

LE TRAITEMENT D'IMAGES

- IMPLÉMENTATION -

Jonathan Fabrizio

<http://jo.fabrizio.free.fr>

Implémentation

FASTER – FASTER – FASTER



Introduction

- Efficacité
 - Taille des images
 - Contrainte sur le temps de réponse
 - Contrainte sur le matériel (téléphone...)
- Solutions
 1. Bien penser ses algorithmes (et ses structures de données)
 2. Revoir son implémentation sur CPU
 3. Éventuellement envisager une implémentation sur GPU

Introduction

- Efficacité
 - Taille des images
 - Contrainte sur le temps de réponse
 - Contrainte sur le matériel (téléphone...)
- Solutions
 1. Bien penser ses algorithmes (et ses structures de données)
 2. Revoir son implémentation sur CPU
 3. Éventuellement envisager une implémentation sur GPU

Bien penser ses algorithmes

- Bien choisir les structures de données
 - Représentation des images
 - ...
- Repenser les algorithmes
 - FFT
 - ...

Bien penser ses algorithmes

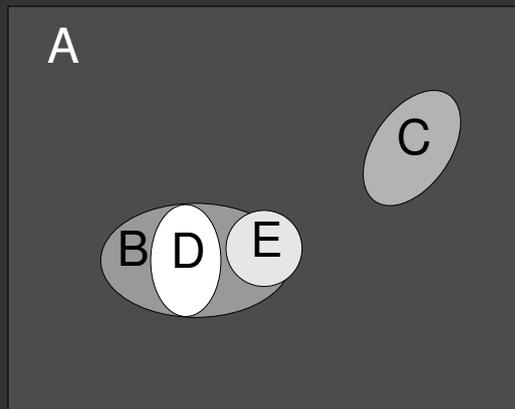
Représentation des images

- Comment représenter une image
 - Matrice
 - Vecteur
 - Arbre/graph...
 - Max Tree, Min Tree
 - Tree of Shapes...
 - ...
- Matrice, vecteur : bien respecter le cache de la machine !

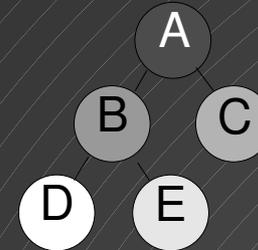
Bien penser ses algorithmes

Représentation des images

- Comment représenter une image
 - Max Tree



Image

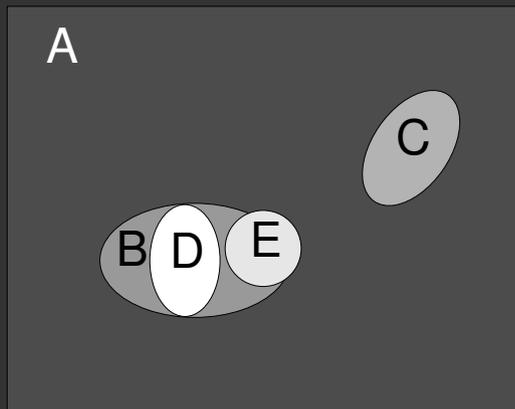


Max-Tree correspondant

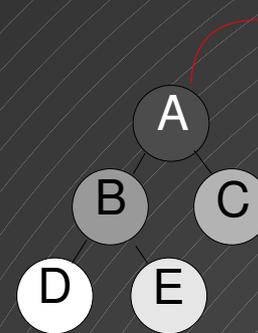
Bien penser ses algorithmes

Représentation des images

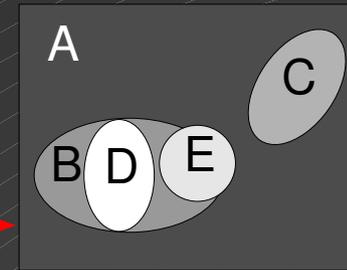
- Comment représenter une image
 - Max Tree



Image



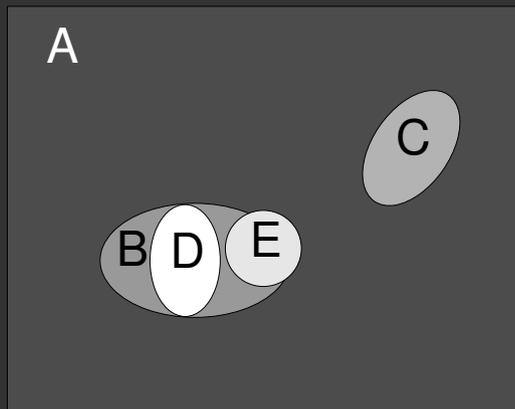
Max-Tree correspondant



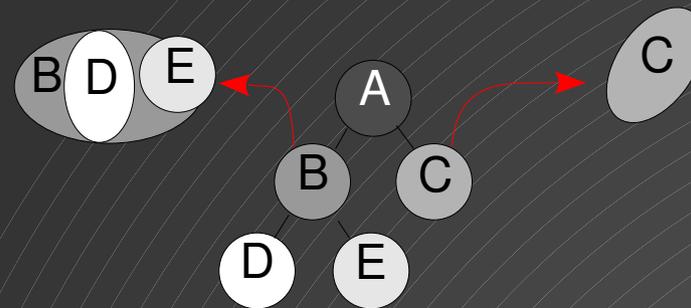
Bien penser ses algorithmes

Représentation des images

- Comment représenter une image
 - Max Tree



Image

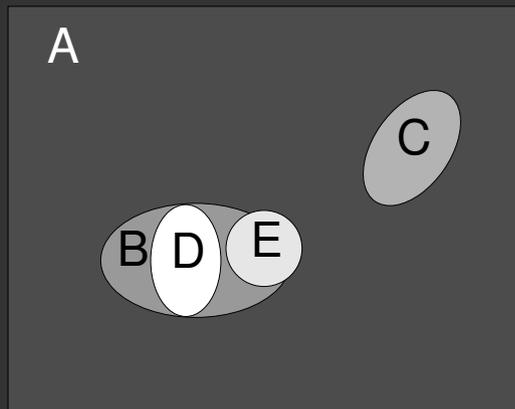


Max-Tree correspondant

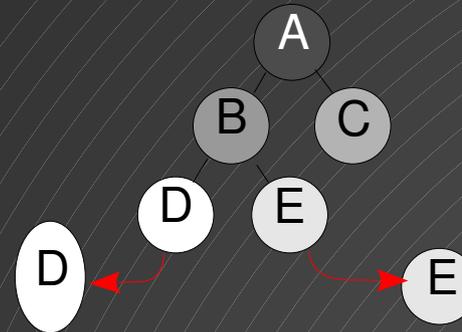
Bien penser ses algorithmes

Représentation des images

- Comment représenter une image
 - Max Tree



Image



Max-Tree correspondant

Bien penser ses algorithmes

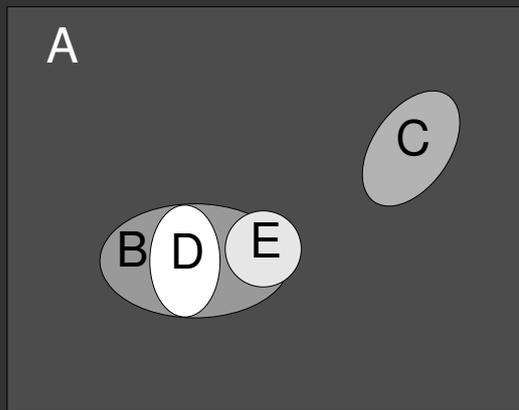
Représentation des images

- Exemple :
 - Calcul de l'ouverture ultime
 - Long dans le cas général
 - Solution : utilisation du max-tree

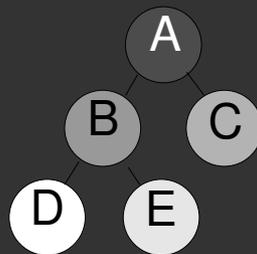
Bien penser ses algorithmes

Représentation des images

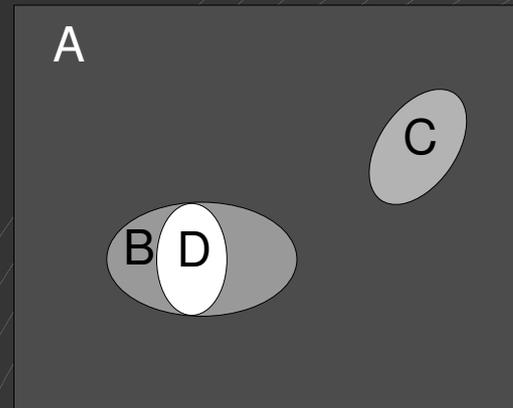
- Exemple :
 - Calcul de l'ouverture ultime



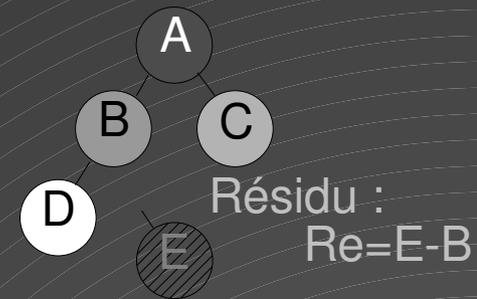
Image



Max-Tree correspondant



Image

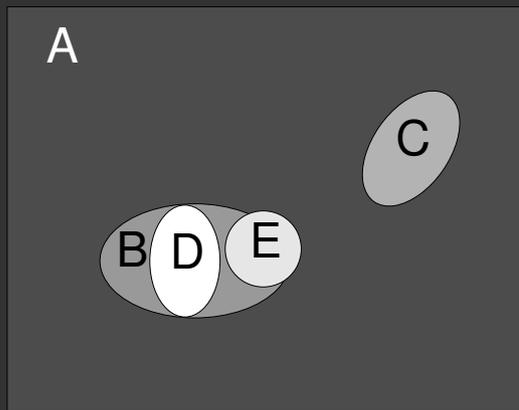


Max-Tree correspondant

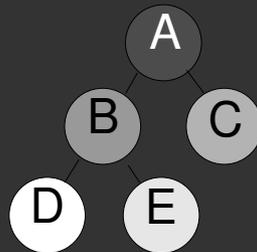
Bien penser ses algorithmes

Représentation des images

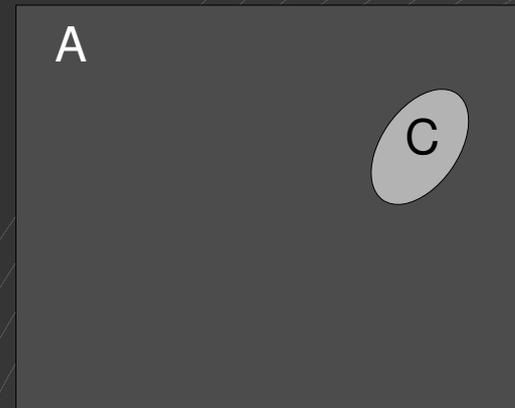
- Exemple :
 - Calcul de l'ouverture ultime



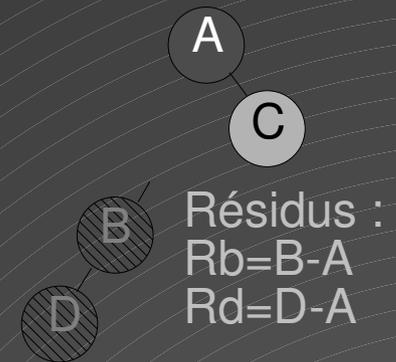
Image



Max-Tree correspondant



Image

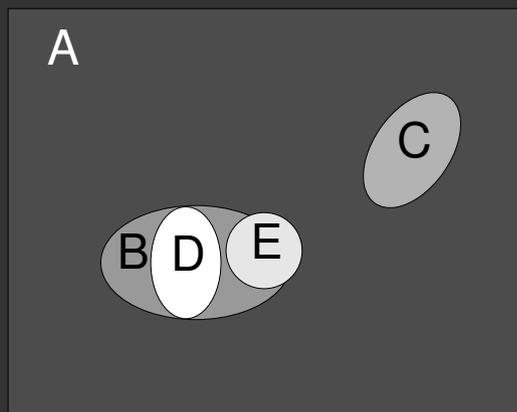


Max-Tree correspondant

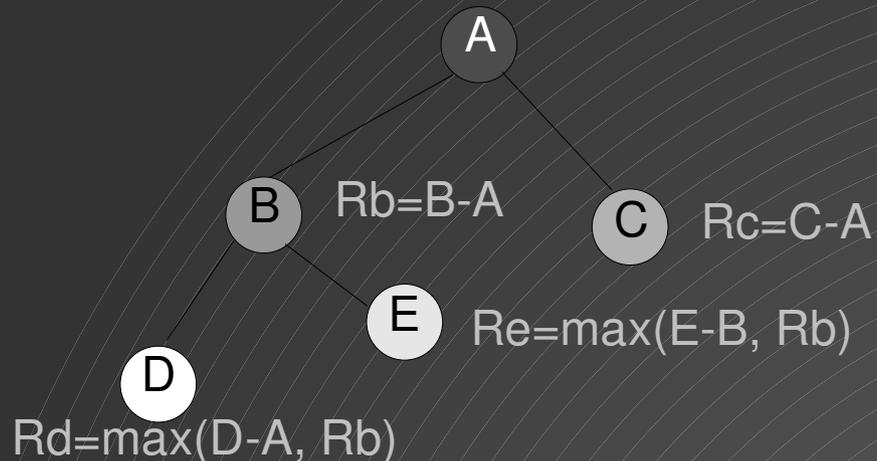
Bien penser ses algorithmes

Représentation des images

- Exemple :
 - Calcul de l'ouverture ultime



Image

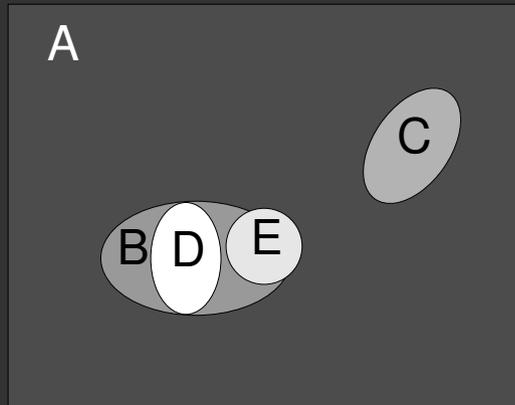


Max-Tree correspondant

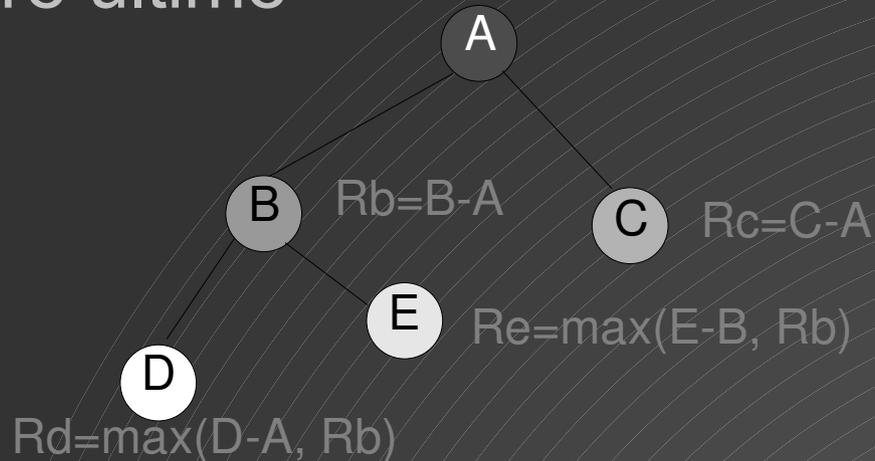
Bien penser ses algorithmes

Représentation des images

- Exemple :
 - Calcul de l'ouverture ultime



Image



max-tree correspondant

```
UO(node, parent_level, max_contrast) {  
    node.r = max(parent_level - node.level, max_contrast)  
    for all child c  
        UO(c, node.level, r)  
}
```

Bien penser ses algorithmes

Représentation des images

- Exemple :
 - Calcul de l'ouverture ultime
 - Résultats :

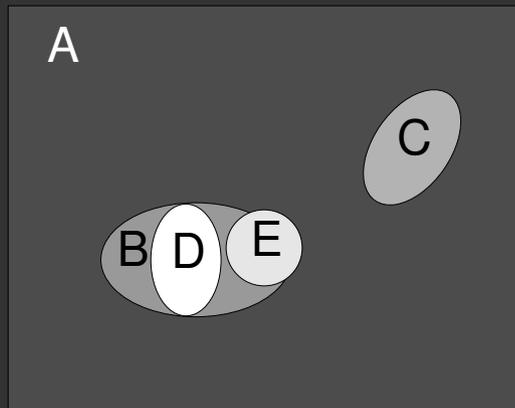
Format	128x128	256x256	512x512	1024x1024	2048x2048
Nb of pixels	16384	65536	262144	1048576	4194304
Time (ms)	0,18	2,39	12,01	52,04	235,53

- Un problème difficile à la base est rendu plus simple et plus rapide en changeant le codage de l'image.

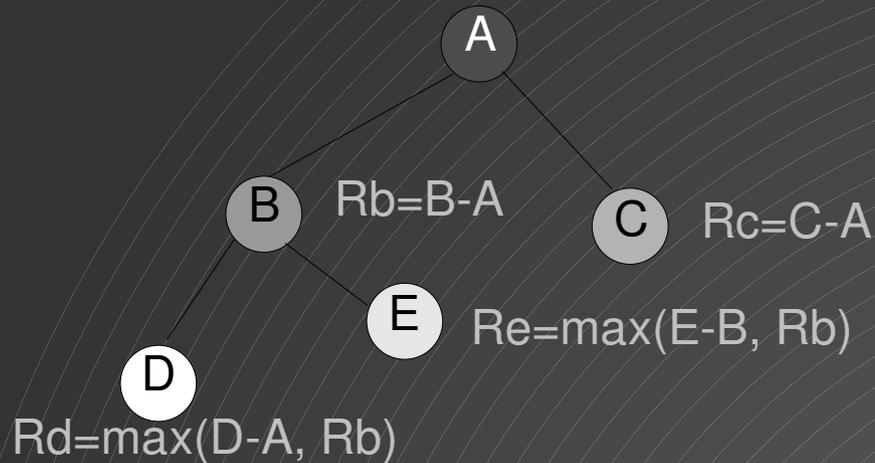
Bien penser ses algorithmes

Représentation des images

- Remarque :
 - Calcul de l'ouverture ultime



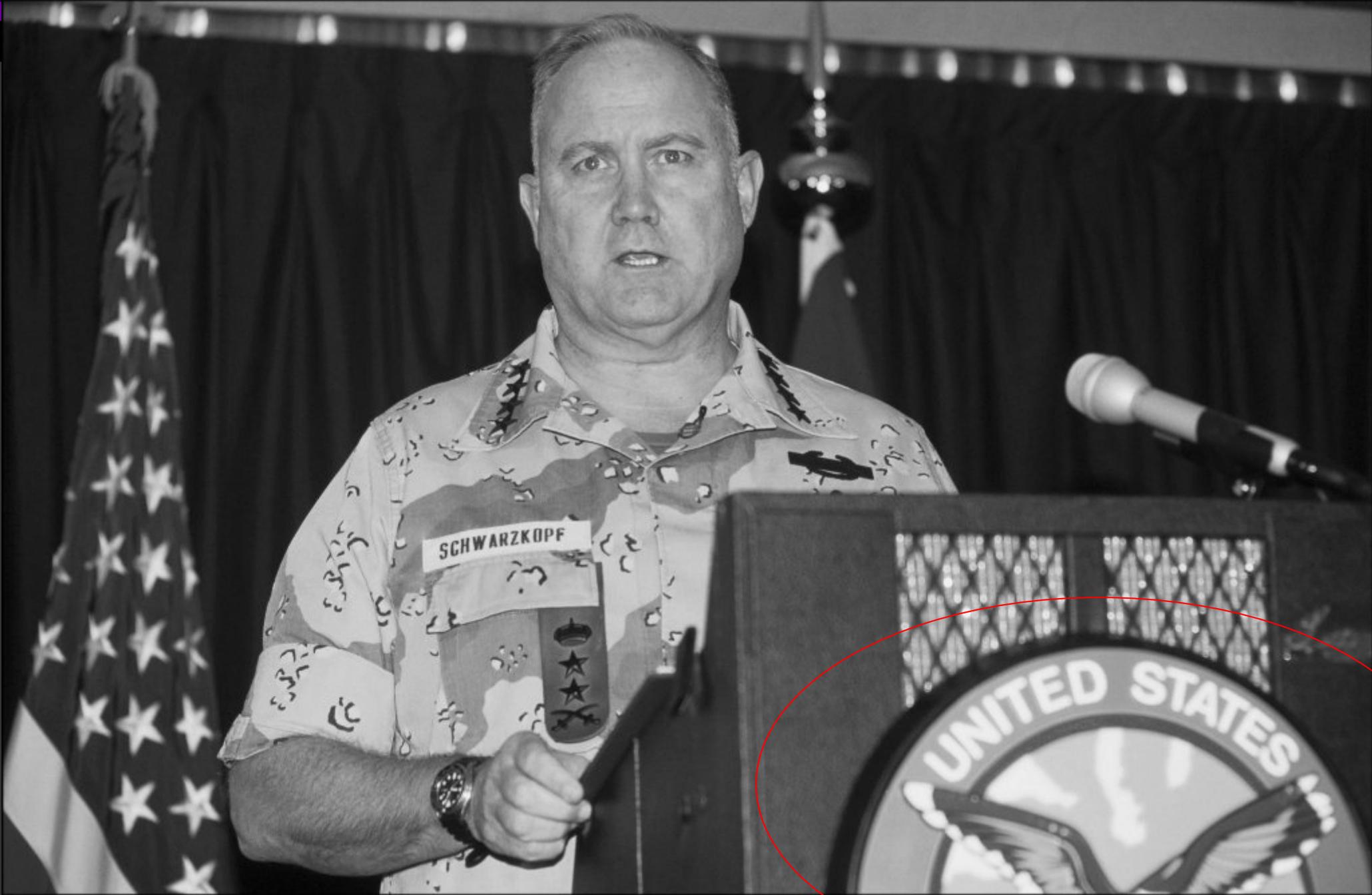
Image



max-tree correspondant

- Calcul possible sur une partie de l'image (une branche de l'arbre) !

Bien penser ses algorithmes



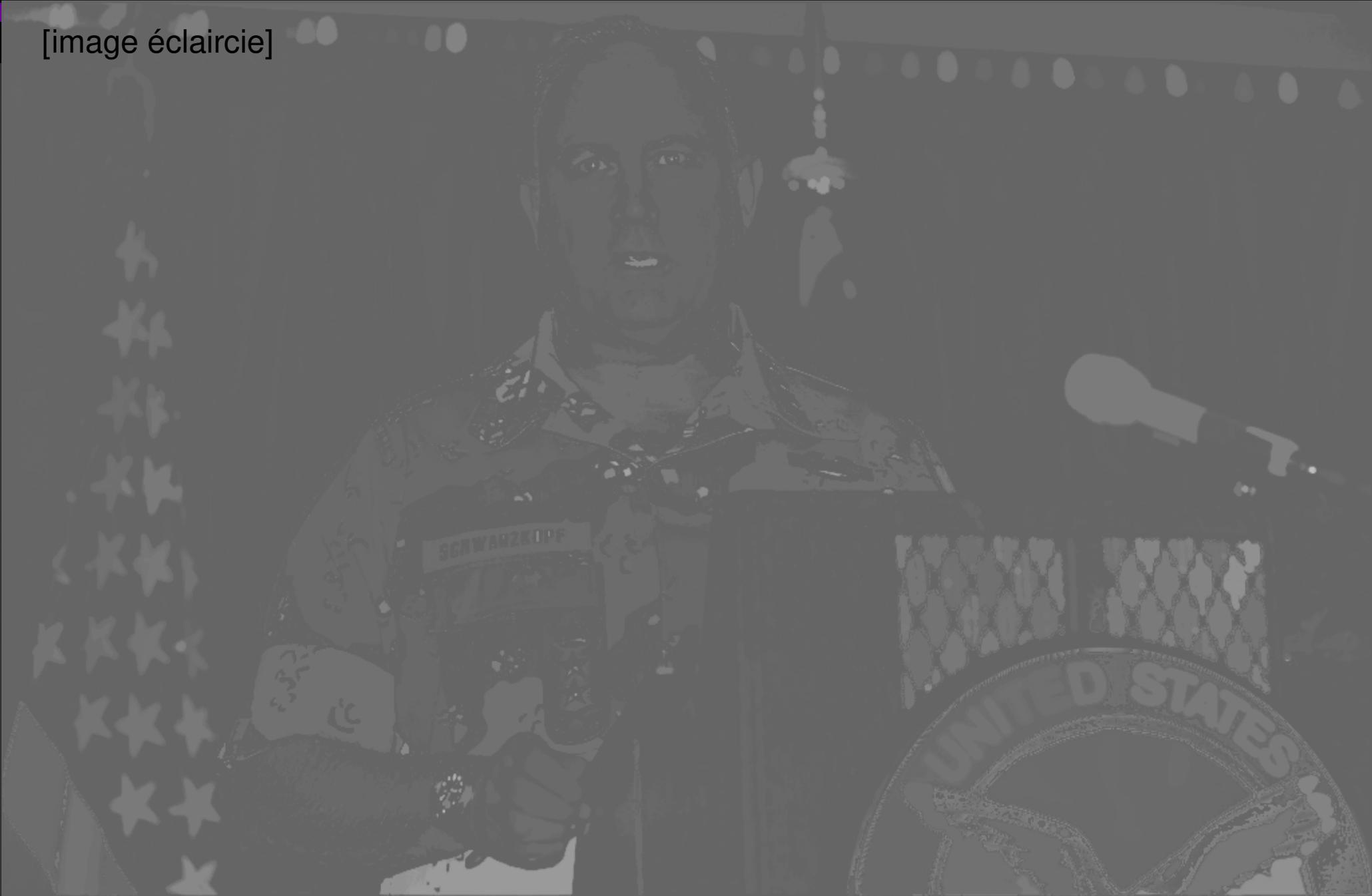
Bien penser ses algorithmes

[image
éclaircie]



Bien penser ses algorithmes

[image éclaircie]



Bien penser ses algorithmes

- Repenser les algorithmes
 - Exemple FFT
 - Implémentation des filtres
 - L'image intégrable

Bien penser ses algorithmes

- Calcul rapide de la DFT
 - FFT (1965 – Cooley et Tukey) (Gauss 1805??)

Bien penser ses algorithmes

- Calcul rapide de la DFT
 - FFT (1965 – Cooley et Tukey) (Gauss 1805??)
 - The DFT :
$$X(l) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) e^{\frac{-2j\pi kl}{N}}, l=0, \dots, N-1$$
 - N complex mults, N-1 complex add **pour chaque l**.
 - $O(N^2)$

Bien penser ses algorithmes

- Calcul rapide de la DFT

$$X(l) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) e^{\frac{-2j\pi kl}{N}}, l=0, \dots, N-1$$

- Exploiter la symétrie

$$W_N = e^{\frac{-2j\pi}{N}}$$

$$W_N^{k(N-n)} = W_N^{-kn} = (W_N^{kn})^* \quad (W_N^{kN} = 1)$$

$$W_N^{k(n)} = W_N^{k(N+n)} = W_N^{(k+N)n}$$

Bien penser ses algorithmes

- Calcul rapide de la DFT
 - On suppose $N = 2^m$

$$X(l) = \sum_{k \text{ pair}} x(k) W_N^{lk} + \sum_{k \text{ impair}} x(k) W_N^{lk}$$

$$X(l) = \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k) e^{\frac{-2j\pi 2kl}{N}} + \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k+1) e^{\frac{-2j\pi 2(k+1)l}{N}}$$

Bien penser ses algorithmes

- Calcul rapide de la DFT
 - On suppose $N = 2^m$

$$X(l) = \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k) e^{\frac{-2j\pi 2kl}{N}} + \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k+1) e^{\frac{-2j\pi 2(k+1)l}{N}}$$

$$X(l) = \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k) W_N^{2kl} + \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k+1) W_N^{(2k+1)l}$$

Bien penser ses algorithmes

- Calcul rapide de la DFT
 - On suppose $N = 2^m$

$$X(l) = \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k) W_N^{2kl} + \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k+1) W_N^{(2k+1)l}$$

$$X(l) = \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k) (W_N^2)^{kl} + W_N^l \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k+1) (W_N^2)^{kl}$$

$$W_N^2 = W_{N/2}$$

$$X(l) = \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k) e^{\frac{-2j\pi 2kl}{N}} + e^{\frac{-2j\pi l}{N}} \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k+1) e^{\frac{-2j\pi 2kl}{N}}$$

Bien penser ses algorithmes

- Calcul rapide de la DFT
 - On suppose $N = 2^m$

$$X(l) = \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k) W_N^{2kl} + \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k+1) W_N^{(2k+1)l}$$

$$X(l) = \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k) W_{N/2}^{kl} + W_N^l \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k+1) W_{N/2}^{kl}$$

$$W_N^2 = W_{N/2}$$

$$X(l) = \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k) e^{\frac{-2j\pi 2kl}{N}} + e^{\frac{-2j\pi l}{N}} \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k+1) e^{\frac{-2j\pi 2kl}{N}}$$

Bien penser ses algorithmes

- Calcul rapide de la DFT

$$X(l) = \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k) W_{N/2}^{kl} + W_N^l \sum_{k=0}^{N/2-1} x(2k+1) W_{N/2}^{kl}$$


- N/2 DFT des échantillons pairs, N/2 DFT des échantillons impairs.

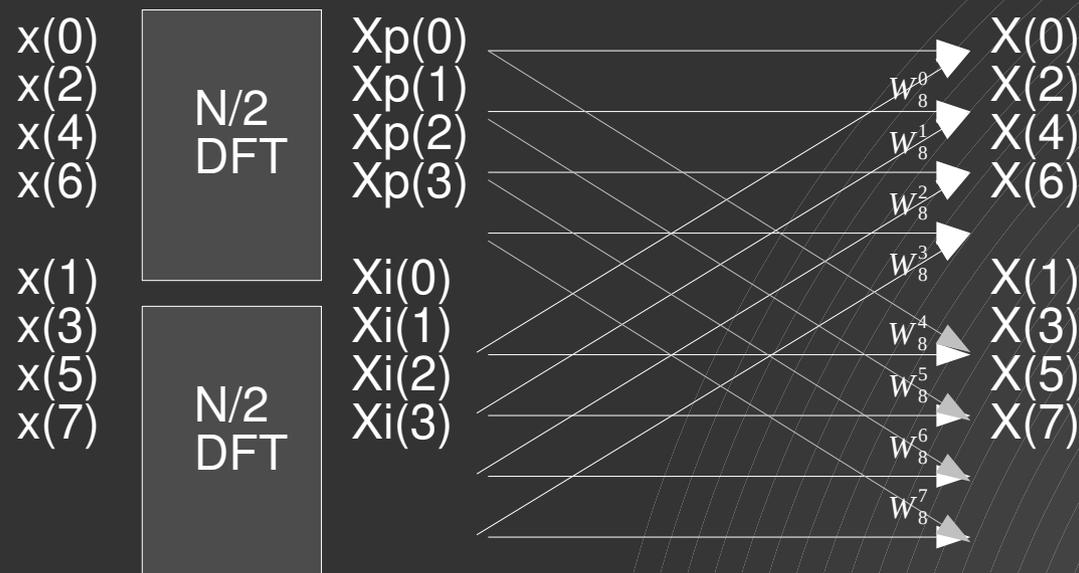
$$X(l) = X_p(l) + W_N^l X_i(l)$$

- Somme de deux DFTs de N/2 échantillons

Bien penser ses algorithmes

- Calcul rapide de la DFT

$$X(l) = X_p(l) + W_N^l X_i(l)$$



- $2(N/2)^2 + N$ multiplications

Bien penser ses algorithmes

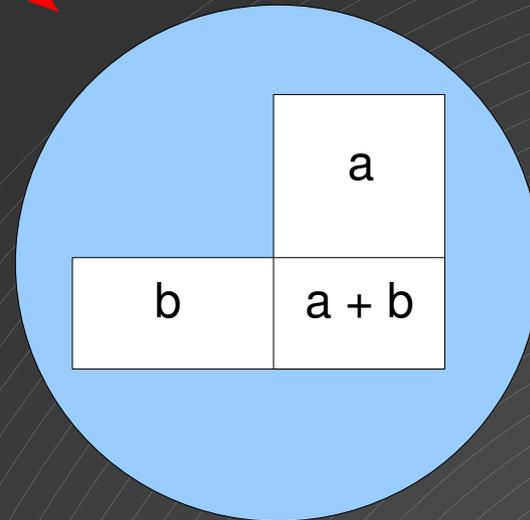
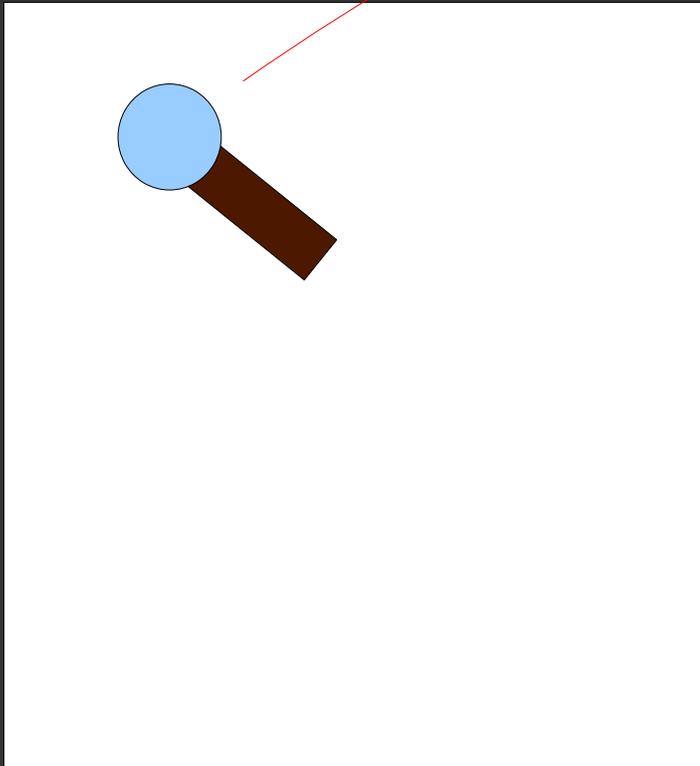
- Calcul rapide de la DFT
 - $N/2, N/4, \dots, N/2^{p=1}$
 - 1 : $2(N/2)^2 + N = N^2/2 + N$
 - 2 : $2(2(N/4)^2 + N/2) + N = N^2/4 + 2N$
 - ...
- $N \log_2 N$

Bien penser ses algorithmes

- Résultat :
 - DFT $O(N^2)$
 - FFT $O(N \log_2 N)$

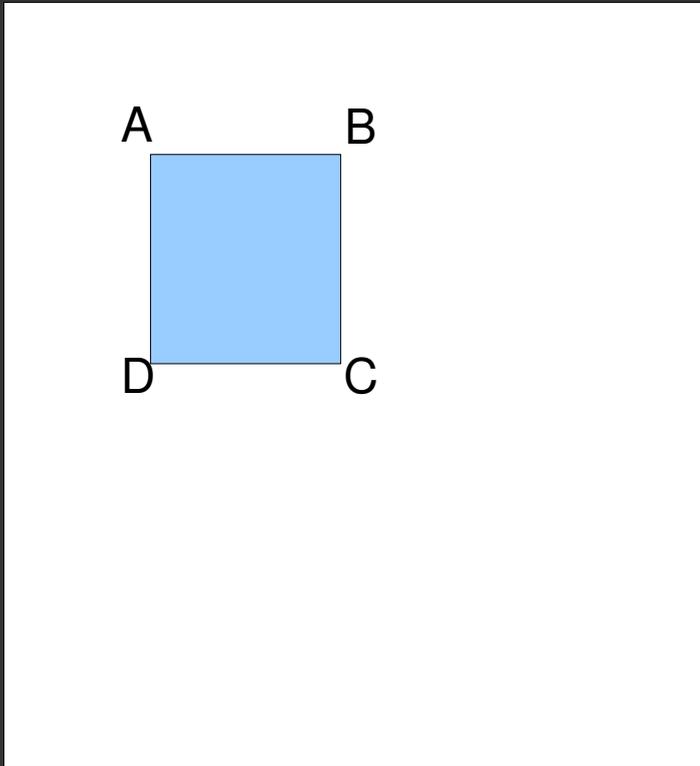
Bien penser ses algorithmes

- L'image intégrable



Bien penser ses algorithmes

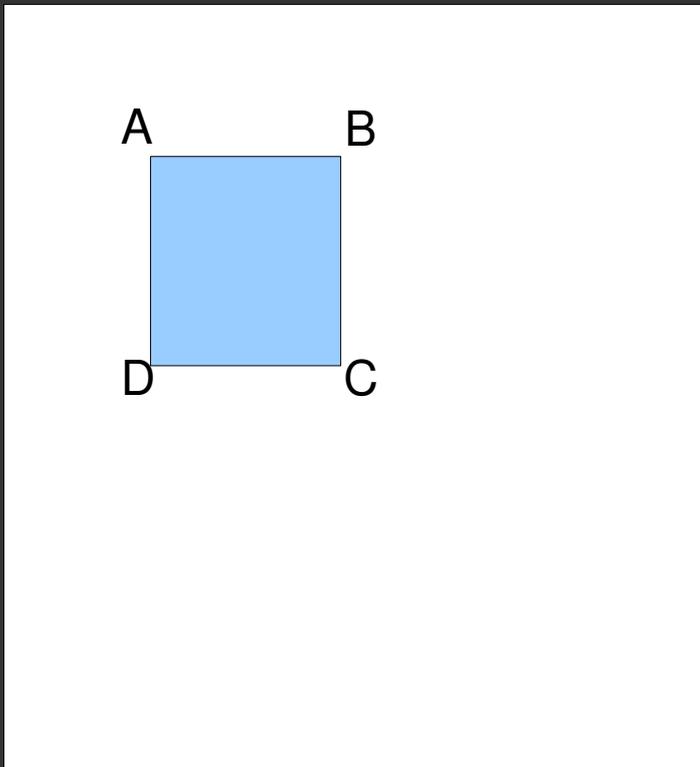
- L'image intégrable



Aire(ABCD) =

Bien penser ses algorithmes

- L'image intégrable



$$\text{Aire}(ABCD) = C - B - D + A$$

Bien penser ses algorithmes

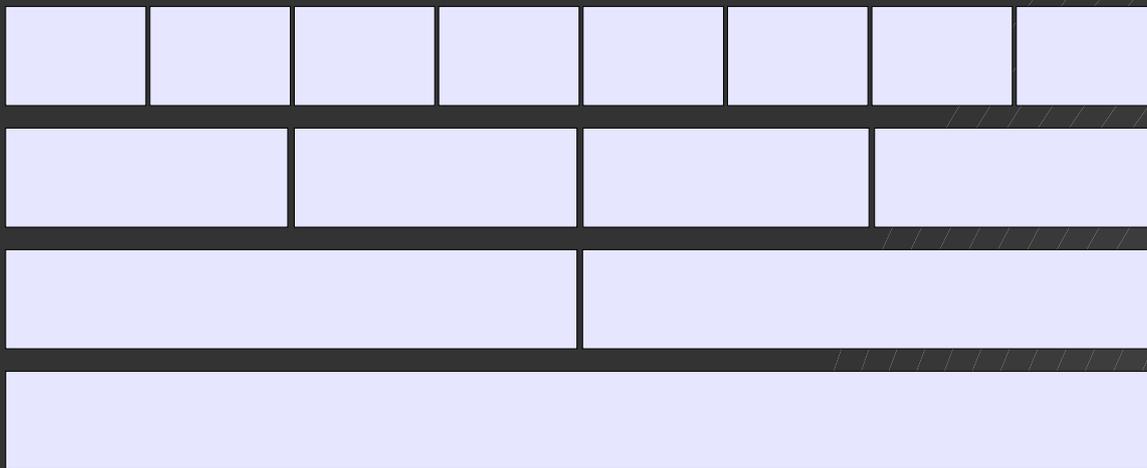
- Implémentation des filtres
 - Décomposition des convolutions (filtres séparables)
 - $N \times N \rightarrow N + N$
 - Prise en compte des bordures ?

Implémentation sur CPU

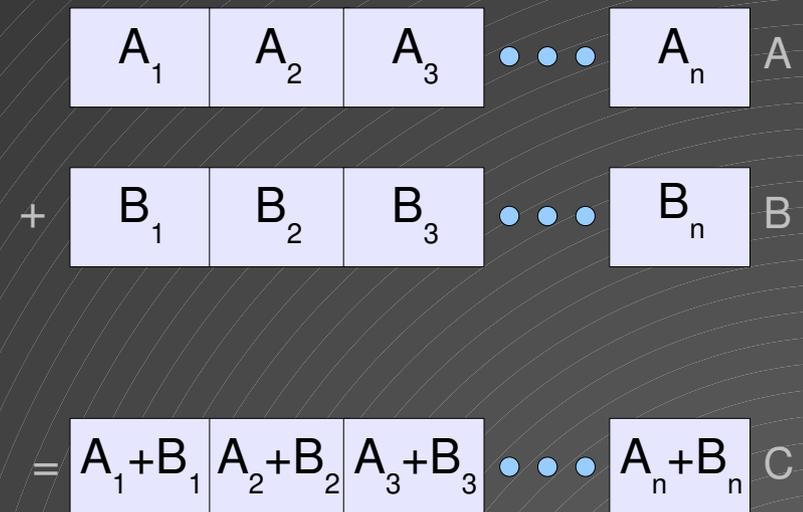
- Implémentation sur CPU
 - Utilisation du parallélisme
 - Utilisation des instructions SIMD
 - Auto-vectorisation
 - Intrinsics SIMD
 - Boost::simd
 - ...

CPU : SIMD

- SIMD
 - Single instruction multiple data
 - MMX, SSE, AVX, NEON...
 - Registres sous forme de vecteurs



- Bien adapté à l'image.



CPU : SIMD

- SIMD : un peu d'histoire
 - 1997 jeu d'instruction MMX sur P166 (intel) *L'ordinateur multimedia* - Registres 64bits partagés avec le FPU.
 - 1997 jeu d'instruction - 3DNow ! (AMD)
 - 1999 jeu d'instruction SSE - Registres 128bits Registres
 - SSE2, SSE3, SSE4 - Registres 128bits
 - AVX - Registres 256bits
 - AVX512 - Registres 512bits
 - Neon sur ARM

CPU : SIMD

- SIMD Usage

- cat /proc/cpuinfo

- flags : fpu vme de pse tsc msr pae mce cx8 apic sep mtrr pge mca cmov pat pse36 clflush dts acpi **mmx** fxsr **sse sse2** ss ht tm pbe syscall nx pdpe1gb rdtscp lm constant_tsc arch_perfmon pebs bts rep_good noopl xtopology nonstop_tsc aperfmperf eagerfpu pni pclmulqdq dtes64 monitor ds_cpl vmx est tm2 **ssse3** fma cx16 xtpr pdcm pcid **sse4_1 sse4_2** x2apic movbe popcnt tsc_deadline_timer aes xsave **avx** f16c rdrand lahf_lm abm 3dnowprefetch ida arat epb xsaveopt pln pts dtherm tpr_shadow vnmi flexpriority ept vpid fsgsbase tsc_adjust bmi1 hle **avx2** smep bmi2 erms invpcid rtm mpx rdseed adx smap clflushopt

- Par le compilateur :

- Activé sous GCC avec l'option `-ftree-vectorize` (par default activé avec `-O3`)
 - Renseigner l'option `-march=` (`corei7`, `native...`)
 - On peut avoir plus d'info avec les options `-fopt-info-vec-*` (`-fopt-info-vec-optimized` `-fopt-info-vec-missed`)

- Sorties :

- `knn.cpp:229: note: LOOP VECTORIZED.`
(Attention : plusieurs passes.)

CPU : SIMD

- Auto-vectorisation

```
for (std::size_t x=0 ; x<l ; ++x) {  
    output_image[x] = input_image1[x] + input_image2[x];  
} // en complet désaccord avec votre coding style.
```

- Entrées :

- -Wall -O3 -g -Wextra -Werror -m64 -march=native -*ftree-vectorize* -std=c++11 -fopt-info-vec-optimized #-fopt-info-vec-missed

- Sorties :

simd_add.cpp:35:5: note: loop vectorized

simd_add.cpp:35:5: note: loop versioned for vectorization because of possible aliasing

__restrict__

simd_add.cpp:35:5: note: loop peeled for vectorization to enhance alignment

```
typedef unsigned char auchar __attribute__((__aligned__(16)));
```

CPU : SIMD

- Par le compilateur (auto-vectorisation)
 - pas toujours facile
 - s'assurer que les données soient alignées (quasi Impossible en cpp :-()
 - `__attribute__((aligned(TL_IMAGE_ALIGNMENT)))`
 - `std::align`
 - `Alignas(.)`
 - `aligned_alloc`
 - `__restrict__`
 - assume dans ICC

CPU : SIMD

- Par le compilateur (auto-vectorisation), bonnes pratiques :
 - Utiliser des indices plutôt que des pointeurs
 - Array of Structures vs Structure of Arrays
 - Ne pas interrompre une boucle

```
for( k=0 ; k < size_vect ; k++) {  
    double t = v_example [ k ] - data[k_data ++];  
    res += t * t ;  
    // if ( res >tresh ) {  
    //     break ;  
    // }  
}  
res * = -g ;  
return exp ( res ) ;
```

CPU : SIMD

- SIMD - intrinsics
 - Possible de les utiliser en c/c++
- Exemple :

```
for (std::size_t x=0 ; x<l ; x+=16) {  
    __m128i v_input_image1 = _mm_loadu_si128((const __m128i*)(input_image1 +  
x));  
    __m128i v_input_image2 = _mm_loadu_si128((const __m128i*)(input_image2 +  
x));  
    __m128i v_output1 = _mm_add_epi8(v_input_image1, v_input_image2);  
    _mm_storeu_si128((__m128i*)(output_image+x), v_output1);  
}
```

- Problème d'alignement des données

- Difficilement portable

CPU : SIMD

- SIMD - intrinsics
 - Possible de les utiliser en c/c++
- Exemple :

```
for (std::size_t x=0 ; x<l ; x+=16) {  
    __m128i v_input_image1 = _mm_load_si128((const __m128i*)(input_image1 + x));  
    __m128i v_input_image2 = _mm_load_si128((const __m128i*)(input_image2 + x));  
    __m128i v_output1 = _mm_add_epi8(v_input_image1, v_input_image2);  
    _mm_store_si128((__m128i*)(output_image+x), v_output1);  
}
```

- Problème d'alignement des données

aligned_alloc

- Difficilement portable

Implémentation sur CPU

- SIMD

	Min	Mean	Max
no_vect	5.913e-06	0.0120603	0.052094
unaligned_simd	4.83e-07	0.00363181	0.0142756
aligned_simd	4.99e-07	0.00364205	0.0145116

Implémentation sur CPU

- Auto-vectorisation

	Min	Mean	Max
no_vect	5.913e-06	0.0120603	0.052094
unaligned_simd	4.83e-07	0.00363181	0.0142756
aligned_simd	4.99e-07	0.00364205	0.0145116
auto_vect	4.83e-07	0.00364648	0.014371

CPU : SIMD

- Function Multiversioning (GCC 4.8) - <https://gcc.gnu.org/wiki/FunctionMultiVersioning>

```
__attribute__((target ("default")))
int foo ()
{
    // The default version of foo.
}

__attribute__((target ("sse4.2")))
int foo ()
{
    // foo version for SSE4.2
}

__attribute__((target ("arch=atom")))
int foo ()
{
    // foo version for the Intel ATOM processor
}
```

Implémentation sur CPU

- Boost::simd

Implémentation sur GPU

Implémentation sur GPU

- Implémentation sur GPU
 - Cuda
 - OpenCL
 - Compute Shaders
 - ...

Implémentation sur GPU

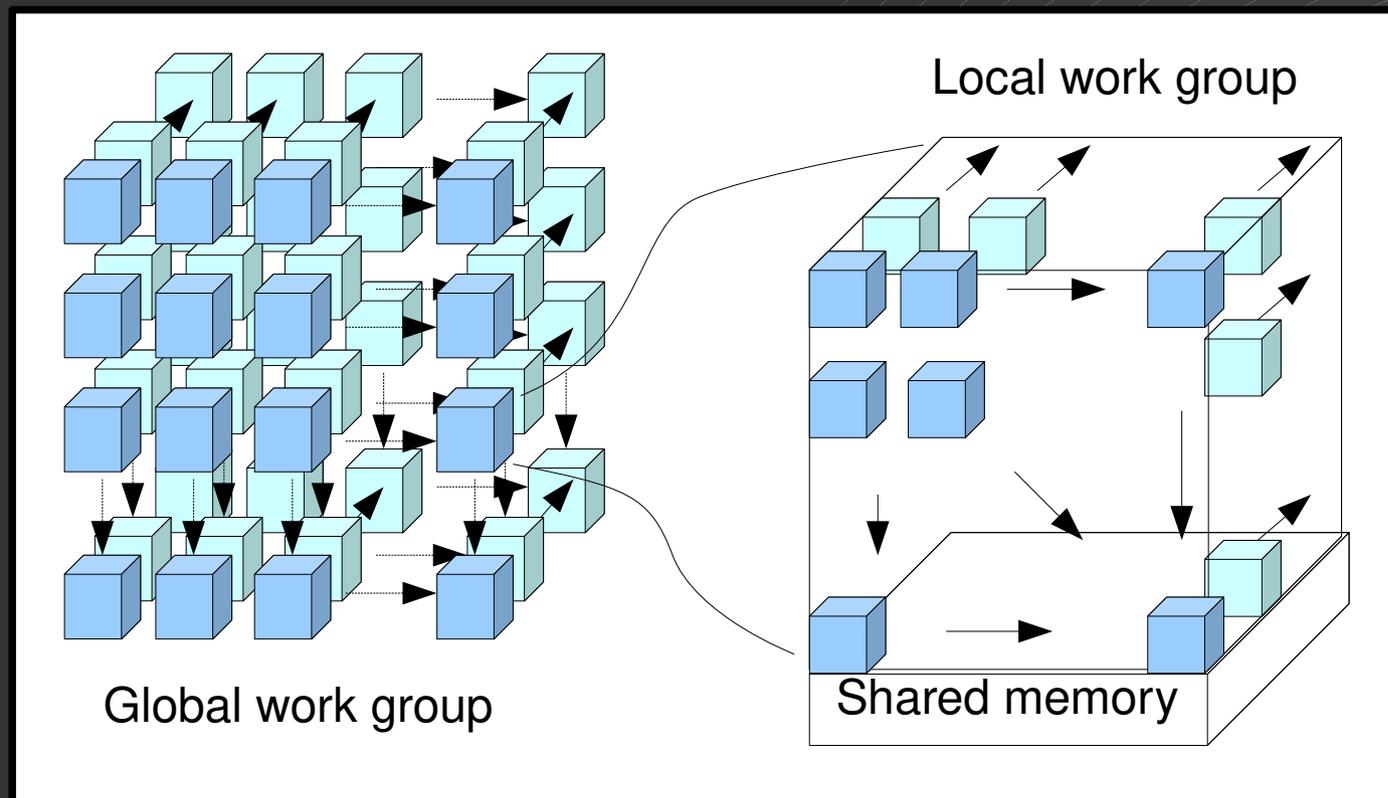
- Cuda

Implémentation sur GPU

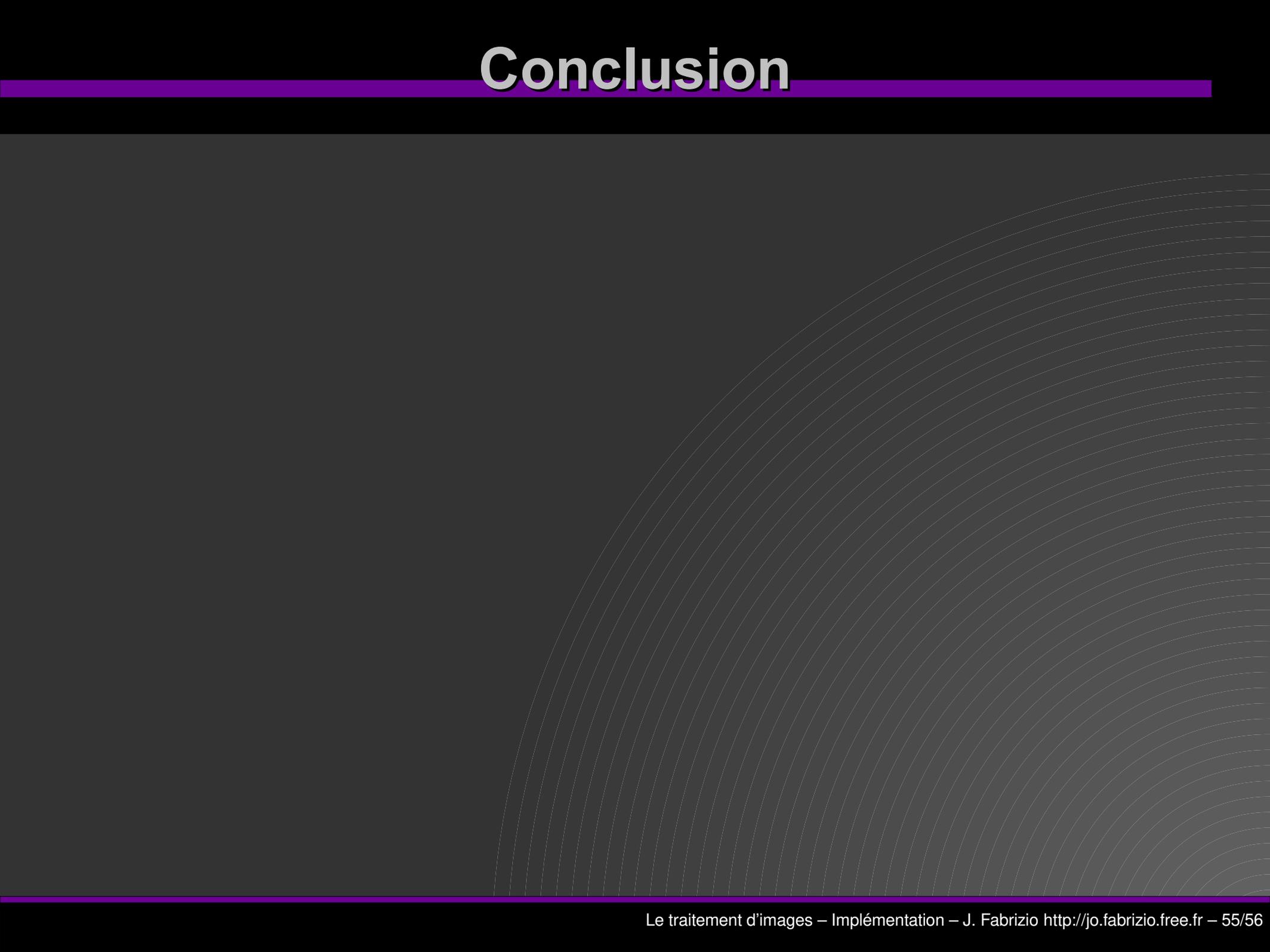
- OpenCL

Implémentation sur GPU

- Compute Shaders
 - Glsl « portable » ou autre



Conclusion



Cours 06

Fin