Information, Calcul et Communication

CS-119(g) ICC – Théorie
Semaine 1

Rafael Pires
rafael.pires@epfl.ch

Lausanne, 12.09.2025

Documents de cours

- Toutes les informations et liens vers les documents de cours sont sur **Moodle** cours CS-119(g)

  https://moodle.epfl.ch/course/view.php?id=15751
- Tous les cours sont **enregistrés**
  - **Enregistrement** à retrouver sur Moodle après
- Pour vos questions : **Ed Discussion**
  - Posez vos **questions** sur le cours, les exercices etc.
  - **Catégorisez** votre question correctement

Remerciements : Olivier Lévêque, Barbara Jobstmann

Partie théorique (logistique)

Cours :
- Les vendredis matin de 9h15 à 11h, en salle PO 01
- Diffusion en temps réel sans interaction, enregistrement disponible au plus tard le lendemain.

Exercices :
- Séances d'exercices les vendredis de 15h15 à 16h00 (infos sur Moodle).
- Sessions d'appui

Références (liens sur Moodle) :
- Questions : Ed discussion
- Livre « Découvrir le numérique », EPFL Press, 2016
- Vidéos sur mediaspace.epfl.ch et MOOC sur courseware.epfl.ch

Évaluations

Élements notés :

- Midterm (**30%**)
- Final (**55%**)
- Miniprojet (**10%**)
- Quiz (**5%**)

Retour du corps estudiantin pour contribuer à l'amélioration des cours :

- **Semaine 5 : feedback indicatif**

  Le déroulement du cours permet ma formation et un climat de classe approprié ?

  - Sur **ISA**

- **Semaine 13 : évaluation approfondie**

  - Sur **Moodle**

EPFL

Pourquoi un cours d'introduction à l'informatique pour SV ?

- **4e pilier** de la culture (après la lecture, l'écriture et l'arithmétique)
- Elle constitue désormais une **discipline scientifique à part entière** : la science du traitement automatique de l'information.
- L'informatique a non seulement changé notre société, mais aussi **notre façon de faire de la science**.
- De nos jours, tout·e ingénieur·e qui maîtrise les sciences du numérique a clairement un avantage sur les autres...

Pourquoi un cours d'introduction à l'informatique pour SV ?

https://www.genome.gov/about-genomics/fact-sheets/Sequencing-Human-Genome-cost

Aujourd’hui

- **Introduction au cours et représentation de l’information**
- Représentation binaire des nombres entiers
- Représentation binaire des nombres réels
- Représentation des données : Texte et images

EPFL

ICC

Information

Calcul

Communication

ICC

Information

Calcul

Communication

Données

Traitement

Transfert

ICC

Information

Données

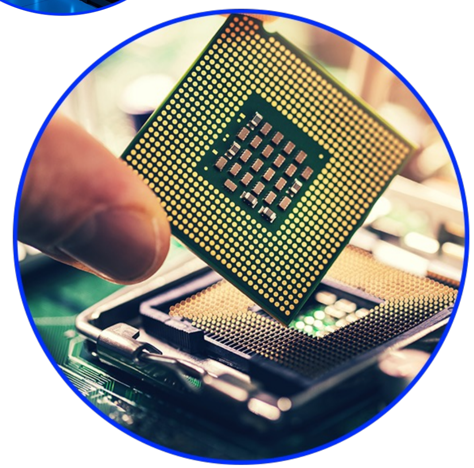
Calcul

Traitement

Communication

Transfert

Stockage



Processeur

Réseau

ICC

Information

Données Stockage

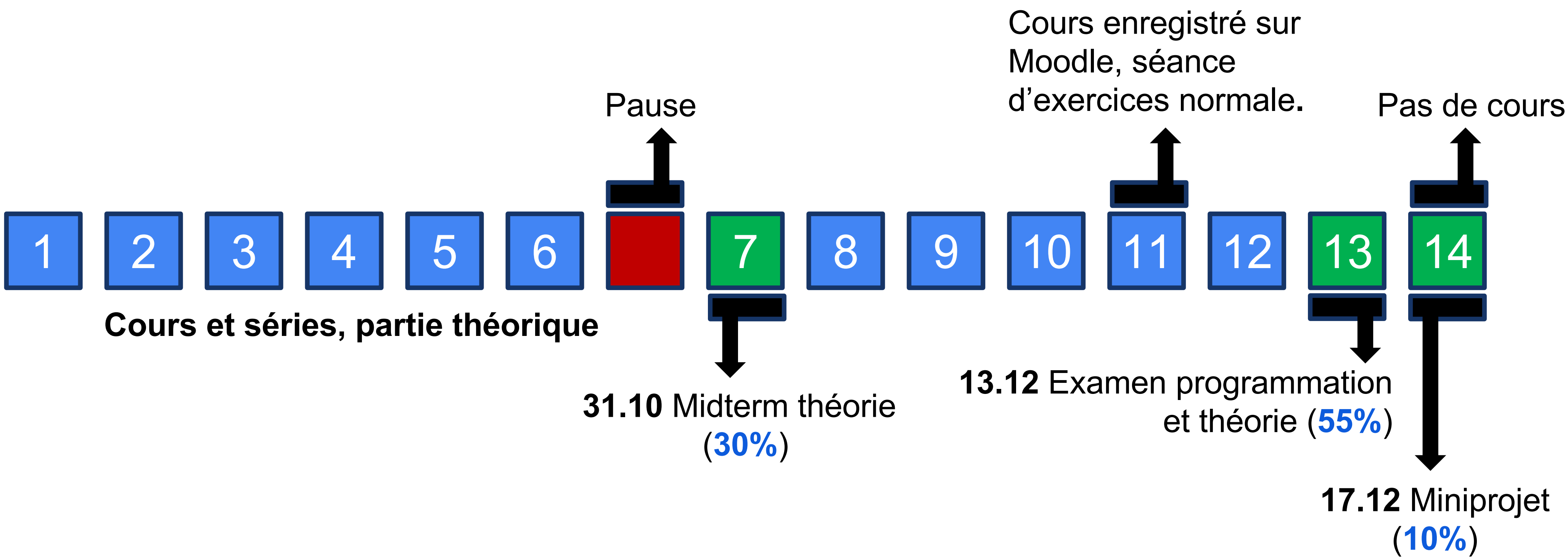
Calcul

Traitement Processeur

Communication

Transfert Réseau

Programme du cours



Programme du cours

Communication

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

Information / Calcul

Information

Calcul

Programme du cours

Calcul

- Algorithmes
- Complexité
- Conception d'algorithmes
- Calculabilité
- Circuits, architecture

Information

- Représentation de nombres
- Echantillonnage et reconstruction de signaux
- Entropie
- Compression

Communication

- Réseau
- Cryptographie

EPFL

Programme du cours

Calcul

- Algorithmes
- Complexité
- Conception d’algorithmes
- Calculabilité
- Circuits, architecture

Information

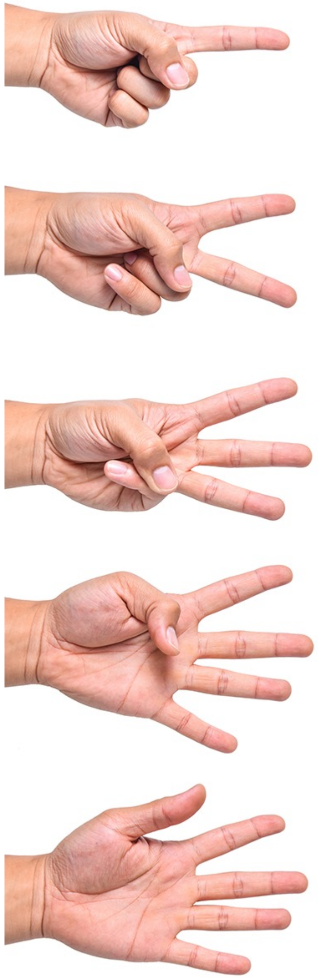
- **Représentation de nombres**
- Echantillonnage et reconstruction de signaux
- Entropie
- Compression

Communication

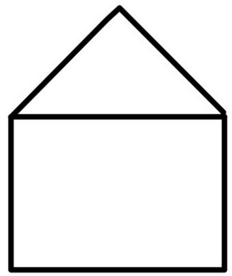
- Réseau
- Cryptographie

EPFL

Représentation de l’information



- Il existe plusieurs façons de représenter une information.
  - maison
  - Haus
  - casa
  - chasa
  - house
  - domus

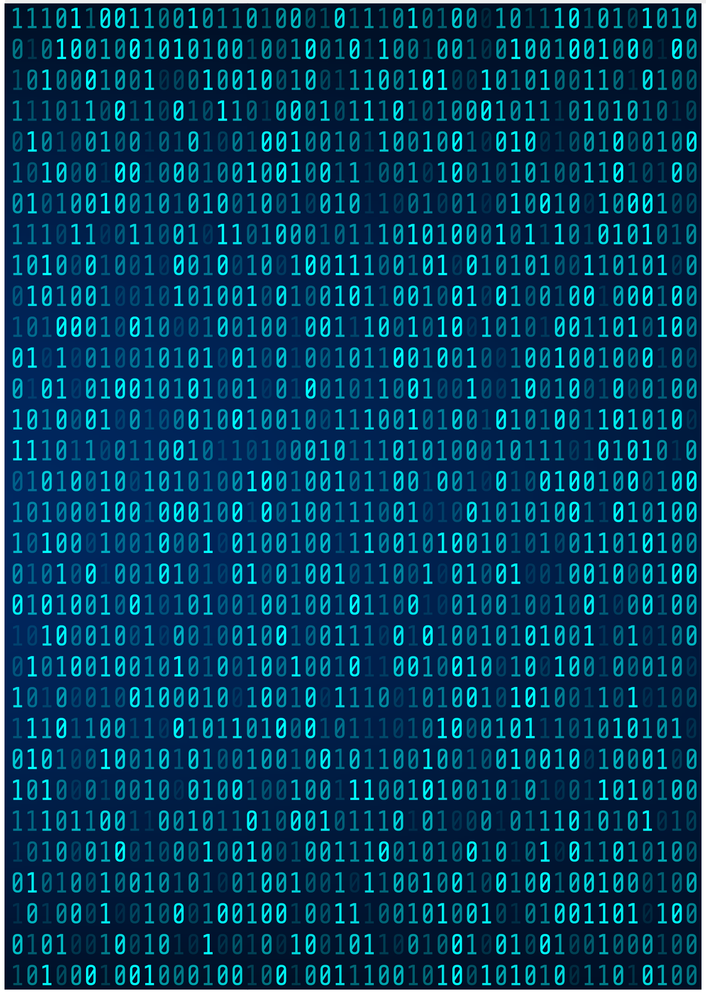


- Mais encore:

- Code Morse :
  - -- .- .. ... --- -.
- Code ASCII hexadécimal
  - 4D 41 49 53 4F 4E
- Code ASCII décimal :
  - 77 65 73 83 79 78
- Code ASCII binaire :
  - 01001101 01000001 …

Représentation = Symboles + Interprétation

Pourquoi choisir la représentation binaire ?



- Réduction à deux symboles (0 et 1) facile à implémenter :

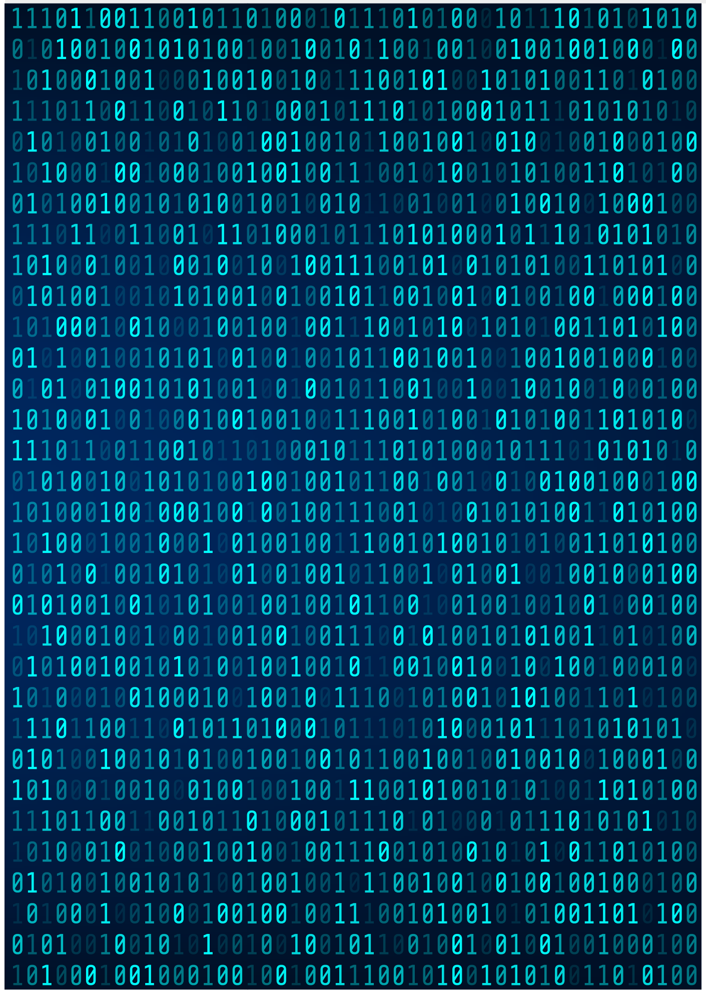
0	1
Circuit ouvert	Circuit fermé
Tension de 0V	Tension de 5V

- Et au fait, pourquoi ne pas choisir un seul symbole, « | » par exemple ?

1 = | 2 = || 3 = ||| 4 = ||||

1’000 = |||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||| …

Pourquoi choisir la représentation binaire ?

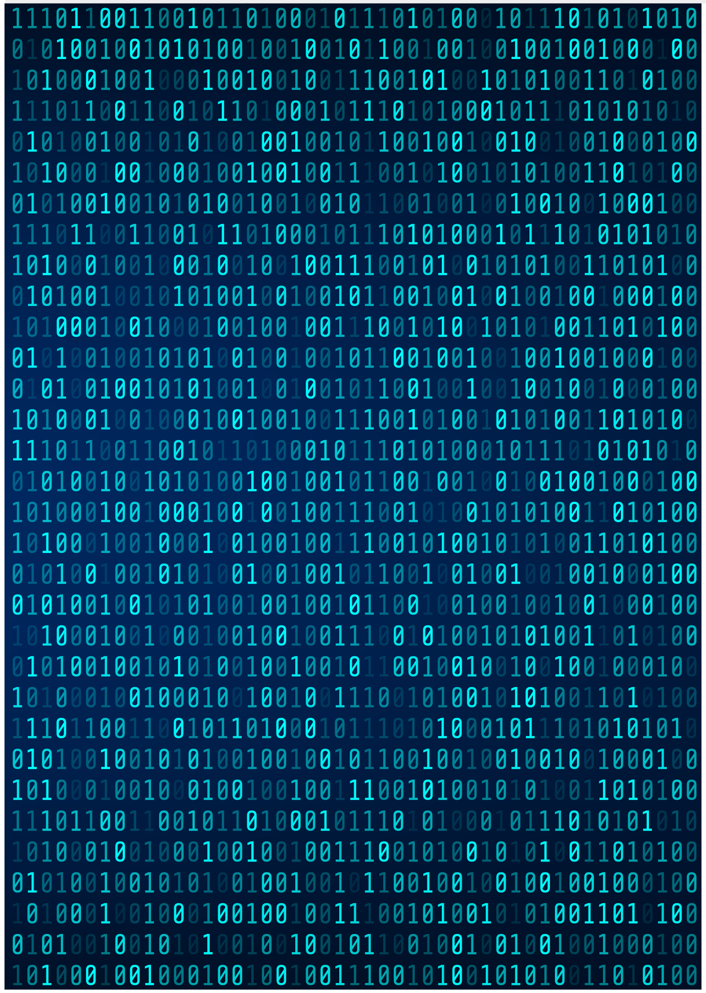


- Combien d'éléments peut-on représenter avec n bits ?

- Exemples :

❖ 1 bit :	« noir » (`0`), « blanc » (`1`)
❖ 2 bits :	est (`00`), ouest (`01`), nord (`10`), sud (`11`)
❖ 8 bits :	256 carctères différents (code ASCII étendu)
❖ 32 bits :	plus de 4 milliards de caractères différents (code UTF-8)

Pourquoi choisir la représentation binaire ?



n		2^n	
1		2	
2		4	
3		8	
4		16	
5		32	
6		64	
7		128	
8		256	
10	Ki	1024	$\approx 10^3$ = kilo (k)
20	Mi	1 048 576	$\approx 10^6$ = mega (M)
30	Gi	1 073 741 824	$\approx 10^9$ = giga (G)
32		4 294 967 296	

Aujourd'hui

- Introduction au cours et représentation de l'information
- **Représentation binaire des nombres entiers**
- Représentation binaire des nombres réels
- Représentation des données : Texte et images

EPFL

Représentation des nombres entiers positifs

- Prenons un exemple de nombre entier positif : 1’984
- Ceci est une représentation ! (la représentation décimale)

$$\begin{aligned} 1'984 &= 1'000 + 900 + 80 + 4 \\ &= 1\,.\,10^3 + 9\,.\,10^2 + 8\,.\,10^1 + 4\,.\,10^0 \end{aligned}$$

D’autres avant nous auraient écrit : M C M L X X X I V

- Mais on peut aussi écrire :

$$\begin{aligned} 1'984 &= 1'024 + 512 + 256 + 128 + 64 \\ &= 1\,.\,2^{10} + 1\,.\,2^9 + 1\,.\,2^8 + 1\,.\,2^7 + 1\,.\,2^6 + 0\,.\,2^5 \\ &\quad + 0\,.\,2^4 + 0\,.\,2^3 + 0\,.\,2^2 + 0\,.\,2^1 + 0\,.\,2^0 \end{aligned}$$

→ **11111000000** en binaire

Représentation des nombres entiers positifs

- Représentation **décimale** :

$$\sum_{j=0}^{m-1} c_j \cdot 10^j, \ m \text{ chiffres } c_j \in \{0,1,\cdots,9\}$$

- Nombre de **chiffres** nécessaires :

$$m = \lceil \log_{10}(N+1) \rceil$$

- Représentation **binaire** :

$$\sum_{i=0}^{n-1} b_i \cdot 2^i, \ n \text{ bits } b_i \in \{0,1\}$$

- Nombre de **bits** nécessaires :

$$n = \lceil \log_2(N+1) \rceil$$

- **Attention** ! Avec n bits, on peut représenter 2^{n} nombres entiers différents : de 0 à $2^{\mathrm{n}} - 1$, **et donc pas 2^{n} lui-même** !
- Exemple: Avec $\mathrm{n} = 8$ bits, intervalle de 0 à $2^8 - 1 = 255$.

Conversion décimal ↔ binaire

- Binaire → décimale :

- Décimale → binaire :

Opérations binaires : multiplication et division

- En binaire, multiplier et diviser par 2 est très facile :

(de même que multiplier et diviser par 10 est facile en décimal)

$$\begin{array}{rr} & 0110 \\ \times & 0010 \\ \hline & 1100 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 6 \\ 2 \\ \hline 12 \end{array} \qquad\qquad \begin{array}{rr} & 0110 \\ \div & 0010 \\ \hline & 0011 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 6 \\ 2 \\ \hline 3 \end{array}$$

- Décalage à gauche
- Décalage à droite

Opérations binaires : addition et soustraction

- **Addition :**

$$
\begin{array}{rr}
 & 111 \\
 & 0101 \\
+ & 0011 \\
\hline
 & 1000
\end{array}
\qquad
\begin{array}{r}
5 \\
3 \\
\hline
8
\end{array}
$$

- **Soustraction :**

$$
\begin{array}{rr}
 & 0^{10} \\
 & 0\cancel{1}01 \\
- & 0011 \\
\hline
 & 0010
\end{array}
\qquad
\begin{array}{r}
5 \\
3 \\
\hline
2
\end{array}
$$

0+0=0 0+1=1

1+1=10 1+1+1=11

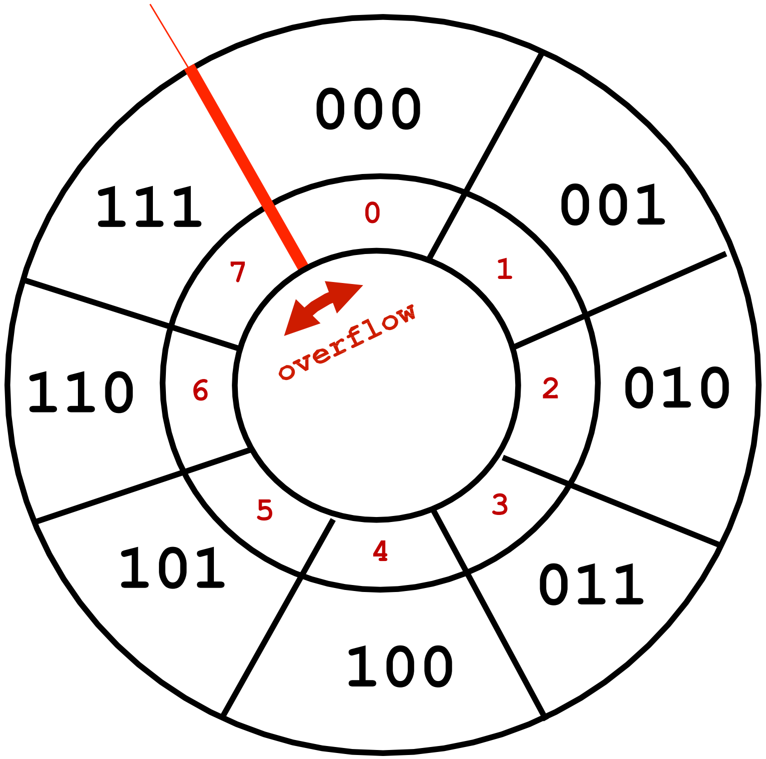
Opérations binaires : dépassement de capacité

- Etant donné la limite imposée par le nombre de bits utilisés, des problèmes de dépassement de capacité (overflow) surviennent lorsqu'on effectue des opérations binaires et que le résultat attendu se trouve en dehors de l'intervalle des nombres représentables.
- n = 4 bits

$$
\begin{array}{rr}
 & \cancel{1}111 \\
 & 1011 \\
+ & 0111 \\
\hline
 & 0010
\end{array}
\qquad
\begin{array}{r}
11 \\
7 \\
\hline
2
\end{array}
\qquad\qquad
\begin{array}{rr}
 & \cancel{1}111 \\
 & 1111 \\
+ & 0001 \\
\hline
 & 0000
\end{array}
\qquad
\begin{array}{r}
15 \\
1 \\
\hline
0
\end{array}
$$

- 11 + 7 = 18, en dehors de {0 ... 15}

Opérations binaires : dépassement de capacité



Nombres négatifs

- **Une solution possible :**

0	0011	+3
1	0011	-3

↑
bit de signe

```
      11
   0 0011    +3
 + 1 0011    -3
 --------   ----
   1 0110    -6
```

Représentation binaire des nombres entiers relatifs

complément à deux

- Avec n bits, on utilise la convention suivante pour représenter les nombres entiers relatifs (positifs et négatifs) :

$$N = -b_{n-1} \cdot 2^{n-1} + \sum_{i=0}^{n-2} b_i \cdot 2^i$$

- Exemple avec 8 bits : $\mathrm{N} = -43$ est représenté par 11010101, car

$$-43 = -128 + 64 + 0 + 16 + 0 + 4 + 0 + 1$$

$$= -1 \,.\, 2^7 + 1 \,.\, 2^6 + 0 \,.\, 2^5 + 1 \,.\, 2^4 + 0 \,.\, 2^3 + 1 \,.\, 2^2 + 0 \,.\, 2^1 + 1 \,.\, 2^0$$

Représentation binaire des nombres entiers relatifs

complément à deux

- Le premier bit est le bit de signe
  - `0` : nombre positif
  - `1` : nombre négatif
- Avec 8 bits, les nombres représentables vont de -128 à +127 :
  - -128 = `10000000`
  - +127 = `01111111`
- -1 = `11111111` avec cette représentation
- +128 n'est pas représentable avec 8 bits!

Opérations binaires : opposés

complément à deux

- Comment représenter -17 avec 8 bits ?

1. On part avec 17 = `00010001`
2. On calcule le complément à 1 de ce nombre :

```
  11111111
– 00010001
  --------
  11101110
```

3. On ajoute 1 à ce nombre (complément à 2) :

```
  11101111
```

-128 + 64 + 32 + 0 + 8 + 4 + 2 + 1 = -17

Opérations binaires : addition et soustraction

complément à deux

~~1~~ 1 1	
0 101	+5
+ 1 101	-3
0 010	+2 ✅

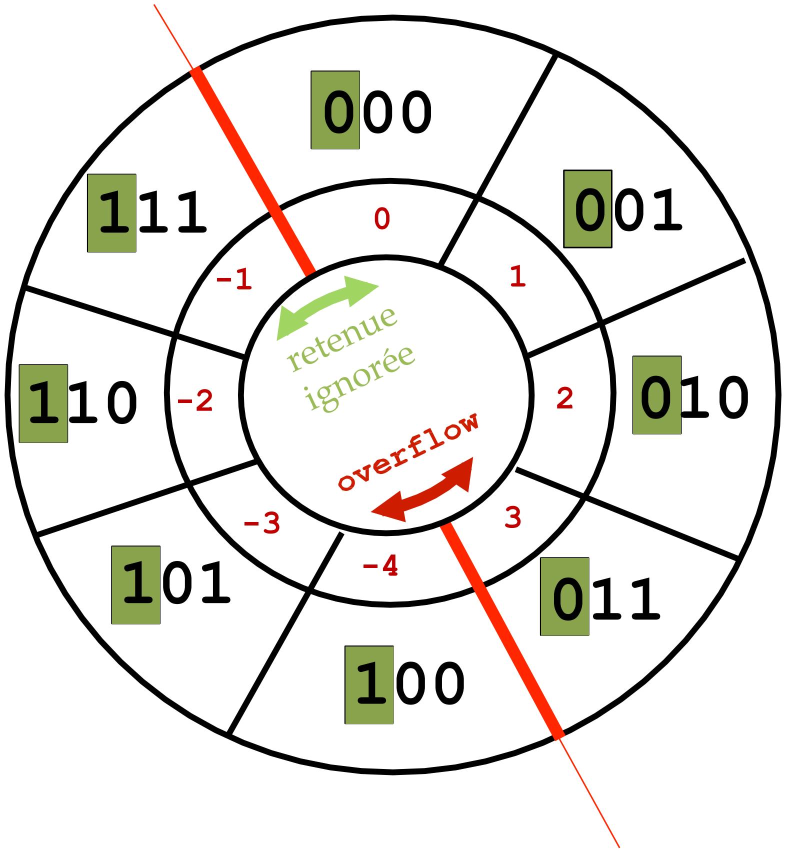
~~1~~ 1 11	
1 011	-5
+ 1 101	-3
1 000	-8 ✅

~~1~~ 11	
1 011	-5
+ 1 011	-5
0 110	+6

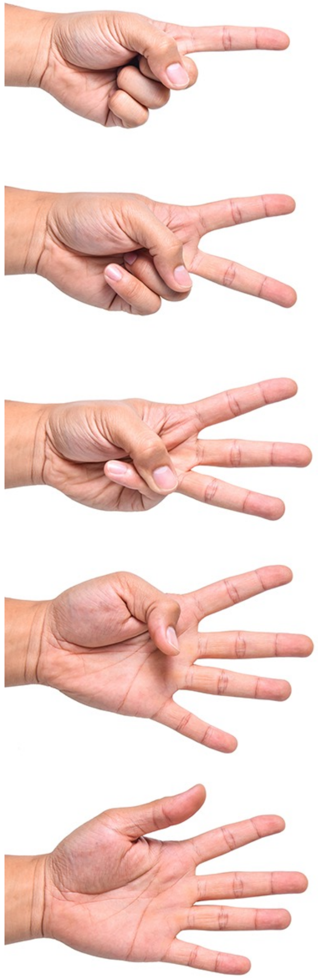
Overflow : n=4 : {-8, -7, …, +7}

Opérations binaires : addition et soustraction

complément à deux



Représentation de l'information



Alors, combien vaut `1001110` en décimale ?

Représentation =
Symboles + Interprétation

Aujourd’hui

- Introduction au cours et représentation de l’information
- Représentation binaire des nombres entiers
- **Représentation binaire des nombres réels**
- Représentation des données : Texte et images

Représentation binaire des nombres réels

- Il est impossible de lister tous les nombres réels un par un (ils ne forment pas un ensemble dénombrable).
- Même en se limitant à [0,1], seule une partie de ces nombres peut être représentée : on procède donc à des approximations.
- On doit donc se résigner à accepter la présence d'erreurs. Soit x_{rep} la valeur représentée en binaire du nombre x, on définit:
  - L'erreur absolue :
  $$|\Delta x| = |x - x_{rep}|$$
  - L'erreur relative (« précision ») :
  $$\frac{|\Delta x|}{|x|}$$

Représentation binaire des nombres réels

- Prenons un nombre entre 0 et 1, $x = 0{,}375$

$$x = 0{,}375 = 0{,}25 + 0{,}125 = \mathbf{0} \cdot 2^{-1} + \mathbf{1} \cdot 2^{-2} + \mathbf{1} \cdot 2^{-3} \rightarrow \mathbf{011}$$

Représentation exacte !

- Autre exemple :

$$y = \pi - 3 = 0{,}141592 \cdots = 0.125 + \cdots$$

$$= \mathbf{0} \cdot 2^{-1} + \mathbf{0} \cdot 2^{-2} + \mathbf{1} \cdot 3^{-3} \rightarrow \mathbf{0010}\cdots$$

Représentation approximative !

Représentation binaire des nombres réels

$0{,}375 \quad \times 2 = 0{,}75, \text{ reste } 0{,}75$

$0{,}75 \quad \times 2 = 1{,}50, \text{ reste } 0{,}50$

$0{,}50 \quad \times 2 = 1{,}00, \text{ reste } 0$

$\rightarrow \mathbf{011}$

Représentation binaire des nombres réels

$$0,1 \quad \times 2 = 0,2, \text{ reste } 0,2$$
$$0,2 \quad \times 2 = 0,4, \text{ reste } 0,4$$
$$0,4 \quad \times 2 = 0,8, \text{ reste } 0,8$$
$$0,8 \quad \times 2 = 1,6, \text{ reste } 0,6$$
$$0,6 \quad \times 2 = 1,2, \text{ reste } 0,2$$
$$0,2 \quad \times 2 = 0,4, \text{ reste } 0,4$$

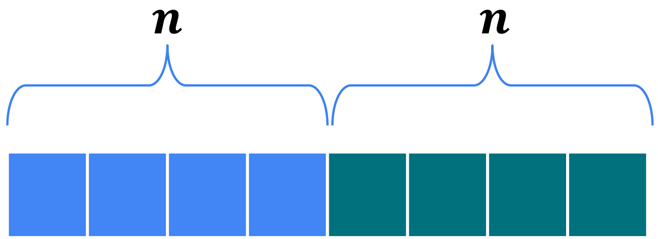
$\rightarrow$ **00011001100110011001100110011…**

Représentation binaire des nombres réels

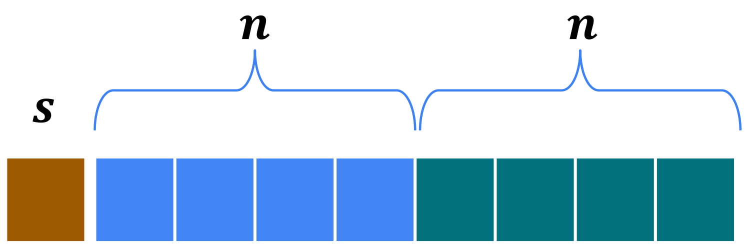
virgule fixe

- Nombres réels plus grand que 0 :

n bits pour la partie entière, n bits pour la partie décimale



- Nombres réels négatifs : rajouter un bit de signe (s)



Représentation binaire des nombres réels

virgule fixe

- **L'erreur absolue :**

$$|\Delta x| = \left|x - x_{rep}\right| < 2^{-n}$$

- **L'erreur relative (« précision ») :**

$$\frac{|\Delta x|}{|x|}$$

Peut être arbitrairement grande si n est proche de 0.

Représentation binaire des nombres réels

virgule fixe

- **L'erreur absolue :**
  $|\Delta x| = |0.18 - 0.125| = 0.055$
- **L'erreur relative (« précision ») :**
  $$\frac{|\Delta x|}{|x|} = \frac{0.055}{0.18} = 30{,}5\%$$

- **L'erreur absolue :**
  $|\Delta x| = |15.18 - 15.125| = 0.055$
- **L'erreur relative (« précision ») :**
  $$\frac{|\Delta x|}{|x|} = \frac{0.055}{15.18} = 0{,}36\%$$

Représentation binaire des nombres réels

virgule flottante

- Pour pallier ce problème de précision, on choisit plutôt la représentation suivante :

1. On garde la représentation en virgule fixe avec n bits pour les nombres réels dans l'intervalle [1,2]
   - L'erreur relative (« précision ») :

     $$\frac{|\Delta x|}{|x|} < 2^{-n}, \text{ car } |\boldsymbol{x}| \geq \mathbf{1}$$

2. On réplique cette représentation à toutes les échelles en la multipliant ou en la divisant par des puissances de 2.

Représentation binaire des nombres réels

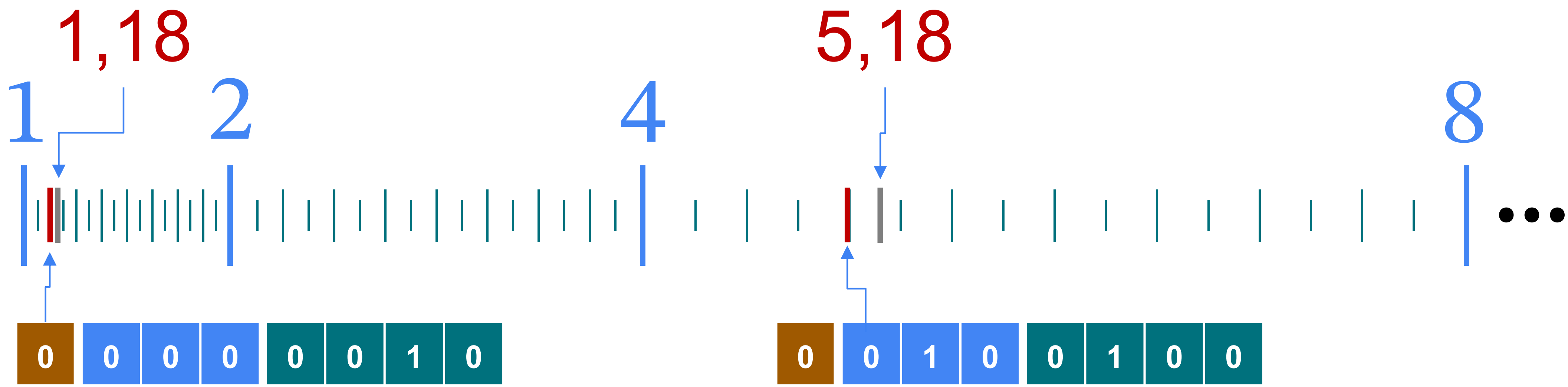
virgule flottante

- Inspiration : Notation scientifique en base 10 avec un nombre fixe de chiffres significatifs.
- Exemples avec 3 chiffres significatifs :
  - 3.1415 s'écrit $3.14 \cdot 10^{0}$
  - 0.0125 s'écrit $1.25 \cdot 10^{-2}$
  - 7354 s'écrit $7.35 \cdot 10^{3}$

$$(-1)^{\text{signe}} \cdot 2^{\text{exposant}} \cdot 1{,}\text{mantisse}$$

Représentation binaire des nombres réels

virgule flottante



- **L'erreur absolue :**

$$|\Delta x| = |1.18 - 1.125| = 0.055$$

- **L'erreur relative (« précision ») :**

$$\frac{|\Delta x|}{|x|} = \frac{0.055}{1.18} = 4{,}66\%$$

- **L'erreur absolue :**

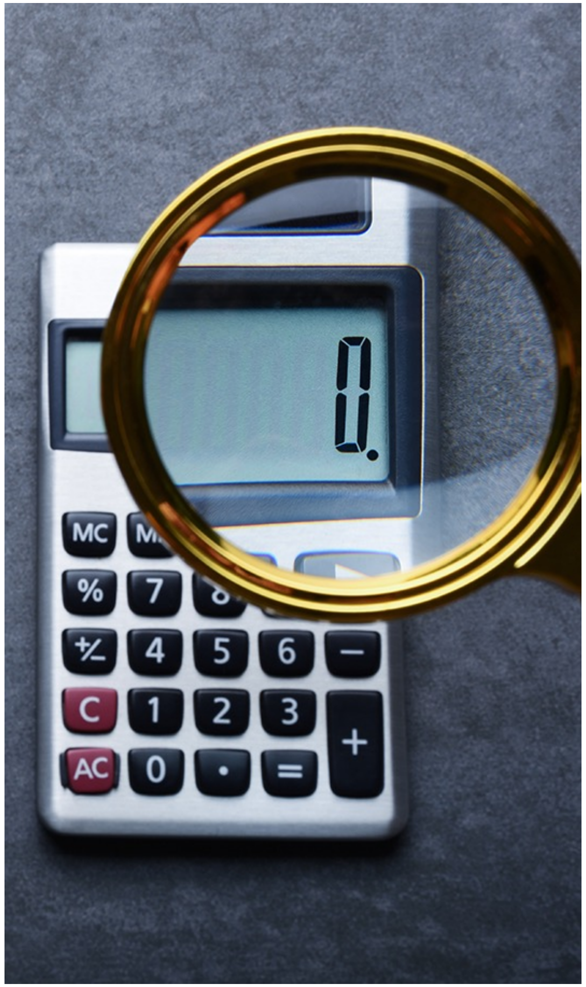
$$|\Delta x| = |5.18 - 5| = 0.18$$

- **L'erreur relative (« précision ») :**

$$\frac{|\Delta x|}{|x|} = \frac{0.18}{5.18} = 3{,}47\%$$

Et le `0` ?

virgule flottante

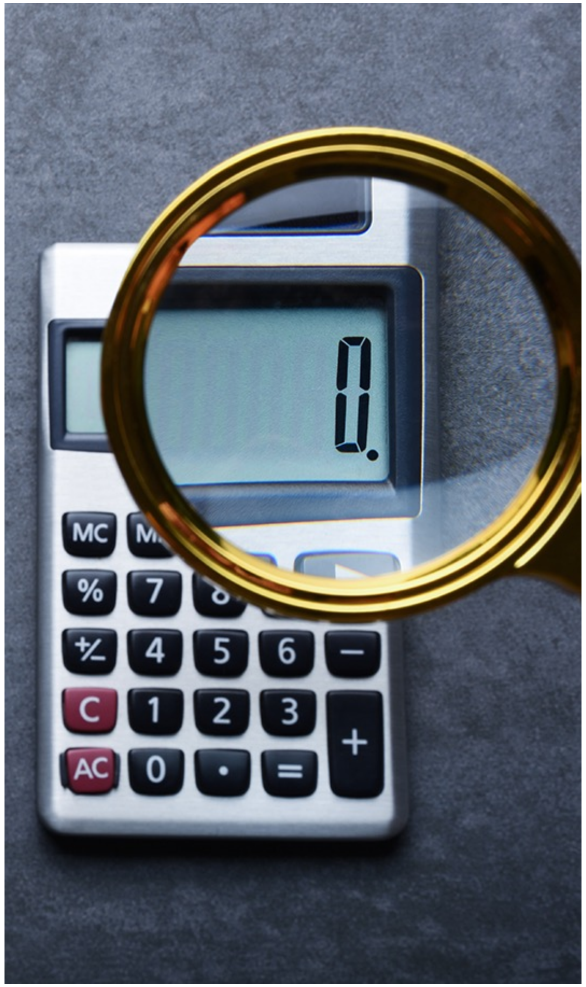


$$+1 \cdot 2^{0} \cdot 1{,}0$$

0	0	0	0	0	0	0	0

Représentation binaire des nombres réels : Et le `0` ?

virgule flottante



- Les subnormaux (Quand exposant = 0)

$$(-1)^{\text{signe}} \cdot 2^{1\text{ - biais}} \cdot 0{,}\text{mantisse}$$

- Nombres normalisés (Quand exposant $\neq$ 0)

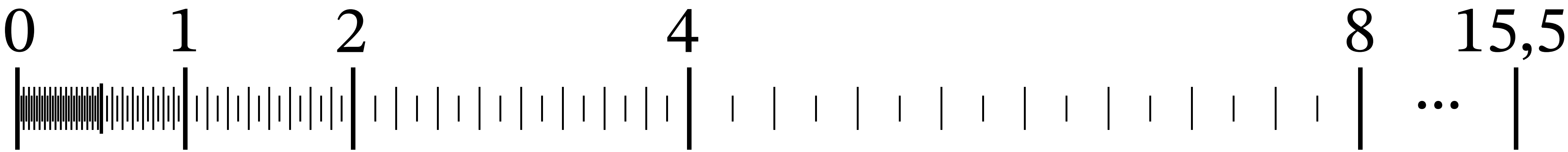
$$(-1)^{\text{signe}} \cdot 2^{\text{exposant - biais}} \cdot 1{,}\text{mantisse}$$

Avec biais = $2^{n_e-1}-1$ et n_e le nombre de bits qui représentent l'exposant.
Dans notre exemple, biais =$2^{3-1}-1=3$

`0`	=	0	0	0	0	0	0	0	0
`1`	=	0	0	1	1	0	0	0	0

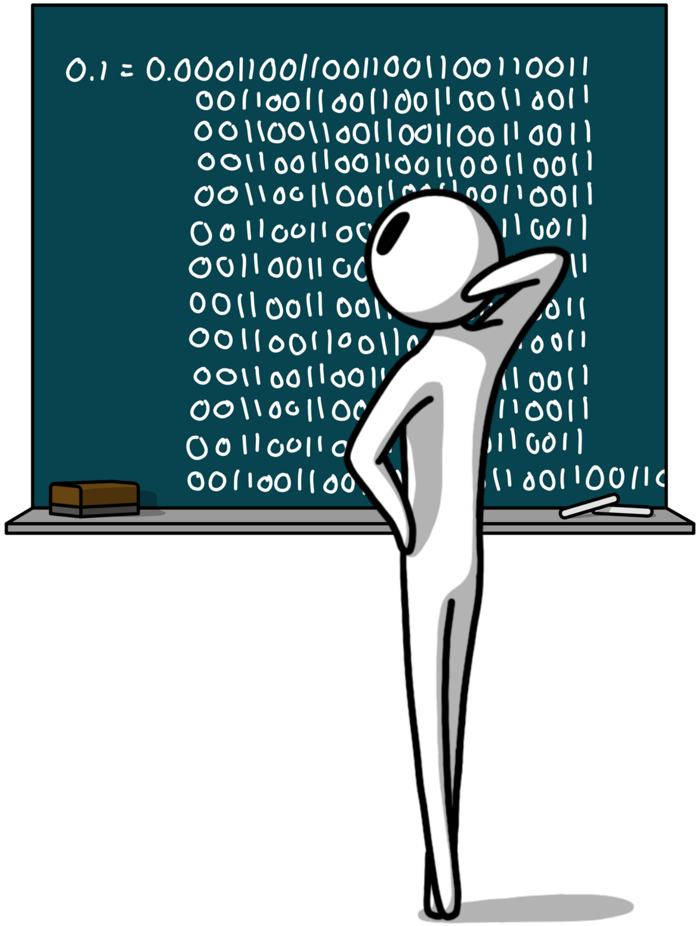
Représentation binaire des nombres réels : Et le `0` ?

virgule flottante



$-\infty$ =	1	1	1	1	0	0	0	0
NaN =	0	1	1	1	0	0	0	1

Conséquence des erreurs d'arrondi



- Tester l'égalité de résultats en virgule flottante est une absurdité.
- Le test d'égalité de valeur de résultats en virgule flottante doit être fait avec tolérance autour de la valeur théorique.

IEEE 754 les plus courantes :

	32 bits	64 bits
Signe	1	1
Exposant	8	11
Mantisse	23	52

- 0.1, par exemple, n'a pas de représentation exacte d'après cette convention
(comme 1/3 n'a pas de représentation exacte en décimal)

Aujourd'hui

- Introduction au cours et représentation de l'information
- Représentation binaire des nombres entiers
- Représentation binaire des nombres réels
- **Représentation des données : Texte et images**

EPFL

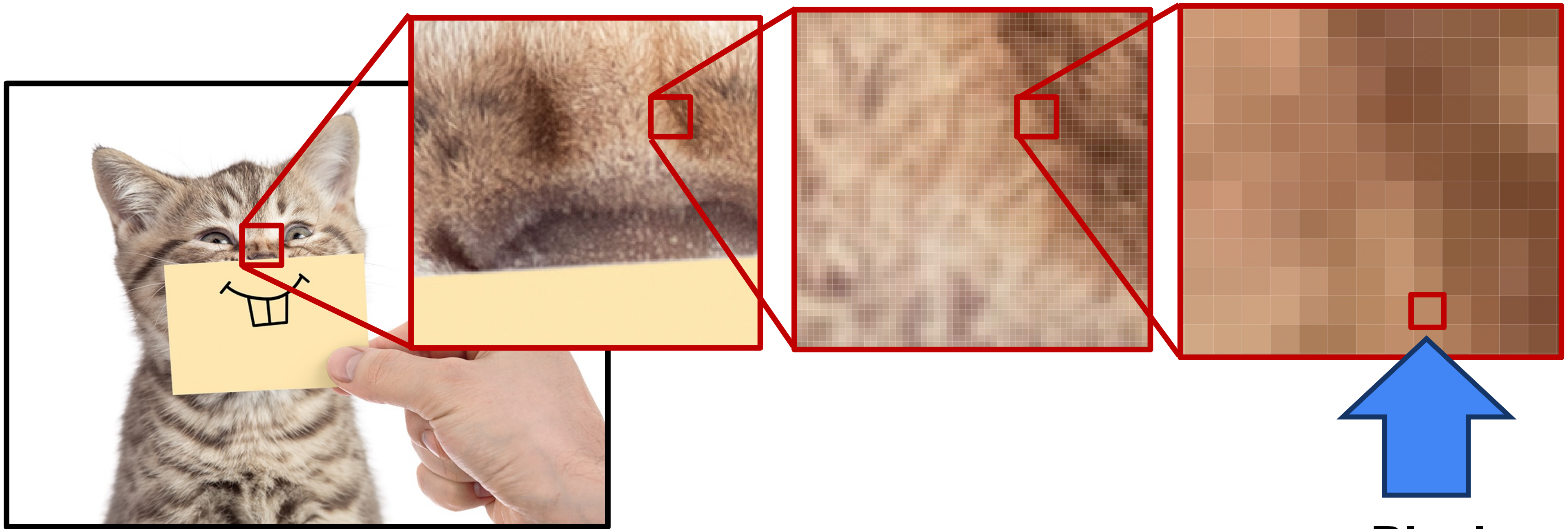
Représentation des données : Texte

- American Standard Code for Information Interchange (ASCII, 1963)

0	Null character
1	Start of header
…	
9	Tabulator ("\t")
10	Line feed ("\n")
…	
32	Space
…	
48	"0"
…	…
57	"9"

65	"A"
66	"B"
67	"C"
…	…
90	"Z"
…	
97	"a"
…	…
122	"z"
…	
127	Delete

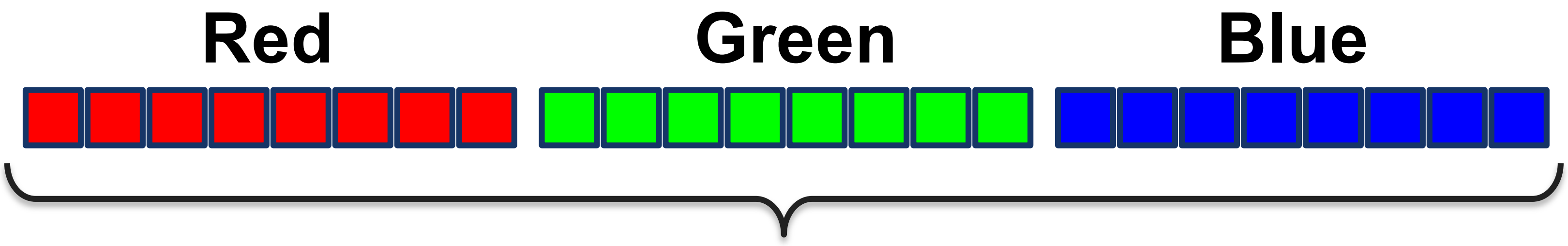
Représentation des données : Images

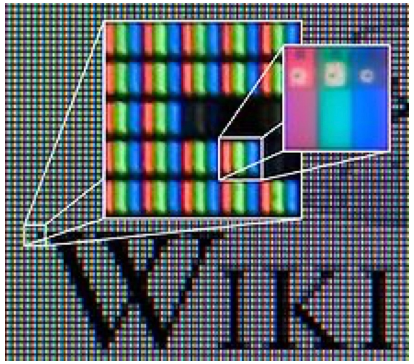


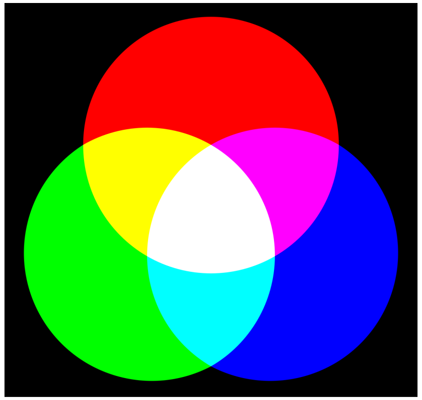
Pixel

Point de l’image qui a une seule couleur

RGB







Noir = (0, 0, 0)
Blanc = (255, 255, 255)
Bleu = (0, 0, 255)

1 pixel = 24 bits = 3 x 8 bits = 3 nombres entre 0-255
2^{24} couleurs possibles = 16'777'216

Aujourd’hui

- Introduction au cours et représentation de l’information
- Représentation binaire des nombres entiers
- Représentation binaire des nombres réels
- Représentation des données : Texte et images

EPFL

Résumé Cours 1 – ICC-T

- Perspective du cours : information (nombres, signaux, compression), calcul (algorithmes, traitement) et communication (réseaux).
- Représentation binaire des entiers :
  - Nombres positifs, négatifs (complément à deux)
  - Opérations (addition, soustraction, multiplication, division)
  - Dépassement de capacité
- Représentation binaire des réels :
  - Virgule fixe : erreur relative inévitable
  - Virgule flottante : signe, exposant, mantisse
  - Astuces pratiques : éviter la comparaison stricte en égalité (ex. 0.1 non représentable)

rafael.pires@epfl.ch

Merci