Architecture des ordinateurs

Résumé des épisodes précédents . . .

Pour le moment nous avons vu les concepts suivants :

- Bases de la programmation impérative
- Génie logiciel : programmation modulaire, tests
- Complexité

Résumé des épisodes précédents . . .

Pour le moment nous avons vu les concepts suivants :

- Bases de la programmation impérative
- Génie logiciel : programmation modulaire, tests
- Complexité

Pourquoi aller plus loin ?

Résumé des épisodes précédents . . .

Pour le moment nous avons vu les concepts suivants :
- Bases de la programmation impérative
- Génie logiciel : programmation modulaire, tests
- Complexité

Pourquoi aller plus loin ?

Passage à l'échelle :

Résumé des épisodes précédents . . .

Pour le moment nous avons vu les concepts suivants :

- Bases de la programmation impérative
- Génie logiciel : programmation modulaire, tests
- Complexité

Pourquoi aller plus loin ?

Passage à l'échelle :

Performances !

A. Une motivation : performances

performances.cpp

```
    for ( int i = 0; i < n; i++ )
        for ( int j = 0; j < n; j++ )
            t[i][j] = i+j;
```

A. Une motivation : performances

performances.cpp

```
for ( int i = 0; i < n; i++ )
    for ( int j = 0; j < n; j++ )
        t[i][j] = i+j;
```

Complexité ?

A. Une motivation : performances

performances.cpp

```
    for ( int i = 0; i < n; i++ )
        for ( int j = 0; j < n; j++ )
            t[i][j] = i+j;
```

Complexité ? $O(n^2)$

A. Une motivation : performances

performances.cpp

```
for ( int i = 0; i < n; i++ )
    for ( int j = 0; j < n; j++ )
        t[i][j] = i+j;
```

Complexité ? $O(n^2)$

Voyons cela en pratique :

```
> g++ -std=c++11 -O9 performances.cpp -o performances
```

```
> time performances 5000
performances 5000  0,06s user 0,06s system 98% cpu 0,130 total

> time performances 10000
performances 10000  0,35s user 0,26s system 99% cpu 0,610 total

> time performances 20000
performances 20000  1,46s user 1,09s system 99% cpu 2,560 total
```

Analyse du banc d'essai

Jusqu'ici, tout va bien :

– La complexité pratique est de $O(n^2)$:

$$\text{taille } n \times 2 \quad \Longrightarrow \quad \text{temps } \times 4$$

Analyse du banc d'essai

Jusqu'ici, tout va bien :

- La complexité pratique est de $O(n^2)$:

$$\text{taille } n \times 2 \quad \Longrightarrow \quad \text{temps } \times 4$$

- Environ 10^9 opérations par secondes

```
> time performances 10000
performances 10000  0,35s user 0,26s system 99% cpu 0,610 total
```

Analyse du banc d'essai

Jusqu'ici, tout va bien :

- La complexité pratique est de $O(n^2)$:

$$\text{taille } n \times 2 \quad \Longrightarrow \quad \text{temps } \times 4$$

- Environ 10^9 opérations par secondes

```
> time performances 10000
performances 10000  0,35s user 0,26s system 99% cpu 0,610 total
```

Une bizarrerie ! ? !

- Avec `t[i][j]` $\longrightarrow$ `t[j][i]` : 10 fois plus lent !

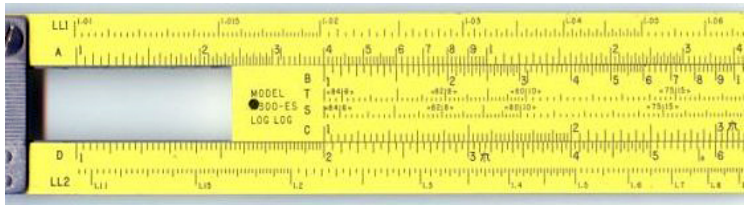
```
> time performances 10000
performances 10000  3,47s user 0,18s system 99% cpu 3,650 total
```

Bilan

- Notre **modèle d'exécution** ne rend pas compte de ce phénomène
- Pour le raffiner il faut mieux connaître
  l'architecture des ordinateurs

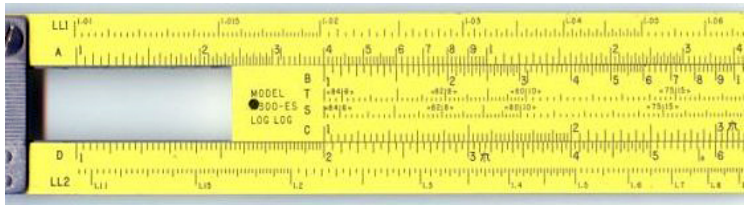
La préhistoire des ordinateurs

– 1614, John Neper invente les logarithmes et la **règle à calcul** :



La préhistoire des ordinateurs

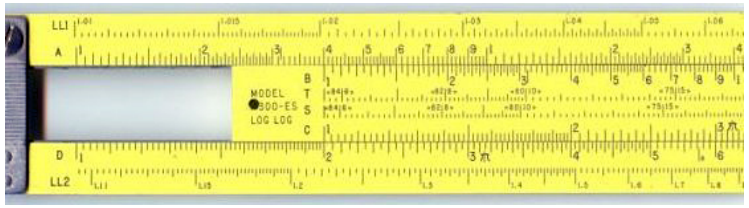
– 1614, John Neper invente les logarithmes et la **règle à calcul** :



– 1623, Wilhelm Schickard construit une machine mécanique en appliquant les idées de Neper

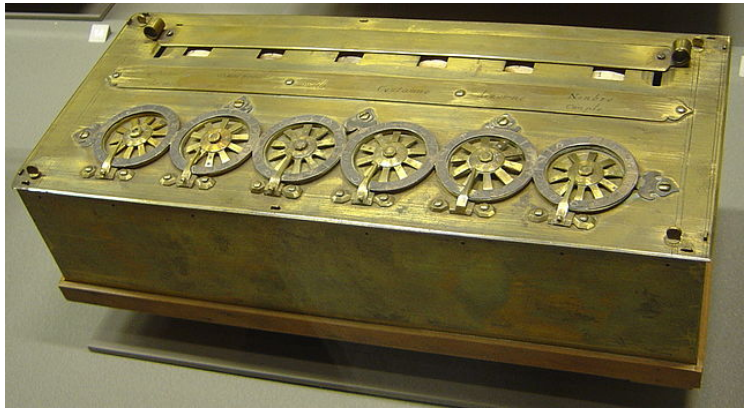
La préhistoire des ordinateurs

– 1614, John Neper invente les logarithmes et la **règle à calcul** :



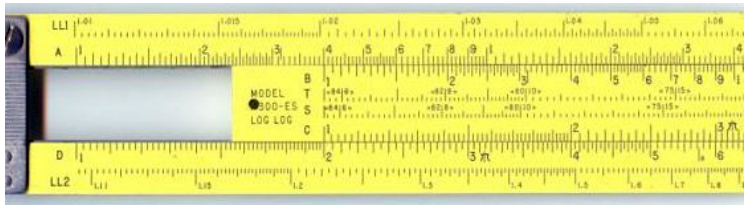
– 1623, Wilhelm Schickard construit une machine mécanique en appliquant les idées de Neper

– 1642, Pascal présente une machine qui additionne et soustrait les nombres de 6 chiffres en base 10 : **la Pascaline**
Exemplaire du Musée des Arts et Métiers :



La préhistoire des ordinateurs

– 1614, John Neper invente les logarithmes et la **règle à calcul** :



– 1623, Wilhelm Schickard construit une machine mécanique en appliquant les idées de Neper

– 1642, Pascal présente une machine qui additionne et soustrait les nombres de 6 chiffres en base 10 : **la Pascaline**
Exemplaire du Musée des Arts et Métiers :

– 1672, amélioration par Leibnitz :
chariot mobile pour multiplications et divisions

Le XIX^{e} siècle

– 1805, Joseph Jacquard (d'après des idée de Falcon en 1728) : cartes perforées pour métiers à tisser : c'est le premier **programme**.

Le XIX^{e} siècle

- 1805, Joseph Jacquard (d'après des idée de Falcon en 1728) : cartes perforées pour métiers à tisser : c'est le premier **programme**.

- 1822, Charles Babage essaye de faire une **Machine Analytique**
  - machine pilotée par cartes perforées décrivant la séquence d'instructions (programme extérieur) ;
  - notion de processeur, de mémoire (magasin), d'unité centrale (moulin) ;
  - entrée et sortie par cartes perforées.
  - programmes d'**Ada Augusta Lovelace**
  - ne fonctionnera jamais

Le XIX^{e} siècle

- 1805, Joseph Jacquard (d'après des idée de Falcon en 1728) : cartes perforées pour métiers à tisser : c'est le premier **programme**.

- 1822, Charles Babage essaye de faire une **Machine Analytique**
  - machine pilotée par cartes perforées décrivant la séquence d'instructions (programme extérieur) ;
  - notion de processeur, de mémoire (magasin), d'unité centrale (moulin) ;
  - entrée et sortie par cartes perforées.
  - programmes d'**Ada Augusta Lovelace**
  - ne fonctionnera jamais

- 1854, **Machine à Différences** (Babage et Scheutz).

Le XIX^{e} siècle (suite)

- 1854, Georges Bool, **Une étude des lois de la pensée**
  Calcul des propositions, logique élémentaire

- Calculateur statistique d'Hermann Hollerith pour les recensements

- Fondation en 1890 de **Tabulating Machine Company** qui devient en 1908 **International Business Machine**

Le XX^{e} siècle : les idées fondatrices

- 1930, Vannevar Bush : analyseur différentiel analogique, utilisé jusque dans les années 1960

- 1936, Alan Turing et les **Machines de Turing**
  Ce que l'on peut calculer et ce que l'on ne peut pas

Le XX^{e} siècle : les idées fondatrices

- 1930, Vannevar Bush : analyseur différentiel analogique, utilisé jusque dans les années 1960

- 1936, Alan Turing et les **Machines de Turing**
  Ce que l'on peut calculer et ce que l'on ne peut pas

- 1938, Claude Shannon invente la **Théorie de l'information** :
  tout peut être représenté par des 0 et des 1
  c'est le début de la numérisation

Le XX^{e} siècle : balbutiements

- 1938, Konrad Zuse, John Atanasoff, Georges Stibitz :
  Machine à calculer électromécanique
  (Zuse : tubes à vide, jugée irréalisable par le gouvernement allemand)

- 1939 La machine électromécanique Enigma (cryptographie)

- 1939-1944, Howard Aiken, machine électromécanique :
  - Multiplication de nombres de 23 chiffres en 6 secondes
  - Addition en 3 dixièmes de seconde

Naissance de l'ordinateur : 1945

- 1945, John Eckert et John Mauchly construisent l'**ENIAC**
  (Electronic Numerical Integrator And Calculator) :
  18000 tubes, 30 tonnes
  Multiplication de nombres de 10 chiffres en 3ms
- 1945, Von Neumann propose l'**EDVAC**
  (Electronic Discrete Variable Automatic Computer) :
  Problèmes de retards et de brevets
- 1949, Maurice Wilkes construit l'**EDSAC**
  (Electronic Delay Storage Automatic Calculator)

Ordinateurs de 1re génération, 1945–1953

- Composants : relais, tubes à vides, résistances

- Logiciels : langage machine seulement

- 1951, Eckert et Mauchly, construisent l'**UNIVAC**
- 1953, IBM 701 (40 exemplaires) puis IBM 650 (1500 exemplaires)
- **Problème de fiabilité des tubes à vides...**

Industrie de l'informatique, 2e génération, 1953–1963

- 1948, John Bardeen, Walter Brattain et William Shockley découvrent **le transistor**

- Composants :
  - transistors, mémoire à tores de ferrite
  - imprimantes, bandes magnétiques

- Logiciels :
  - apparition des systèmes d'exploitation
  - langages évolués FORmula TRANslator (1957)
  - COmmon Business Oriented Language (1959)

- Apparition de l'industrie, IBM, DEC, HP, etc.

Industrie de l'informatique, 3^{e} génération, 1963–1975

- Composants : circuits intégrés
- Machine :
  - faible consommation énergétique
  - fiable, encombrement réduit
- Évolutions :
  - Multiprocesseur, temps partagé, accès interactif
  - Apparition des réseaux
  - Premiers problèmes de compatibilité entre machines

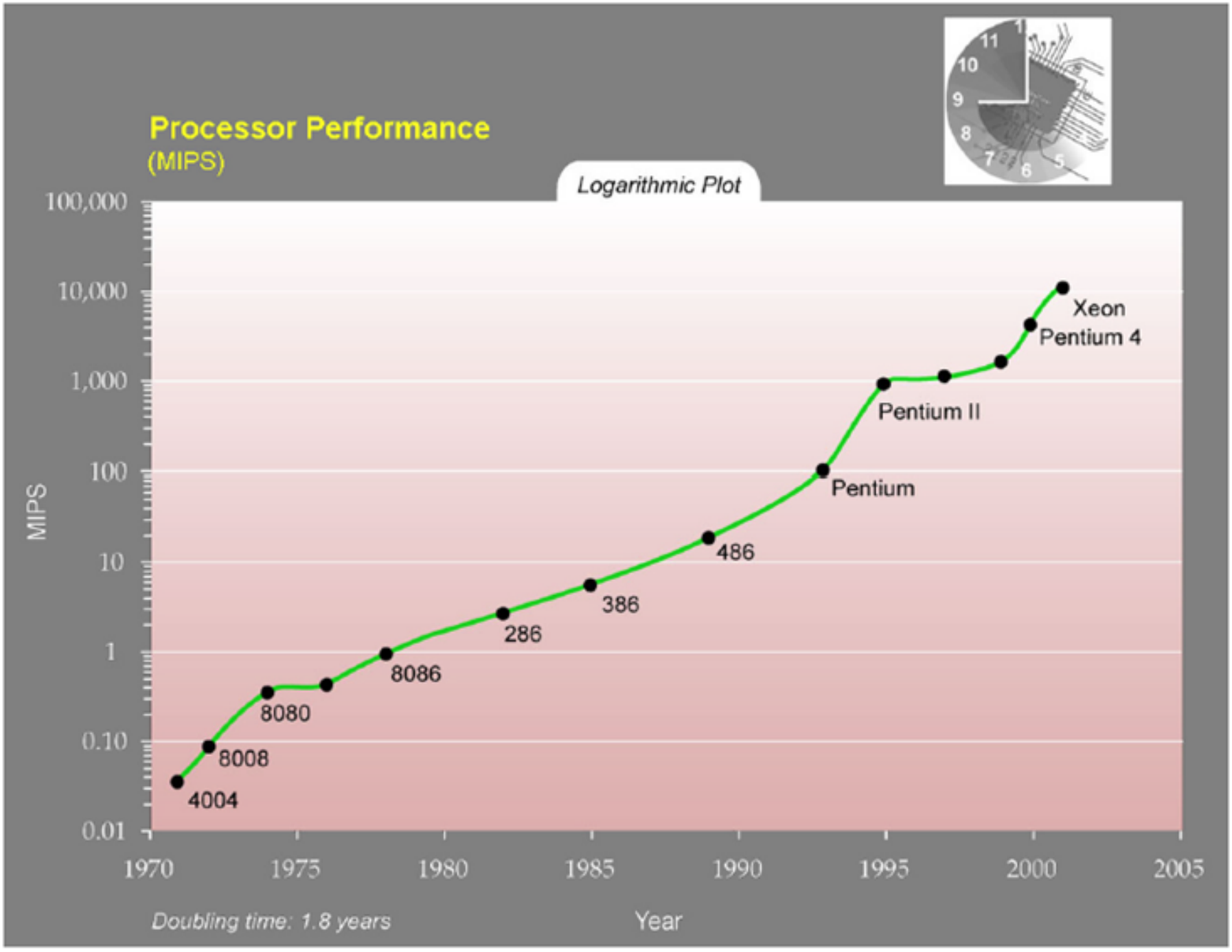
Industrie de l'informatique, 4ème génération, 1975– ?

- Composants :
  - Very Large Scale Integration :
    Centaines de milliers puis millions de transistors sur une puce !
  - Premier microprocesseur INTEL 4004 (1971)

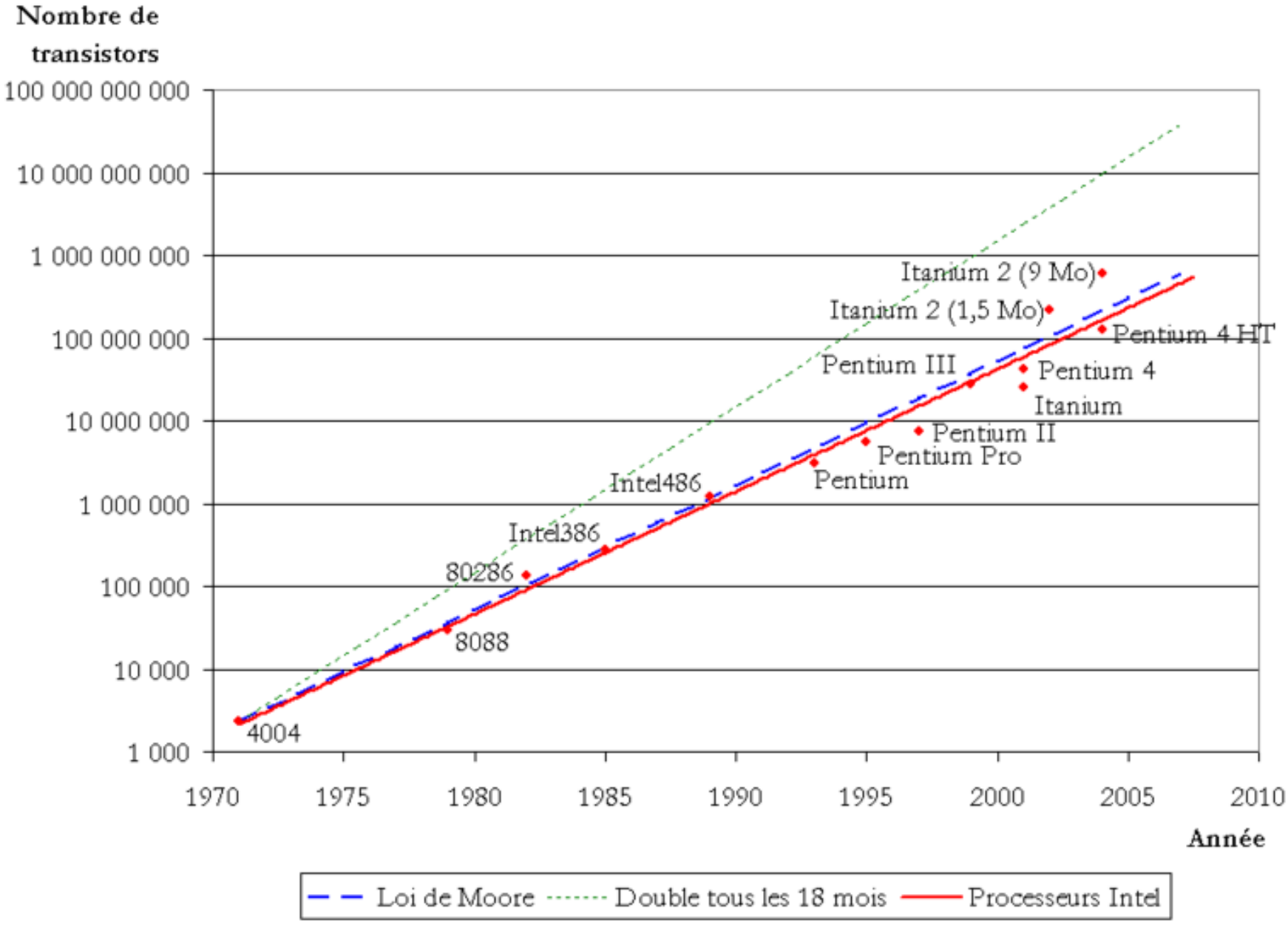
- Logiciel
  - Traitement distribué, machine virtuelle
  - Réseau, base de données
  - Accessibilité au grand public

- Évolution :
  - Parallélisme d'exécution (pipe-line, vectorisation)
  - Ordinateurs personnels
  - Augmentation en puissance

Évolution : performance des processeurs



Évolution : nombre de transistors par processeur



Loi de Moore : doublement tous les 18 mois

Jusqu'à quand ?

On atteint les limites physiques

- Transistors à l'échelle de quelques centaines d'atomes
- Prix des usines qui double à chaque itération

Jusqu'à quand ?

On atteint les limites physiques

- Transistors à l'échelle de quelques centaines d'atomes
- Prix des usines qui double à chaque itération

Évolution récente : parallélisme d'exécution

- Multicoeur / multiprocesseur
- Pipe-line
- Fermes d'ordinateurs (par ex. dans le « nuage »)

Mais : **Principes de Von Neumann toujours valables**

C. Des transistors aux unités programmables

Idée clef

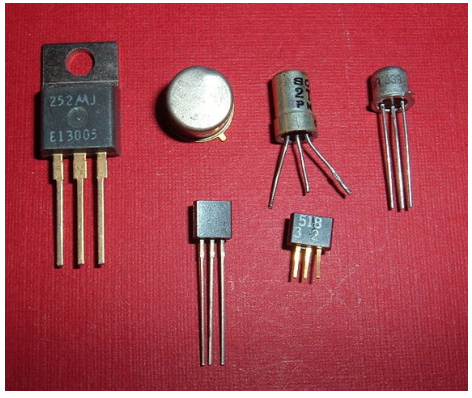
Un bit va être représenté par une tension en un point d'un circuit électronique

Par exemple :

- 1 : +5V
- 0 : +0V

Le transistor : un interrupteur commandé

Composant électronique :



Miniaturisation :

Une puce électronique : des milliards de transistors

Principe de fonctionnement

Des transistors aux portes logiques

Exemple : portes « et »

Exemple : portes « ou »

Exemple : portes « non »

Des portes logiques aux unités de calcul

Exemple : un additionneur un bit

Exemple : un additionneur deux bits

Unités programmables

Jeu d'instructions d'un processeur

Ensemble des instructions reconnues par l'unité de contrôle

Par exemple (ici sous forme d'**assembleur**) :

- `mov a, b` : copier le contenu de la case a dans la case b
- `imul a, b` : multiplier le contenu de a par celui de b et mettre le résultat dans b
- ...

Architecture du processeur

- En principe, un programme binaire fonctionnera sur tout processeur supportant le même jeu d'instruction
- Pour cela, on appelle souvent le jeu d'instruction l'**architecture du processeur**
- Exemples : x86, x86-64, ARM, sparc, ...

D. Mémoire

Niveau physique : mémoriser un bit ?

D. Mémoire

Niveau physique : mémoriser un bit ?

Exemple : un condensateur

- Principe : charger électriquement
- Problème : il y a des pertes
  $\Longrightarrow$ Rafraîchissement régulier nécessaire !
- Application : mémoire vive

D. Mémoire

Niveau physique : mémoriser un bit ?

Exemple : un condensateur

- Principe : charger électriquement
- Problème : il y a des pertes
  $\Longrightarrow$ Rafraîchissement régulier nécessaire !
- Application : mémoire vive

Exemple :

- Principe : magnétiser un composant
- Problème : plus lent
- Application : mémoire permanente :
  disque durs, mémoire flash : clefs USB, disques SDRAM

D. Mémoire

Niveau physique : mémoriser un bit ?

Exemple : un condensateur

- Principe : charger électriquement
- Problème : il y a des pertes
  $\Longrightarrow$ Rafraîchissement régulier nécessaire !
- Application : mémoire vive

Exemple :

- Principe : magnétiser un composant
- Problème : plus lent
- Application : mémoire permanente :
  disque durs, mémoire flash : clefs USB, disques SDRAM

Problème

Changer d'état consomme de l'énergie
$\Longrightarrow$ *principale cause de consommation d'un ordinateur*

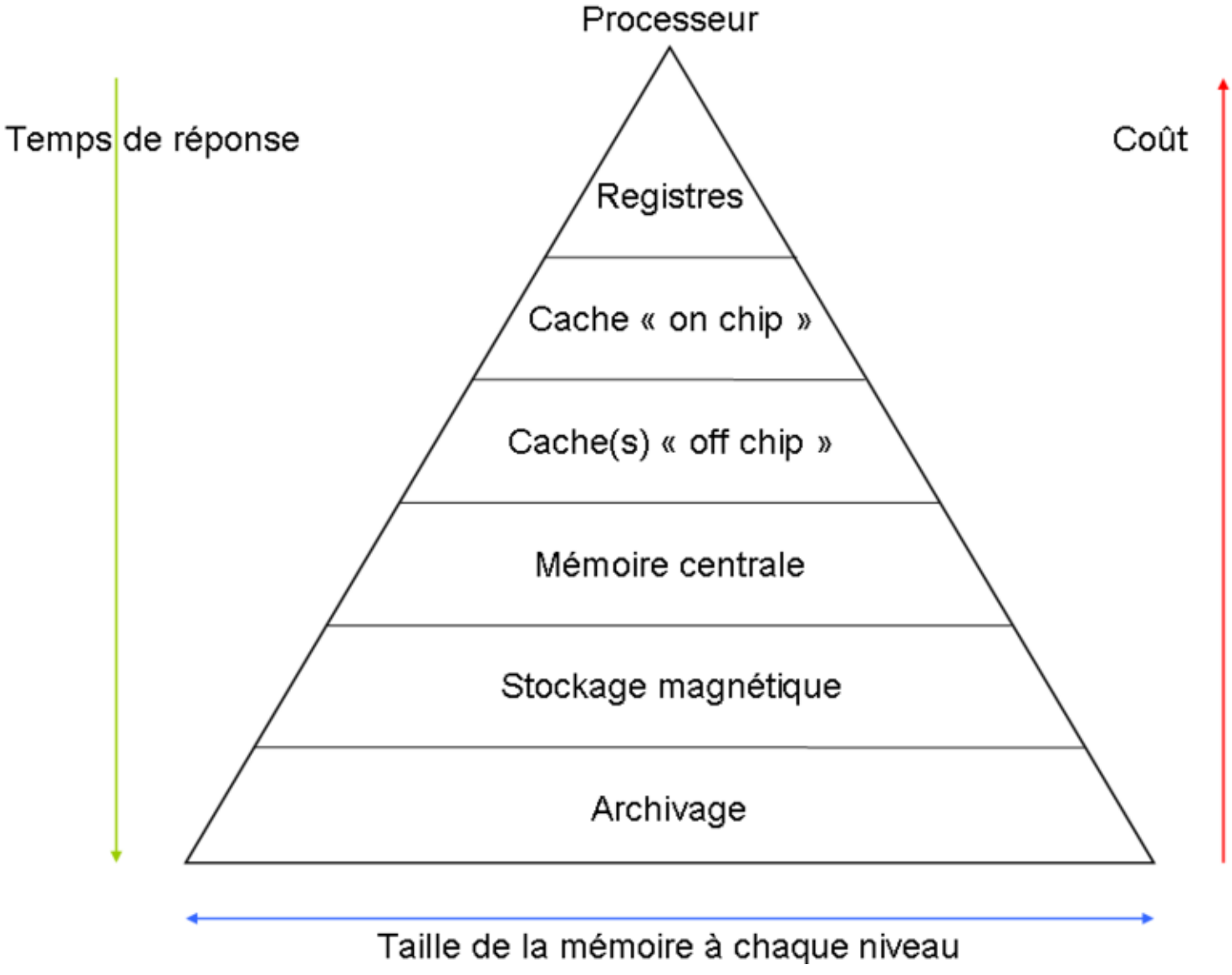
Les niveaux de mémoire

Problème

- La mémoire très rapide est très chère
- La lumière ne va pas vite ! ! !
  à 300000km/s et 1GHz : 30 cm par cycle d'horloge
- Ondes électromagnétiques dans des circuits :
  nettement plus lent

Les niveaux de mémoire

Solution : plusieurs niveaux de mémoire



Explication de la bizarrerie

performances.cpp

```
    for ( int i = 0; i < n; i++ )
        for ( int j = 0; j < n; j++ )
            t[i][j] = i+j;
```

Analogie : parcourir une encyclopédie en 10 tomes

Fautes de caches

Architecture système ?

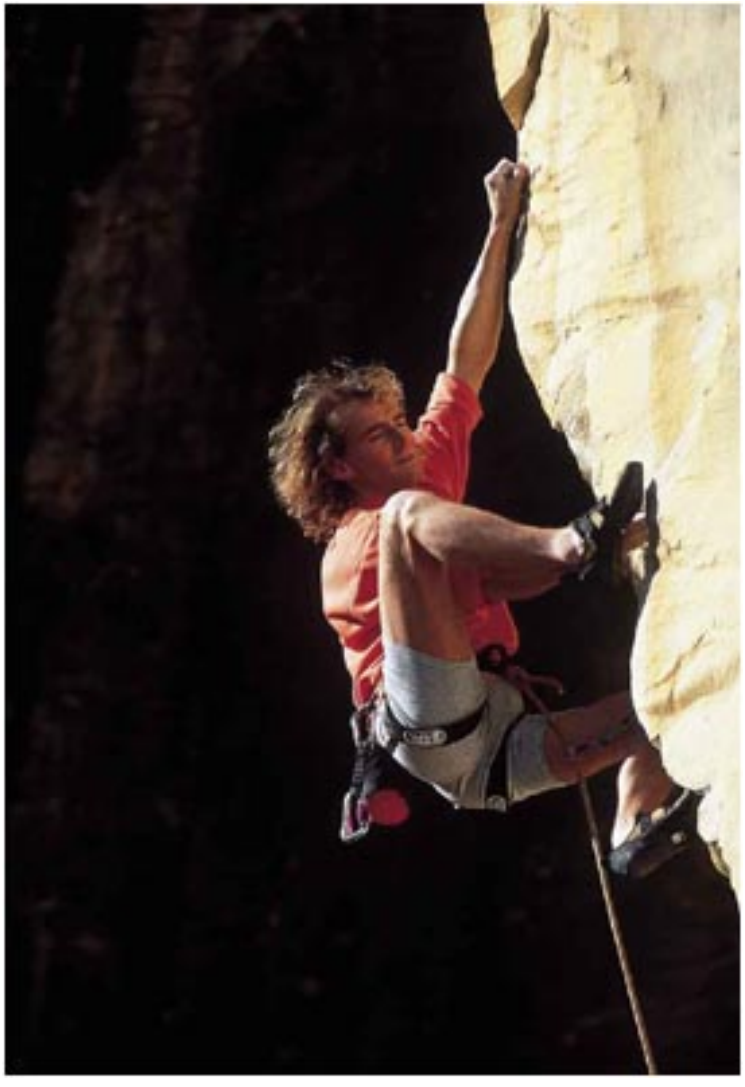
Trois niveaux possibles

1. Vue générale
   - Agencement des divers composants (processeur, mémoire, ...)
   - relations, communications entre eux

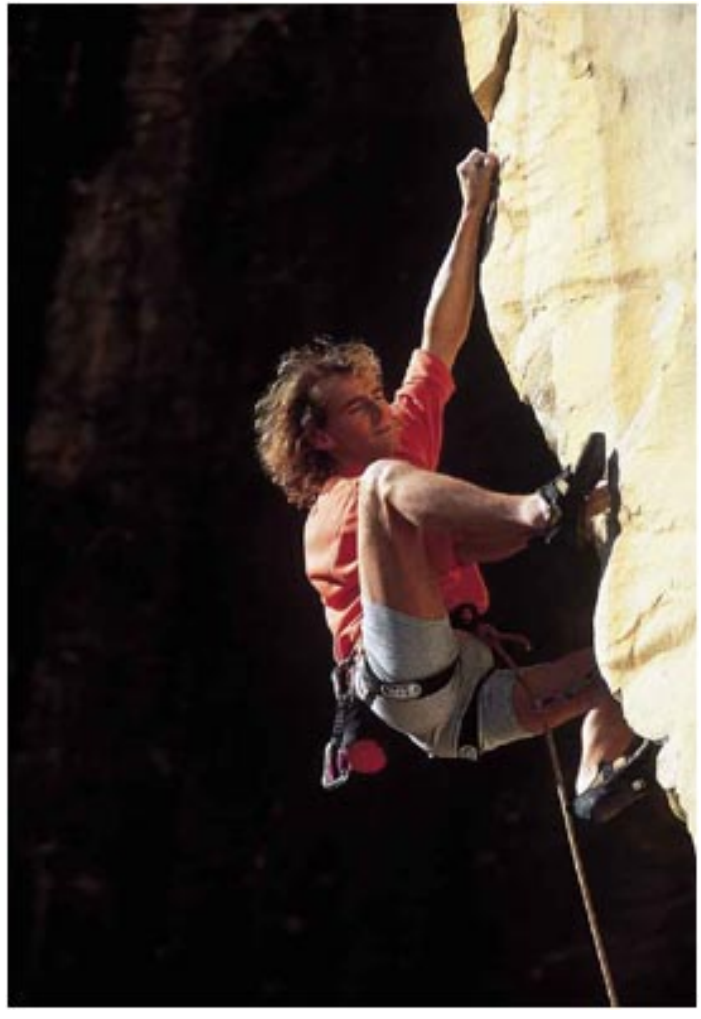
2. Niveau macroscopique
   - Structure interne des composants
   - Jeu d'instructions

3. Niveau microscopique
   - composants électriques / électroniques
   - présentés sous leur aspect logique

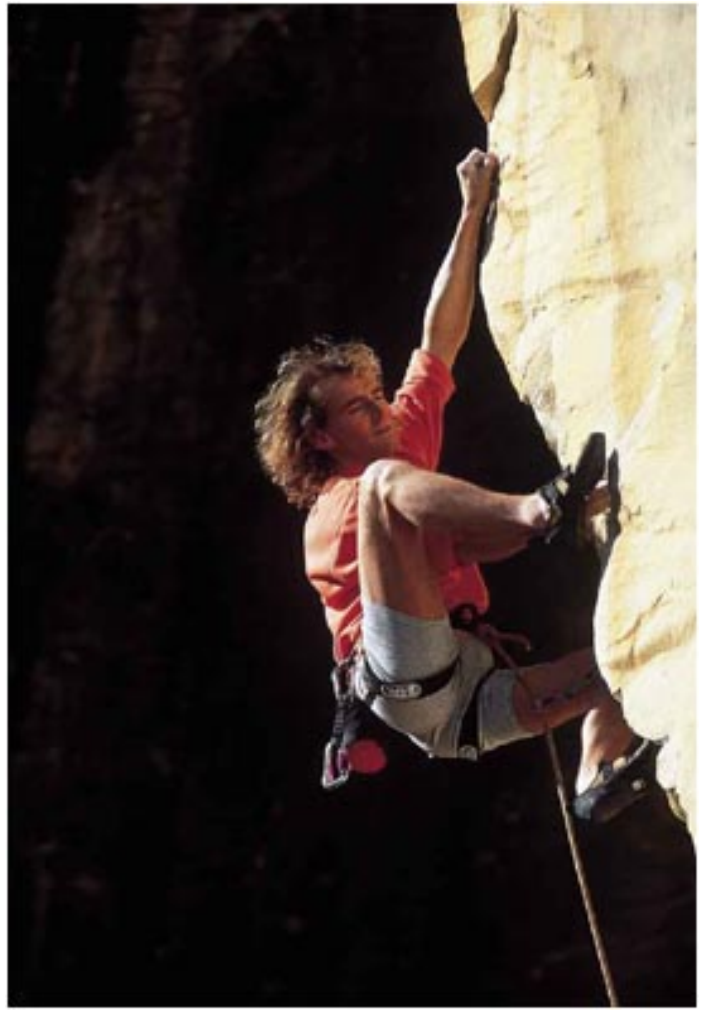
E. Accro aux tests ? Une micro introduction au test logiciel



La métaphore du grimpeur

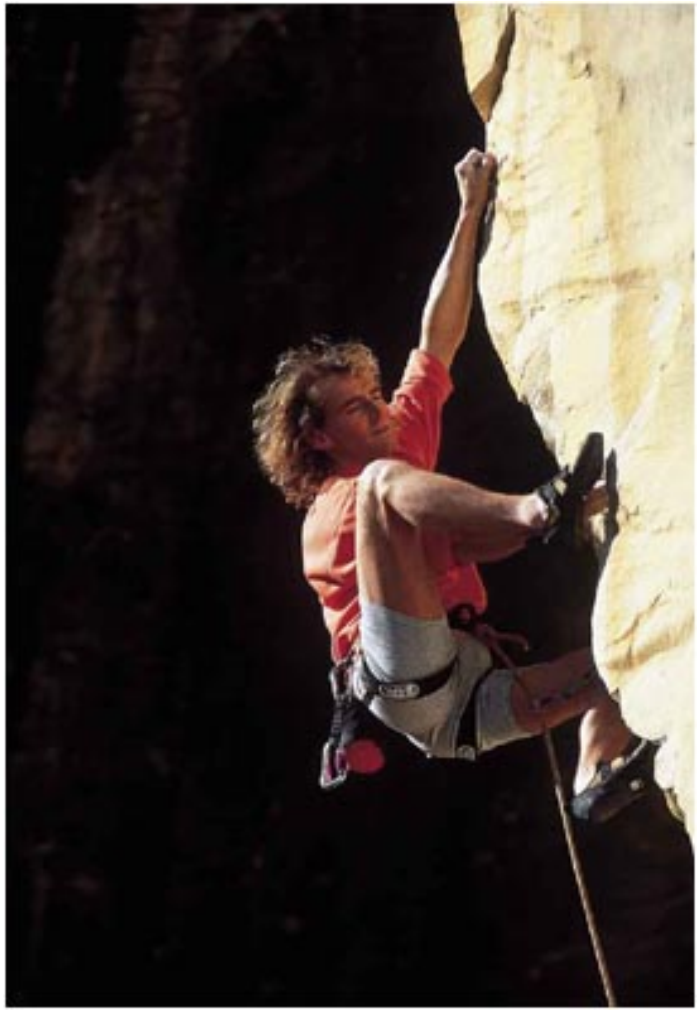


La métaphore du grimpeur



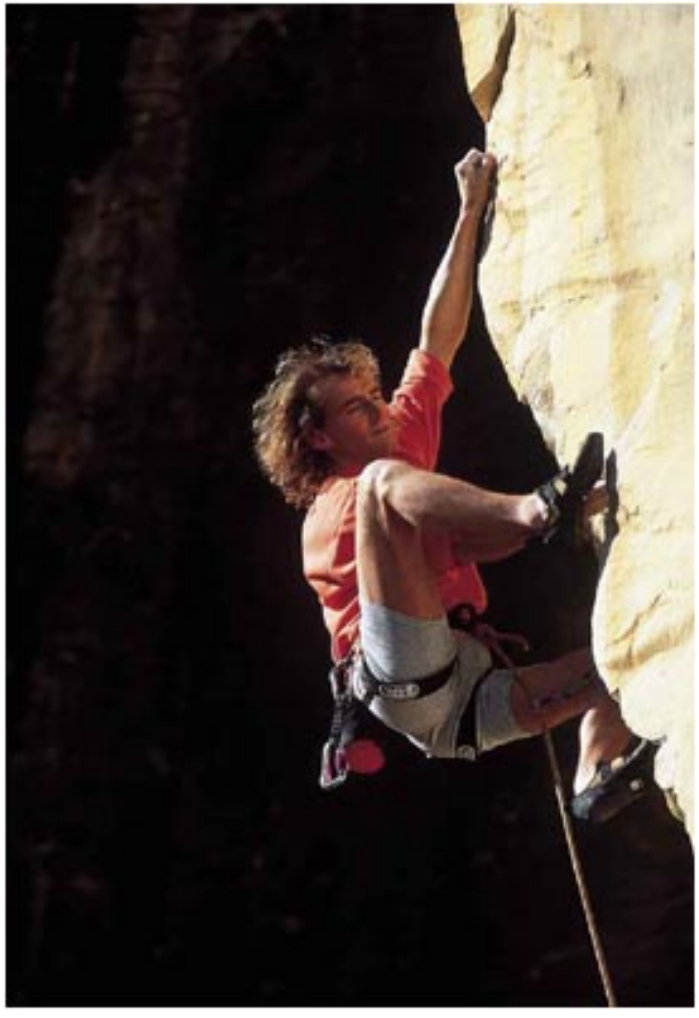
– Qui peut tenter les voies les plus difficiles ?

La métaphore du grimpeur



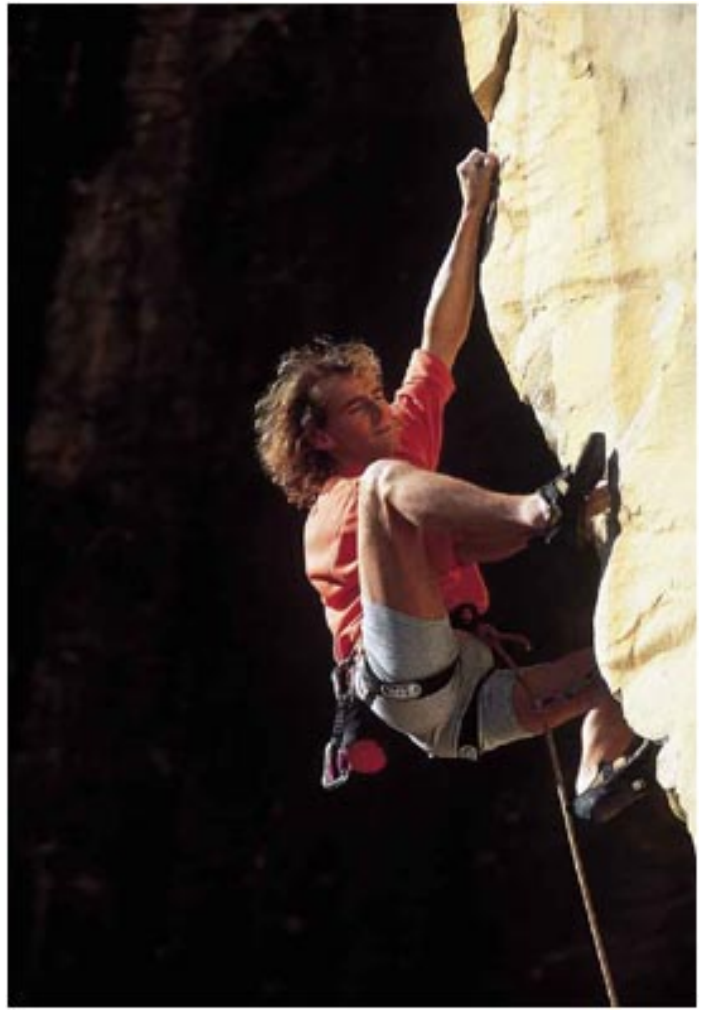
- Qui peut tenter les voies les plus difficiles ?
- Qui peut tenter des mouvements audacieux ?

La métaphore du grimpeur



- Qui peut tenter les voies les plus difficiles ?
- Qui peut tenter des mouvements audacieux ?
- Qui peut expérimenter et innover ?

La métaphore du grimpeur



- Qui peut tenter les voies les plus difficiles ?
- Qui peut tenter des mouvements audacieux ?
- Qui peut expérimenter et innover ?
- Qui se fait plaisir ?

E. 2. Les risques en informatique

http://fr.wikibooks.org/wiki/Introduction_au_test_logiciel/Introduction

E. 2. Les risques en informatique

http://fr.wikibooks.org/wiki/Introduction_au_test_logiciel/Introduction

Niveau de sureté

Exemple : normes pour l'aviation :
http://fr.wikipedia.org/wiki/DO-178

Les risques en informatique, pour tous

– Je soutiens mon projet dans 5 minutes. Ma démo va-t'elle marcher ?

Les risques en informatique, pour tous

– Je soutiens mon projet dans 5 minutes. Ma démo va-t'elle marcher ?
  Stress

Les risques en informatique, pour tous

- Je soutiens mon projet dans 5 minutes. Ma démo va-t'elle marcher ?
  Stress
- Je suis tenté de changer xxx ; vais-je tout casser ?

Les risques en informatique, pour tous

- Je soutiens mon projet dans 5 minutes. Ma démo va-t'elle marcher ?
  Stress
- Je suis tenté de changer xxx ; vais-je tout casser ?
  Stress

Les risques en informatique, pour tous

- Je soutiens mon projet dans 5 minutes. Ma démo va-t'elle marcher ?
  Stress
- Je suis tenté de changer xxx ; vais-je tout casser ?
  Stress
  Asphyxie de la créativité

Vos filets de sécurité

Les tests automatiques (ASSERT)

– Mesure de la robustesse de votre code

Vos filets de sécurité

Les tests automatiques (ASSERT)

– Mesure de la robustesse de votre code

La gestion de version (`git`, `mercurial`, ...)

– Principe : sauvegarder les version intermédiaires

Vos filets de sécurité

Les tests automatiques (ASSERT)

– Mesure de la robustesse de votre code

La gestion de version (`git`, `mercurial`, ...)

– Principe : sauvegarder les version intermédiaires
– Tout devient réversible
– Retour à la dernière version qui marche ; ouf !

Vos filets de sécurité

Les tests automatiques (ASSERT)

– Mesure de la robustesse de votre code

La gestion de version (`git`, `mercurial`, ...)

– Principe : sauvegarder les version intermédiaires
– Tout devient réversible
– Retour à la dernière version qui marche ; ouf !
– Travail collaboratif
– Apprennez à l'utiliser !

Vos filets de sécurité

Les tests automatiques (ASSERT)

– Mesure de la robustesse de votre code

La gestion de version (`git`, `mercurial`, ...)

– Principe : sauvegarder les version intermédiaires
– Tout devient réversible
– Retour à la dernière version qui marche ; ouf !
– Travail collaboratif
– Apprennez à l'utiliser !

Programmation incrémentale

– Un petit changement à la fois

Vos filets de sécurité

Les tests automatiques (ASSERT)

- Mesure de la robustesse de votre code

La gestion de version (`git`, `mercurial`, ...)

- Principe : sauvegarder les version intermédiaires
- Tout devient réversible
- Retour à la dernière version qui marche ; ouf !
- Travail collaboratif
- Apprennez à l'utiliser !

Programmation incrémentale

- Un petit changement à la fois

Bases des **Méthodes agiles**

- Remettre le développeur au coeur du processus
- `http://fr.wikipedia.org/wiki/Extreme_programming`

E. 3. Il faut aller plus loin ! ♣

- Article « infecté par les tests »
  http://junit.sourceforge.net/doc/testinfected/testing.htm
- http://fr.wikibooks.org/wiki/Introduction_au_test_logiciel

- Tests unitaires en Java :
  http://junit.org/
- Tests unitaires en C++ :
  http://cppunit.sourceforge.net/doc/cvs/cppunit_cookbook.html

F. Conclusion : qu'avons nous vu ce semestre ?

F. Conclusion : qu'avons nous vu ce semestre ?

Les bases de la programmation impérative

- Instructions de contrôle de flot (conditionnelles, itératives)
- Types de données
- Fonctions, modules
- Entrées-sorties

F. Conclusion : qu'avons nous vu ce semestre ?

Les bases de la programmation impérative

- Instructions de contrôle de flot (conditionnelles, itératives)
- Types de données
- Fonctions, modules
- Entrées-sorties

Un peu de méthodologie de développement

- Documentation, tests
- Programmation incrémentale

F. Conclusion : qu'avons nous vu ce semestre ?

Les bases de la programmation impérative

- Instructions de contrôle de flot (conditionnelles, itératives)
- Types de données
- Fonctions, modules
- Entrées-sorties

Un peu de méthodologie de développement

- Documentation, tests
- Programmation incrémentale

Une esquisse de quelques outils

- Algorithmique, structures de données, complexité, architecture, ...

F. Conclusion : qu'avons nous vu ce semestre ?

Les bases de la programmation impérative

- Instructions de contrôle de flot (conditionnelles, itératives)
- Types de données
- Fonctions, modules
- Entrées-sorties

Un peu de méthodologie de développement

- Documentation, tests
- Programmation incrémentale

Une esquisse de quelques outils

- Algorithmique, structures de données, complexité, architecture, ...

Ce n'est que le début de l'aventure !