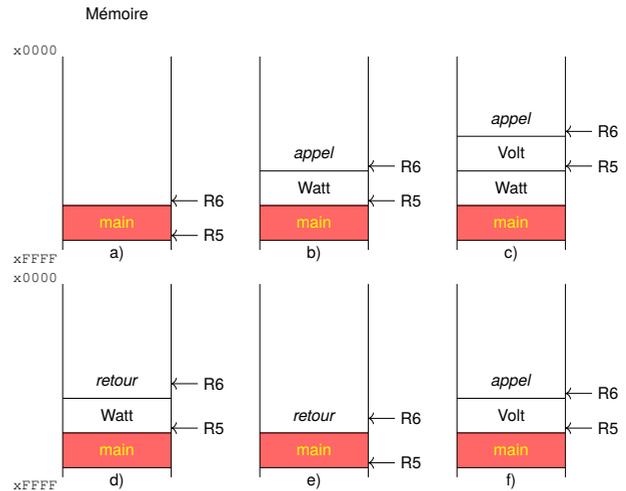
On remarque que sur la sortie du fichier «maps» :

- \* le segment code possède les droits **d'exécution** ;
- \* les segments bss, data possèdent les droits de lecture/écriture mais **pas d'exécution**.



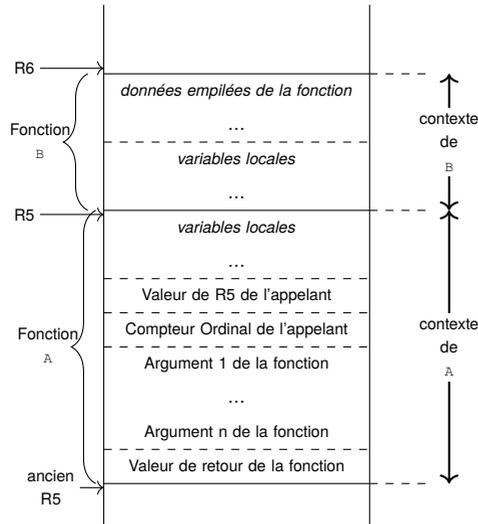
```

1 int main ()
2 {
3     int a = 23;
4     int b = 14;
5     ...
6
7     b = Watt(a); /* appel de Watt */
8     b = Volt(a,b); /* puis de Volt */
9     ...
10 }
11
12 int Watt(int c)
13 {
14     int w = 5;
15     ...
16     w = Volt(w,10); /* appel Volt */
17     ...
18     return w;
19 }
20
21 int Volt(int q, int r)
22 {
23     int k = 3;
24     int m = 6;
25     ...
26     return k+m;
27 }
    
```



- a. l'état de la pile au démarrage du programme :
  - ◇ registre «R5», «*frame pointer*» : contient l'adresse du début du contexte courant (appelé «*frame*»);
  - ◇ registre «R6», «*Top of Stack (TOS) pointer*» : contient l'adresse du sommet de la pile qui varie par empilement/dépilage;
- b. appel de la fonction «Watt»;
- c. le registre R5 prend la valeur de R6 et pointe sur le «contexte» associé à l'exécution de la fonction, R6 sur le nouveau sommet qui va être décalé pour faire de la place aux arguments, valeur de retour et adresse de retour (empilement);
- d. le processeur saute à l'adresse du code de la fonction appelée;
- e. lors du retour de la fonction, le processeur dépèle l'adresse de retour et le registre R6 pointe sur la valeur de retour de la fonction;
- f. nettoyage de la pile pour l'exécution d'une autre fonction (dépilage valeur retour et arguments précédents);
- g. ⇒ **écrasement** de l'utilisation de la pile de l'ancien appel «Watt», par le nouvel appel «Volt».

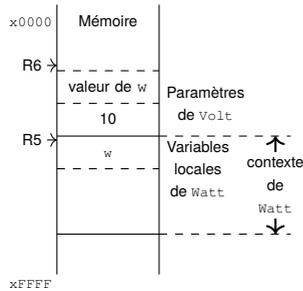




- soit l'état de la pile d'exécution après l'appel de la fonction A :
  - ◇ l'exécution de la fonction A crée un «contexte A» dans la pile :
    - \* la valeur de retour de la fonction A ;
    - \* les arguments : «Argument 1 à n de la fonction» ;
    - \* la valeur du «PC» ou «CO» de l'appelant de la fonction A ;  
*Il est nécessaire de mémoriser l'ancienne valeur du CO, puisqu'il sert maintenant à exécuter le code de la fonction A.*
    - \* la valeur du registre de R5 lors de l'exécution de l'appelant : obligatoire pour pouvoir remettre l'appelant dans un état correct lors du retour de la fonction ;
    - \* les variables locales à la fonction ;
    - \* les registres R5 et R6 contiennent maintenant des valeurs relatives au contexte de A ;

- ensuite, la fonction A appelle la fonction B :
  - ◇ l'appel de la fonction B crée le contexte de B dans la pile :
    - \* on empile les données de la fonction en rapport avec A (valeur de retour et arguments) ;
    - \* on empile le CO de l'appelant, c-à-d l'adresse de l'instruction de la fonction A à laquelle il faudra retourner (A ayant appelé B). On mets l'adresse du code de la fonction B dans le CO, ce qui force l'exécution de la fonction B.
- lors de l'exécution de B, on empile la valeur de R5 pour pouvoir la restaurer et on empile les variables locales de B ;
- cela crée une «liste chaînée» des différents **appels imbriqués** : il est possible de remonter dans les contextes d'appels en examinant la pile. *Les outils de «débugage» permettent de visualiser et analyser le contenu de la pile d'appel. Le mécanisme «d'exception» présent dans le langage C++, Java, Python etc. permet en cas d'erreur de remonter de contexte de fonction en contexte de fonction appelante à la recherche d'une fonction capable de traiter cette erreur.*



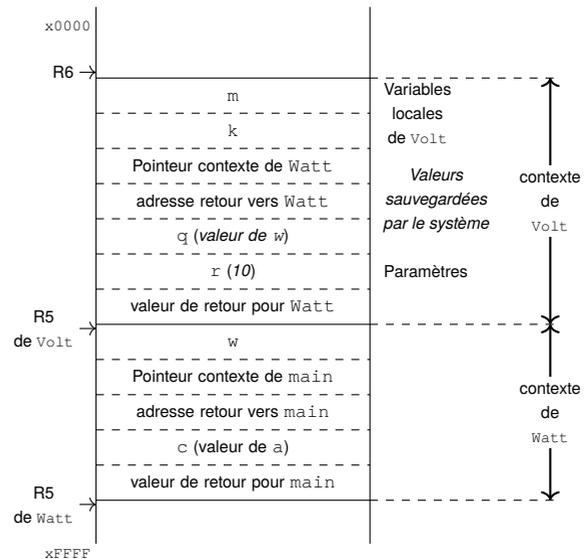


Lors de l'appel de la fonction «Volt», par la fonction «Watt», la valeur contenue dans la variable locale «w» de «Watt» est transmise en tant que paramètre à la fonction «Volt».

*Cet appel correspond à la ligne 16 du code source.*

Dans le contexte de la fonction «Volt» :

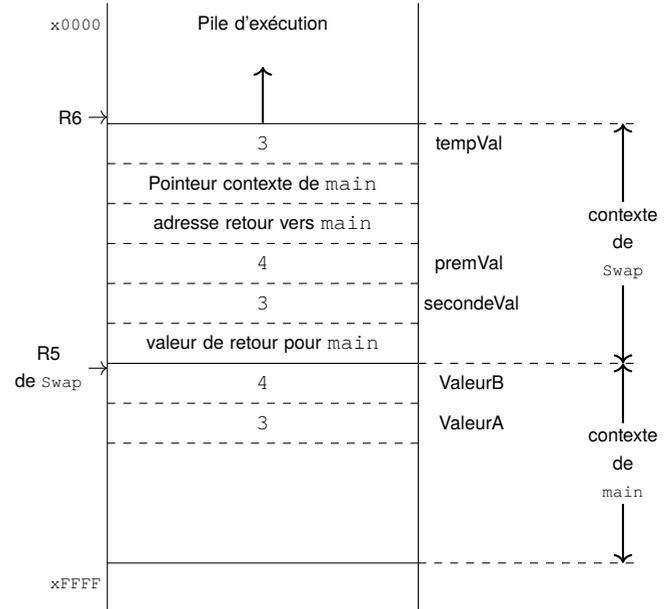
- la variable locale «q» reçoit la valeur du paramètre transmis, c-à-d la valeur de «w» de la fonction «Watt» ;
- la variable locale «r» reçoit la valeur du paramètre transmis, c-à-d la valeur directe 10 ;
- pour son travail, elle utilise deux variables locales «k» et «m» ;
- des sauvegardes des adresses concernant «Watt» :
  - ◇ de retour d'exécution ;
  - ◇ de **restauration de contexte**.



## Passage de paramètres par valeur

```

1 #include <stdio.h>
2 void Swap(int PremVal, int secondeVal);
3
4 int main()
5 {
6     int valeurA = 3;
7     int valeurB = 4;
8
9     Swap(valeurA, valeurB);
10    return valeurA; /* retourne 3 */
11 }
12
13 void Swap(int premVal, int secondeVal)
14 {
15     int tempVal; /* conserve PremVal */
16                 /* lors de l'échange */
17
18     tempVal = premVal;
19     premVal = secondeVal;
20     secondeVal = tempVal;
21     return;
22 }
    
```



*L'état de la pile avant le retour de la fonction*

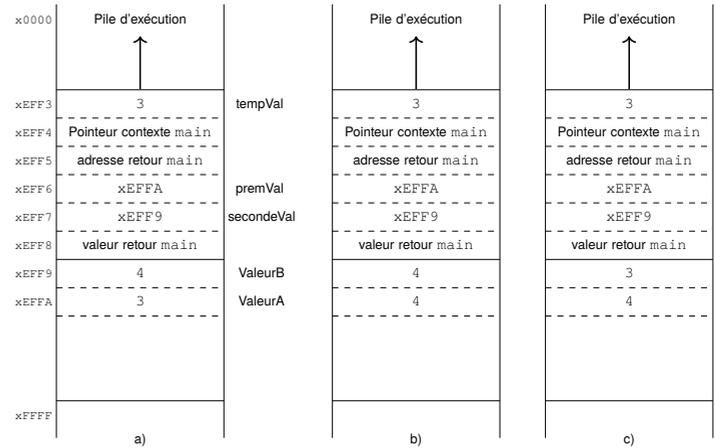
Que fait le programme ?



## Passage de paramètres par référence

```

1 #include <stdio.h>
2
3 void NewSwap(int *preMVal,
4             int *secondeVal);
5
6
7 int main()
8 {
9     int valeurA = 3;
10    int valeurB = 4;
11
12    NewSwap(&valeurA, &valeurB);
13    return valeurA; /* retourne 4 */
14 }
15
16
17 void NewSwap(int *PremVal,
18             int *secondeVal)
19 {
20     int tempVal; /* conserve preMVal */
21                 /* lors de l'échange */
22
23     tempVal = *PremVal;
24     *PremVal = *secondeVal;
25     *secondeVal = tempVal;
26     return;
27 }
    
```



- ▷ «valeurA» est à l'adresse 0xEFFA;
- ▷ «valeurB» est à l'adresse 0xEFF9;
- ▷ «preMVal» et «secondeVal» sont des **pointeurs** :
  - ◊ «preMVal» contient l'adresse de «valeurA», 0xEFFA;
  - ◊ «secondeVal» contient l'adresse de «valeurB», 0xEFF9;

Que fait le programme ?



- \* Définition de variables locales :

```
int objet;  
int *ptr;
```

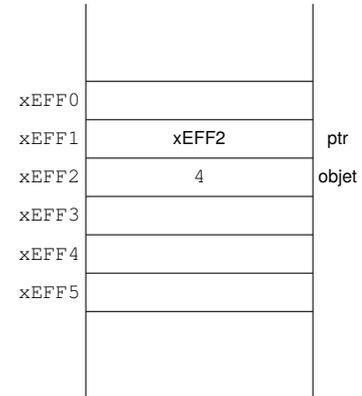
- \* Assignons des valeurs à ces variables :

```
objet = 4;  
ptr = &objet;  
*ptr = *ptr + 1;  
ptr++;
```

- \* La troisième instruction est équivalente à :

```
objet = objet + 1
```

- \* Question : *Quelles sont les valeurs finales de «objet» et «ptr» ?*



## Les tableaux en C

Un tableau est une adresse d'une zone mémoire dont la taille est égale au produit de la taille d'une case \* par le nombre de cases. La notation d'accès indexée permet de faire varier le pointeur d'une case à une autre :

`&tableau[0] ~ tableau`

L'adresse de la 1<sup>ère</sup> case est l'adresse du tableau...

### Attention

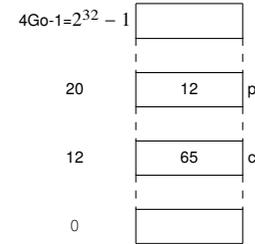
Il ne faut pas donner, comme valeur de retour d'une fonction, un **pointeur sur une variable locale** à cette fonction !  
*Lors du retour de la fonction, le contenu de la pile est réutilisé, et la valeur retournée est écrasée.*



- \* un pointeur est une variable qui contient une adresse mémoire ;
- \* dans une architecture 32bit, la taille d'un pointeur est de 4 octets, quelque soit le type du pointeur ;

```
1 char c = 'a'; /* valeur 65 en ASCII */  
2 char *p = &c;
```

La variable *p* étant de type pointeur, elle occupe les cases mémoires 20, 21, 22 et 23, soient 4 cases à partir de la première.



### Les différentes utilisations d'un pointeur

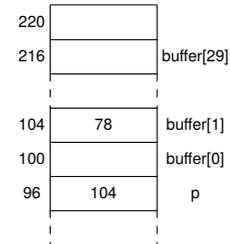
1. affecter une valeur numérique à un pointeur :

```
1 char *p = (char *) 0x2050;  
2 *p = 5; /* stocker 5 à l'adresse 0x2050 */
```

2. Obtenir l'adresse mémoire d'une autre variable :

```
1 int *p;  
2 int buff[30];  
3 p = &buff[1];  
4 *p = 78;
```

Ici, une adresse et un entier tiennent sur 32 bits ou 4 octets.



3. allouer de la mémoire sur le tas :

```
1 int *p;  
2 p = (int *) calloc(1, sizeof(int));
```



### Appel de fonction, variables et segments

Lors d'un appel d'une fonction :

- a. on mémorise où on en est dans le code que l'on exécute : sauvegarde de la valeur du **compteur ordinal** ;
- b. on charge dans le compteur ordinal, l'**adresse de la première instruction** du code de la fonction ;
- c. on **restaure l'ancienne valeur du compteur ordinal** lorsque l'on retourne de la fonction ;
- d. la sauvegarde du compteur ordinal et sa restauration se fait à l'aide de la «**pile d'exécution**» ;

On étend cette utilisation de la pile aux variables manipulées par la fonction :

- passage des arguments de la fonction : ils sont mis sur la pile ;
- récupération du résultat de la fonction lors du retour : il est laissé sur la pile ;
- définition des variables locales utilisées dans la fonction : dans la pile ;
- allocation d'espace mémoire disponible pendant tout le programme : utilisation du tas.

#### Contexte processeur

Un contexte est l'ensemble des informations nécessaires à l'exécution d'un programme par le processeur :

- la valeur du compteur ordinal ;
- les valeurs des registres généraux ;
- les valeurs des registres de segments : qui pointent sur la base et le sommet de la pile, sur le tas, sur les segments de code et de données ;
- la valeur du ou des registres d'état.

Ses informations peuvent être sauvegardées et restaurées : elles permettent de passer de l'exécution d'un programme à un autre.

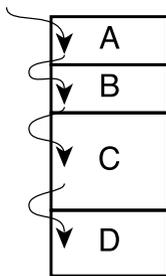
Un **programme qui s'exécute** est l'association de :

- ▷ son **contexte** d'exécution ;
- ▷ le **contenu utilisé** de chacun de ses segments.

## Comment exécuter plusieurs programmes en «multi-tâche»

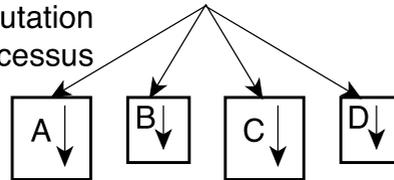
- charger différents programmes en mémoires :
  - ◇ répartir la mémoire entre les différents programmes ;
  - ◇ traduire les adresses *etc.*
- passer, «*switcher*», de l'exécution d'un programme à l'autre :
  - ◇ associer un contexte du processeur à chaque programme → notion de **processus** ;
  - ◇ passer d'un processus à un autre : sauvegarde un contexte et restaurer un autre contexte ;
  - ◇ passer d'un «CO» associé à un processus à un «CO» associé à un autre processus :

Un seul compteur ordinal

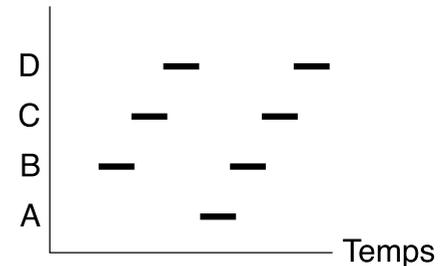


Quatre compteurs ordinaux

Commutation de processus



Processus



## Comment organiser la mémoire entre les différents processus ?

En utilisant le concept de «*pagination*».

## Comment passer régulièrement et automatiquement d'un processus à l'autre ?

En utilisant le concept «*d'horloge*» et d'«*interruption*».

### Comment partager la mémoire entre différents processus ?

Exemple : les programmes suivants se partagent la mémoire de l'ordinateur :

OS	0x9000
gcc	0x8000
firefox	0x7000
emacs	0x6000
	0x5000

1. l'OS, «operating system», de l'adresse 0x8000 à 0x9000 ;
2. le compilateur `gcc` de l'adresse 0x7000 à 0x8000 ;
3. le navigateur `firefox` de l'adresse 0x6000 à 0x7000 ;
4. l'éditeur de texte `emacs` de l'adresse 0x5000 à 0x6000 ;

### Problématiques

- `emacs` voudrait plus de mémoire que celle qui lui est allouée ;
- `firefox` voudrait plus de mémoire que la mémoire totale de la machine ;
- `gcc`, à la suite d'une erreur, écrit dans la mémoire 0x6500 ;
- `emacs` n'utilise pas toute la mémoire qui lui a été allouée.

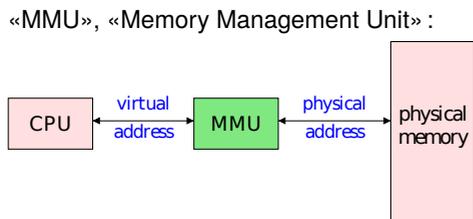
**Autre question :** comment adapter le code d'`emacs` à son emplacement à l'adresse 0x5000 ?

### Contraintes

- \* **Protection :**
  - ◊ un «bug» dans un processus ne doit pas corrompre la mémoire dans un autre processus ;
  - ◊ empêcher qu'un processus A ne vienne corrompre la mémoire d'un processus B ;
  - ◊ empêcher A d'observer la mémoire du processus B.
- \* **Transparence :**
  - ◊ un processus ne doit pas nécessiter un emplacement mémoire particulier ;
  - ◊ un processus nécessite de larges quantités de mémoires contiguës : pour ses structures de données, pour son fonctionnement (pile), *etc.*
- \* **Gestion automatique des ressources :**
  - ◊ un programmeur développe un programme avec l'idée que l'ordinateur dispose de suffisamment de mémoire ;
  - ◊ la somme de la taille de tous les processus est souvent supérieure à celle de la mémoire physique.

## La mémoire virtuelle

- donner à chaque processus son propre espace mémoire «virtuel» :
  - \* un processus utilise **uniquement** de la mémoire référencée par des adresses **virtuelles** ou **logiques** ;
  - \* la mémoire utilise des adresses **physiques** ou **réelles** ;
- ◊ **traduire** chaque opération d'accès mémoire en chargement et en stockage, «load» & «store» ;
- ◊ **masquer** au processus quelle mémoire physique il utilise ;
- ◊ **utiliser** un **composant** dédié à la gestion de la mémoire pour accélérer le traitement :

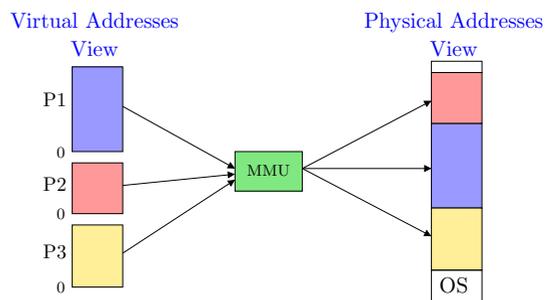


- ▷ paramétrable uniquement avec des instructions privilégiées du «mode noyau» ;
- ▷ traduit des adresses virtuelles vers des adresses physiques ;
- ▷ la MMU fait partie du processeur.

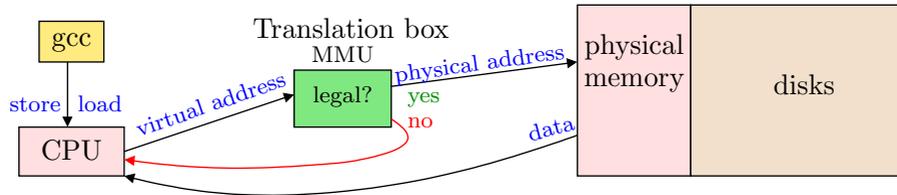
- crée une vue «par processus» de la mémoire :

Chaque processus :

- ◊ a l'impression d'être seul en mémoire :
  - \* ne voit pas la mémoire des autres processus ;
  - \* ne voit pas la mémoire de l'OS.
- ◊ a sa mémoire qui commence à l'adresse zéro ;

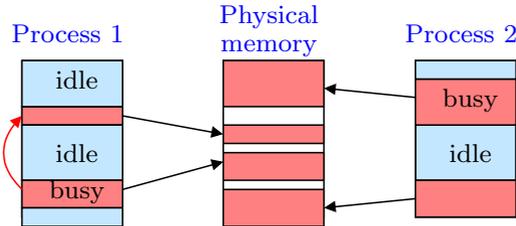


- protéger la mémoire d'un processus
  - ◊ **empêcher** qu'un processus chamboule la mémoire d'un autre processus



*La tentative d'accès à la MMU pour la reconfigurer/l'utiliser en lieu et place de l'OS provoque l'arrêt du processus : bascule du mode utilisateur vers le mode noyau ⇒ l'OS rejette le processus.*

- permettre à un processus de voir plus de mémoire que celle existante :
  - ◊ reloger certaines zones mémoires sur disque :



- \* les parties «idle», inactives sont placées sur le disque jusqu'à ce qu'elles soient utilisées ;
- \* les processus peuvent utiliser la mémoire libérée ;
- \* **Quand un processus n'utilise pas une mémoire, l'allouer à un autre processus.**
- \* il faut identifier quelle mémoire est utilisée ou va être utilisée et la «manipuler» :
  - ▷ *par octets ?* gestion trop lourde
  - ▷ *par zone mémoire ?* oui, on introduit le concept de «**page mémoire**».



La taille d'une page sous Linux :

```
pef@darkstar:~$ getconf PAGESIZE
4096
```

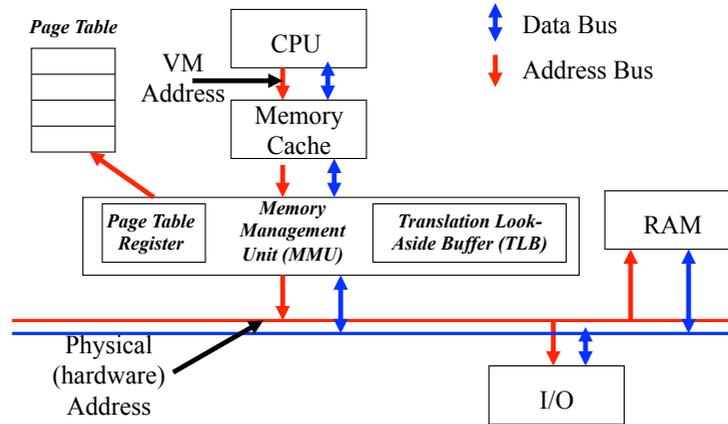
## Problèmes restant à traiter

- comment identifier les différents besoins d'allocation du processus ?
  - ◊ mémoire qui restera allouée toute la durée d'exécution du processus ?
  - ◊ mémoire ponctuellement allouée ?⇒ Utiliser la **segmentation**
  
- comment distinguer les différentes parties d'un processus ?
  - ◊ identifier la partie code, la partie données ;
  - ◊ identifier la création de données ;⇒ Utiliser la **segmentation**
  
- comment permettre aux processus d'augmenter la mémoire allouée ?  
⇒ Permettre à la MMU de décharger/recharger une page depuis le disque dur en détectant un «défaut de page», c-à-d l'accès à une adresse virtuelle dont la page contenant l'adresse physique associée n'est pas en mémoire.
  
- comment gérer plusieurs processus ?  
⇒ Paramétrer la MMU avec une **table de traduction d'adresse** associée à chaque processus.



## Comment intégrer le concept de «page» dans le «processus» ?

- le concept de page introduit une «indirection» supplémentaire pour l'accès à la mémoire :
  - ◊ le processus utilise une adresse virtuelle pour désigner un emplacement mémoire ;
  - ◊ pour accéder à cet emplacement mémoire, il faut connaître son adresse physique ;
  - ◊ pour connaître cette adresse physique, il faut la rechercher dans une table de correspondance ;
  - ◊ pour connaître l'emplacement dans cette table, on se sert de l'adresse virtuelle.
- cette indirection (passer par une table intermédiaire) est gérée par la MMU : pas de ralentissement ;

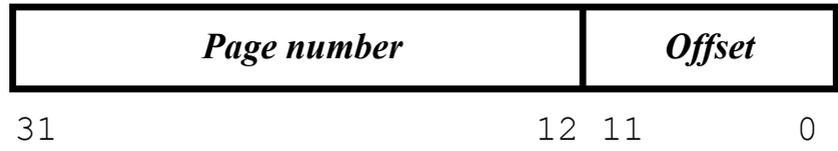


- la MMU possède un registre référençant la table courante utilisée pour réaliser la traduction virtuelle → physique ;
- chaque processus possède sa propre table (il utilise des adresses physiques différentes des autres processus) ;
- le registre, «Page Table Register», est modifié à chaque changement de contexte lié au changement de processus ;
- la table de page contient les informations des zones mémoires valides pour un processus ;
- pour accélérer la consultation de la table, on stocke les traductions les plus récentes dans le TLB.

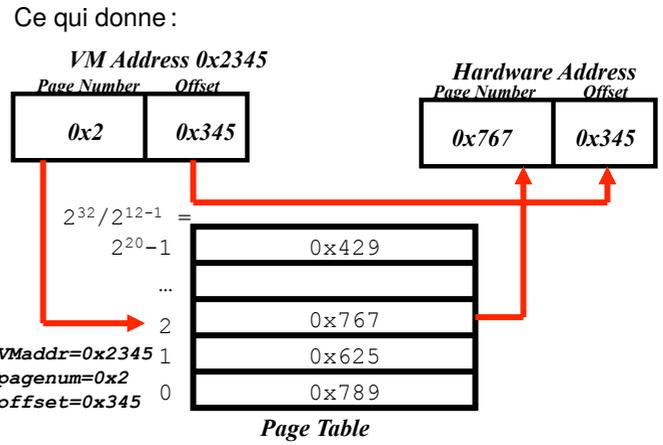
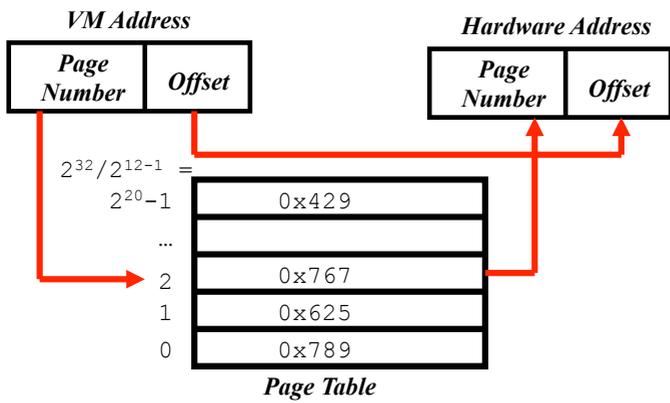


# Le paging : comment se passe la traduction d'adresse ?

- une adresse virtuelle est décomposée en deux parties :
  - ◊ le numéro de page sur 20 bits ;
  - ◊ le décalage ou «offset» sur 12 bits, soit une taille de page de 4096 octets ;

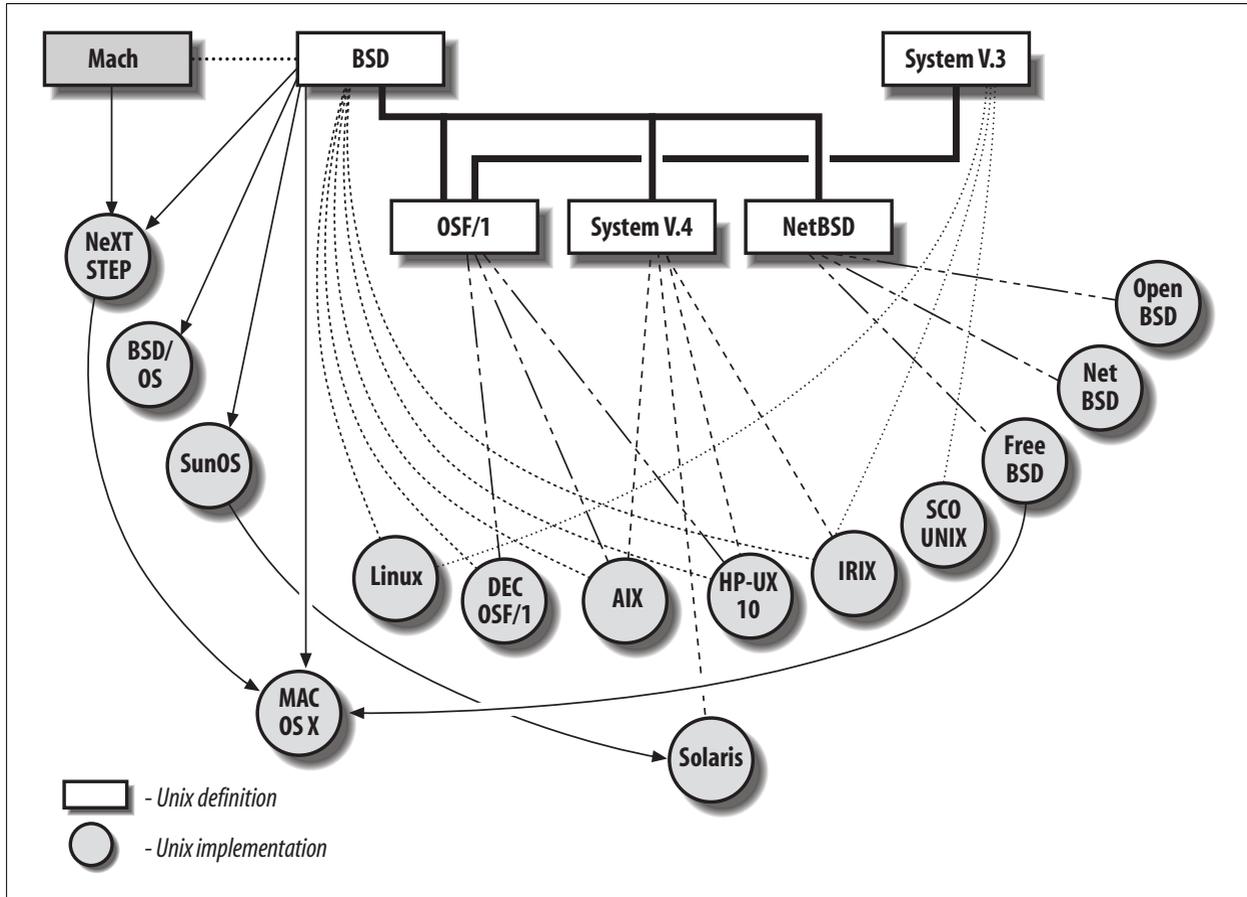


- seul le numéro de page est traduit, le décalage reste le même ;
- exemple : on veut traduire l'adresse virtuelle 0x2345 :
  - ◊ 0x2345 donne 2345, les trois derniers chiffres hexadécimaux correspondant au décalage sur 12 bits,
  - ◊ le numéro de page est 0x2.



### Plan de la partie

- les contraintes historiques qui amènent à la création d'Unix :
  - ◇ les systèmes d'exploitation multi-utilisateurs ;
  - ◇ le concept de «*time sharing*» ;
  - ◇ la création du langage C : «*un assembleur portable*» ;
- les fondamentaux d'Unix ;
- le partage de la machine physique ;
- les interruptions ;
- mode noyau/mode utilisateur ;
- les fonctions d'un système d'exploitation ;



Unix est un système supportant :

- Plusieurs utilisateurs ;
- Plusieurs programmes :
  - ◇ Partage du temps d'utilisation ;
  - ◇ Protection de la mémoire ;
  - ◇ Partage des ressources ;
  - ◇ Accès à distance.
- Problèmes :
  - ◇ Équité ;
  - ◇ Gestion du matériel ;
  - ◇ Droits d'accès...

Unix est un système nécessitant un processeur récent disposant d'au moins **deux modes de fonctionnement** pour lui permettre de contrôler les accès aux ressources de la machine :

- un mode **noyau** (ou système ou superviseur)  
*le processeur peut exécuter toutes les instructions disponibles du système.*
- un mode **utilisateur**.  
*certaines instructions lui sont interdites, pour des raisons de sécurité du système.*

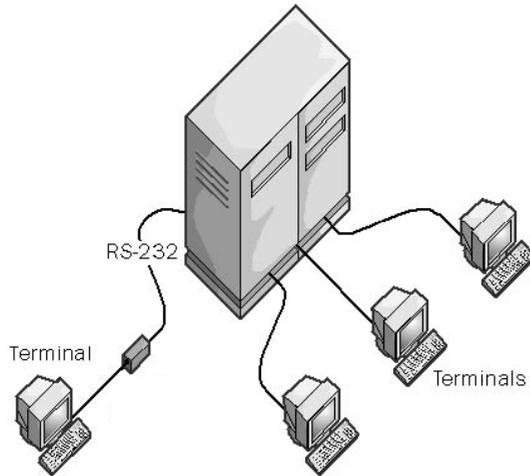
### Protection fondamentale

Les programmes sont exécutés en mode utilisateur :

- ◇ obligation de faire appel au système d'exploitation pour les opérations à risque qui nécessite de passer en mode noyau.  
*On appelle ces opérations des **appels système** (exemple : opérations de gestion de fichier pour modification des données)*
- ◇ **Tous les accès aux ressources et aux données sont contrôlés par le système d'exploitation.**



## Un ordinateur central avec des accès partagés



L'ordinateur est utilisé au travers de terminaux :

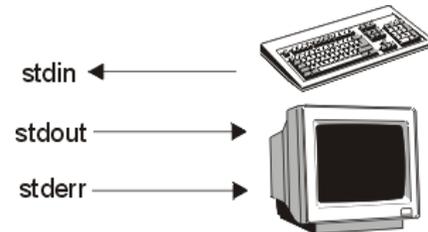
- un terminal correspond à un écran et un clavier :



- une liaison série, «RS-232», permet d'échanger du texte dans les deux sens (terminal  $\Leftrightarrow$  mainframe).

Par convention, on distingue 3 canaux d'échange essentiels :

- «`stdin`» ou «0» : le canal d'entrée standard ;
- «`stdout`» ou «1» : le canal de sortie standard ;
- «`stderr`» ou «2» : le canal standard d'erreur.



La gestion du partage de la machine physique et des ressources matérielles doit permettre de répondre aux questions suivantes :

- Partage du **processeur unique** : parmi tous les programmes chargés en mémoire centrale, lequel doit s'exécuter ?
- Partage de la **mémoire centrale** : comment allouer la mémoire centrale aux différents programmes.
  - ◇ Comment assurer la protection entre plusieurs programmes utilisateurs ?
  - ◇ Comment protéger le système d'exploitation des programmes utilisateurs ?
  - ◇ *Par protection, on entend ici veiller à ce qu'un programme donné n'accède pas à une plage mémoire allouée à un autre programme.*
- Partage des **périphériques** ;

### Périphérique et concurrence

La **programmation concurrente** est liée à la naissance des SE et à l'invention des contrôleurs de périphériques (device controllers) :

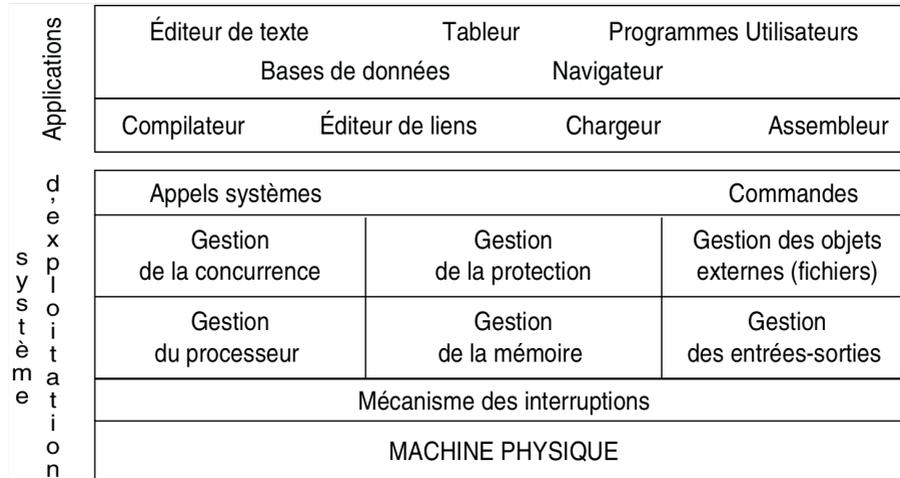
- ▷ fonctionnent indépendamment du processeur central ;
- ▷ permettent d'effectuer des opérations d'E/S en concurrence d'un programme exécuté par le processeur central ;
- ▷ Le contrôleur communique avec le processeur central par l'intermédiaire d'une **interruption**, un signal matériel, qui le déroute de l'exécution de la séquence d'instructions courante pour exécuter une séquence d'instructions différente.

### Problème ?

L'intégration de contrôleur de périphérique pose le problème que certaines parties d'un programme peuvent s'exécuter dans un ordre imprévisible ! *Si un programme est en train de modifier la valeur d'une variable, une interruption peut arriver et peut conduire à ce qu'une autre partie du programme essaie de changer la valeur de cette même variable !*



Le système d'exploitation se présente comme une couche logicielle placée entre la machine matérielle et les applications.



Il s'interface avec :

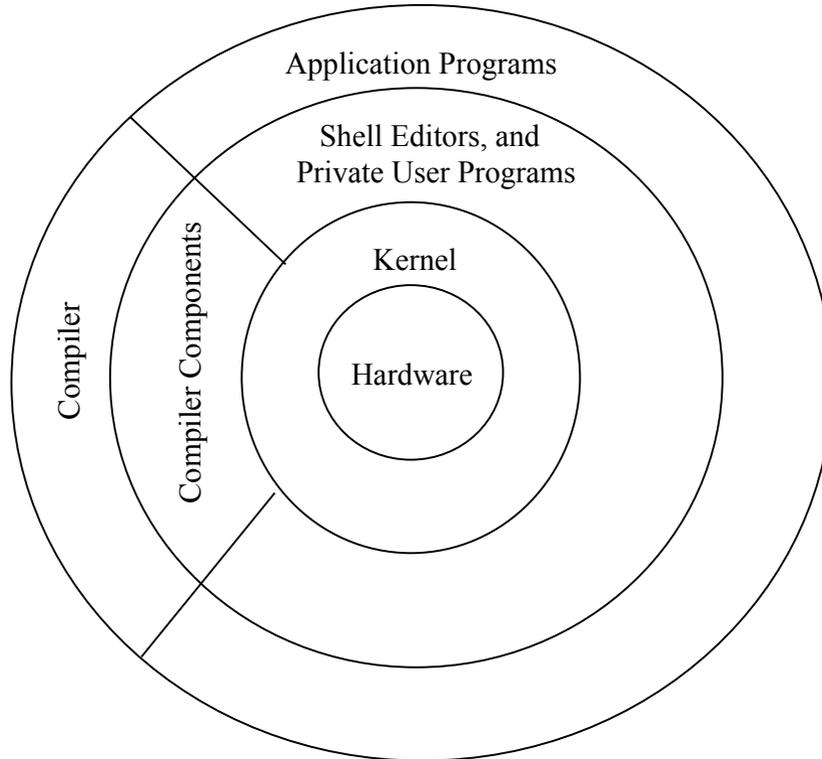
- la couche matérielle, notamment par le biais du mécanisme des interruptions.
- les applications par le biais des primitives qu'il offre : appels système et commandes.



- **Gestion du processeur** : allouer le processeur aux différents programmes pouvant s'exécuter.  
*Cette allocation se fait suivant un algorithme d'ordonnancement qui planifie de l'exécution des programmes.*
- **Gestion de la mémoire** : allouer la mémoire centrale entre les différents programmes pouvant s'exécuter (pagination/segmentation).  
*Mécanisme de **mémoire virtuelle** : traduction entre adresse logique et physique, chargement uniquement des parties de code et de données utiles à l'exécution d'un programme.*
- **Gestion des E/S** :
  - ◇ accès aux périphériques,
  - ◇ faire la liaison entre appels de haut niveau des programmes (exemple : `getchar()`) et les opérations de bas niveau du système d'exploitation responsable du périphérique (exemple : le clavier).  
*C'est le pilote d'E/S (driver) qui assure cette liaison.*
- **Gestion de la concurrence** : plusieurs programmes coexistent en mémoire centrale :
  - ◇ assurer les besoins de communication pour échanger des données ;
  - ◇ synchroniser l'accès aux données partagées afin de maintenir la cohérence de ces données.  
*Le système offre des outils de communication et de synchronisation entre les programmes.*
- **Gestion du système de fichier** : stockage des données sur mémoire de masse (disque dur, mémoire flash, SSD, etc.)  
*Le système d'exploitation gère un **format d'organisation** (ext4 sous Linux), un **système de protection** (journalisation des modifications) et un **format de fichier** (inodes).*
- **Gestion de la protection** : mécanisme de garantie que les ressources (CPU, mémoire, fichiers) ne peuvent être utilisées que par les programmes disposant des droits nécessaires.
- Gestion des **comptes** et des **droits** ,
- **Protection du système d'exploitation** : séparation du système d'exploitation en mode noyau et des programmes en mode utilisateur.



- au centre se trouve le «hardware»
- sur le bord se trouve les applications utilisateurs ;
- entre les deux : le système d'exploitation ;
- *le compilateur sert de «médiateur».*



## Linux = Noyau monolithique

Quatre grandes fonctions nécessaires :

- **Gestion des processus**  
*Administre l'exécution de programmes.*
- **Gestion de la mémoire**
- **Gestion des fichiers : VFS**  
*Interface avec gestionnaire de fichiers spécifiques (Unix, DOS, floppy, CD-ROM...)*
- **Gestion du réseau**  
*Interface avec gestionnaires de protocoles*

## Linux = Noyau modulaire

Ajout de fonctionnalités supplémentaires :

- **Modules statiques**  
*Ajout uniquement à la compilation du noyau : le système chargera de manière inconditionnelle les modules de ce type.*
- **Modules dynamiques**  
*Ajout «au cours de la vie» du système, chargement arbitraire, en temps voulu.*

## Le mode noyau

- \* lorsque le processeur est dans ce mode :
  - ◇ il peut exécuter n'importe quelle instruction possible ;
  - ◇ il peut modifier le contenu de n'importe quelle case mémoire ;
  - ◇ il peut accéder et modifier n'importe quel registre du processeur ou d'un périphérique ;
  - ◇ il a le **contrôle total** de l'ordinateur ;
- \* le système d'exploitation s'exécute en mode noyau.

## Le mode utilisateur

- \* lorsque le processeur est dans ce mode :
  - ◇ il n'exécute qu'un sous-ensemble limité d'instructions ;
  - ◇ il ne peut modifier que les zones mémoires affectés à l'exécution du programme ;
  - ◇ il ne peut accéder qu'à un sous-ensemble limité des registres du processeur et il ne peut accéder aux registres des périphériques ;
  - ◇ il a un accès limité aux ressources de l'ordinateur ;
- \* les programmes utilisateurs s'exécute en mode utilisateur

## Mode utilisateur et mode noyau

- \* lorsque l'ordinateur démarre, il charge le système d'exploitation en mode noyau ;
- \* en mode noyau, le système d'exploitation configure les vecteurs d'interruption et initialise les périphériques ;
- \* ensuite, il démarre le premier **processus** et bascule en mode utilisateur ;
- \* il exécute en mode utilisateur les processus en tâche de fond, «*background*», appelés «*démons*» ;
- \* à la connexion d'un utilisateur, il démarre un **shell** ou un gestionnaire de fenêtre.

### Plan

#### **La notion de processus**

- notion de programme et de processus ;
- les états d'un processus ;
- les ressources ;

#### **Les opérations sur un processus**

- Création et gestion par l'OS ;
- Cycle de vie ;
- Les processus et l'organisation de l'OS ;
- La terminaison d'un processus ;

#### **Le processus & les interruptions**

- appel système ;
- préemption ;

#### **Notion de «threads»**

#### **Ordonnancement**

Un **programme** est une entité purement statique associée à la suite des instructions qui la composent (le ou les fichiers stockés sur le disque dur).

Un **processus** est un programme en cours d'exécution auquel est associé :

- un environnement processeur (CO, PSW, RSP, registres généraux) ;
- un environnement mémoire appelés contexte du processus.

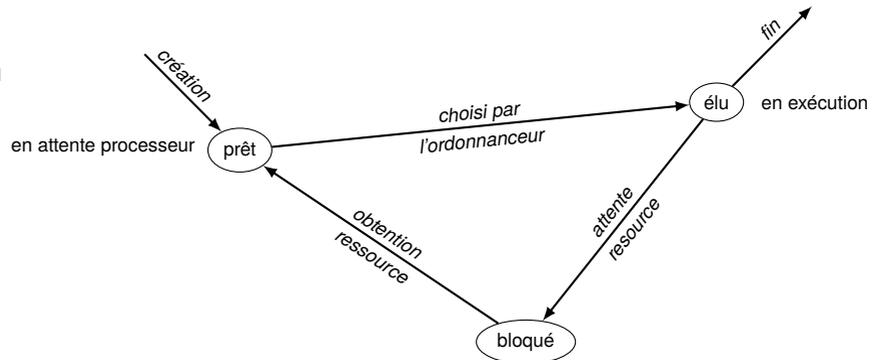
Un processus est :

- ▷ l'«instance dynamique» d'un programme ;
- ▷ le **fil d'exécution**, thread, de celui-ci dans un espace d'adressage protégé (ensemble des instructions et des données accessibles en mémoire).

## État d'un processus

C'est le système d'exploitation qui détermine et modifie l'état d'un processus sous l'effet des événements :

- le choix de l'**ordre d'exécution** des processus est appelé ordonnancement ;
- l'algorithme chargé de faire ce choix est appelé **ordonnanceur**.



## État élu

Lors de son exécution, un processus est caractérisé par un état :

- lorsque le processus obtient le processeur et s'exécute, il est dans l'état **élu**.
- l'état **élu** est l'état d'exécution du processus.

## État bloqué

Lors de cette exécution, le processus peut demander à **accéder à une ressource** (réalisation d'une entrée/sortie, accès à une variable protégée) qui n'est **pas immédiatement disponible** :

- le processus **ne peut pas poursuivre** son exécution tant qu'il n'a pas obtenu la ressource (par exemple, le processus doit attendre la fin de l'entrée-sortie qui lui délivre les données sur lesquelles il réalise les calculs suivants dans son code) ;
- le processus *quitte* alors le processeur et passe dans l'état **bloqué** : l'état bloqué est donc l'état d'attente d'une ressource autre que le processeur.

## État prêt

Lorsque le processus a enfin obtenu la ressource qu'il attendait, celui-ci peut potentiellement reprendre son exécution. Cependant, dans le cadre de **systèmes multiprogrammés**, il y a plusieurs programmes en mémoire centrale, et donc plusieurs processus.

- lorsque le processus est passé dans l'état bloqué, le processeur a été **alloué** à un autre processus.
- le processeur n'est donc pas forcément libre : le processus passe alors dans l'état **prêt**.

L'état «Prêt» est l'état **d'attente** du processeur.



## Changement d'état

- ▷ Le passage de l'état prêt vers l'état élu constitue l'opération **d'élection** .
- ▷ Le passage de l'état élu vers l'état bloqué est l'opération de **blocage** .
- ▷ Le passage de l'état bloqué vers l'état prêt est l'opération de **déblocage** .

### Remarques

- ❑ Un processus est toujours créé dans l'état **prêt** .
- ❑ Un processus se termine toujours à partir de **l'état élu** (sauf anomalie).



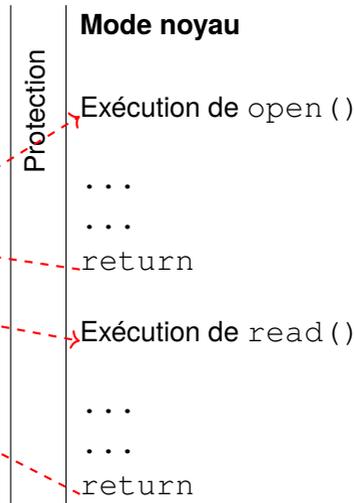
Les **appels systèmes** constituent l'interface du système d'exploitation et sont les **points d'entrées** permettant l'exécution d'une fonction du système :

- les **appels système** sont directement appelables depuis un programme.
- les **commandes** permettent d'appeler les fonctions du système depuis le prompt de l'interpréteur de commande (shell, «*Command Line Interface*»)

## Déroulement d'un appel système

### Mode utilisateur

```
main()  
{  
    int i, j, fd;  
    i = 3;  
    fd = open("mon_fichier", "r");  
    read(fd, j, 1);  
    j = j/i;  
}
```



Lors de l'exécution d'un appel système, le programme utilisateur passe du mode d'exécution utilisateur au mode d'exécution **superviseur** ou **privilegié**, appelé «**mode noyau**».



**Mode utilisateur**

```
main()
{
    int i, j, fd;
    i = 3;
    fd = open("mon_fichier", "r");
```

Protection

**Mode noyau**

Exécution de open ()

...  
...

- 1 sauvegarde CO, PSW utilisateur
- 2 chargement CO ← adresse de la fonction open
- 3 chargement PSW ← mode superviseur

- **appel système** : demande d'exécution d'une fonction du système d'exploitation ;
- passage du **mode utilisateur au mode noyau** :
  - ◇ déclenchement d'une **interruption logicielle** visible dans le code assembleur du programme ;
  - ◇ passage dans un mode d'**exécution privilégié** qui est le mode d'exécution du système d'exploitation (mode noyau ou superviseur).  
*Accès à un plus grand nombre d'instructions machine que le mode utilisateur (permet l'exécution des instructions de masquage et démasquage des interruptions interdites en mode utilisateur).*
  - ◇ **sauvegarde du contexte** utilisateur ;

⇒ **commutation de contexte**

**Exemple Assembleur dans le système Linux**

```
Assembleur x86, sous Linux, écrit pour le compilateur NASM

section .data
    helloMsg: db 'Hello world!',10
    helloSize: equ $-helloMsg
section .text
    global start
start:
    mov eax,4          ; Appel système "write" (sys write)
    mov ebx,1          ; File descriptor, 1 pour STDOUT (sortie standard)
    mov ecx,helloMsg  ; Adresse de la chaîne à afficher
    mov edx,helloSize ; Taille de la chaîne
    int 80h           ; Exécution de l'appel système
    ; Sortie du programme
    mov eax,1          ; Appel système "exit"
    mov ebx,0          ; Code de retour
    int 80h
```

Appel au noyau de LINUX (int 80h)



## Mode utilisateur

```
main()
{
    int i, j, fd;
    i = 3;
    fd = open("mon_fichier", "r");
```

Protection

## Mode noyau

Exécution de open ()

...

return

- 1 | restauration du contexte utilisateur
- 2 | chargement CO ← CO sauvegardé
- 3 | chargement PSW ← PSW sauvegardé

À la fin de l'appel système :

▷ passage du **mode noyau** au **mode utilisateur** ;

⇒ **commutation de contexte** : restauration du contexte utilisateur.



## Trois causes de passage du mode utilisateur au mode noyau

- ❑ **appel d'une fonction du système :**  
demande explicite de passage en mode noyau
- ❑ **exécution d'une opération illicite**  
(division par 0, instruction machine interdite, violation mémoire...): trappe.  
L'exécution du programme utilisateur est alors arrêtée.
- ❑ **interruption par le matériel et le système d'exploitation :**  
le programme utilisateur est alors stoppé et l'exécution de la routine d'interruption associée à l'interruption survenue est exécutée en mode superviseur.
- ❑ **interruption par l'horloge :**  
c'est une interruption matérielle qui permet au système d'exploitation de passer de l'exécution d'un processus à un autre dans le cadre de la «multiprogrammation».  
Cette interruption ne peut être ignorée par le processus.  
On appelle ce mécanisme : la **préemption**.

