

Recueil d'exercices d'Algorithmes et Structures de Données (ASD)

Partie 1 : Algorithmes

Version 1.0
10 mai 2023

© Olivier Cuisenaire, 2023

Table des matières

Chapitre 1 : Introduction	1
Exercice 1.1 Complexités (1)	1
Exercice 1.2 Complexités (2)	2
Exercice 1.3 Complexités : pire cas / meilleur cas / en moyenne	3
Exercice 1.4 <code>std::lower_bound</code> , <code>std::upper_bound</code>	5
Exercice 1.5 <code>std::equal_range</code>	6
Solutions	7
Chapitre 2 : Récursivité	9
Exercice 2.1 Tracer un appel récursif	9
Exercice 2.2 Tracer deux appels récursifs	11
Exercice 2.3 Tracer plusieurs appels récursifs	13
Exercice 2.4 Complexité code récursif	15
Exercice 2.5 Triangle de lettres	16
Exercice 2.6 Puissance de b	16
Solutions	17
Chapitre 3 : Tris	20
Exercice 3.1 Tri à bulle	20
Exercice 3.2 Tri par sélection	21
Exercice 3.3 Tri par insertion	22
Exercice 3.4 Tri fusion	24
Exercice 3.5 Partition rapide	25
Exercice 3.6 Tri rapide	26
Exercice 3.7 Sélection rapide	27
Exercice 3.8 Devinez le tri utilisé	28
Exercice 3.9 <code>stable_sort</code>	29
Exercice 3.10 <code>qsort</code>	30
Exercice 3.11 <code>qsort</code> (2)	31
Exercice 3.12 Complexités tris de la STL	32
Exercice 3.13 Comparaison par fonction générique	34
Exercice 3.14 Comparaison par foncteur	34
Solutions	35

Chapitre 1 : Introduction

Exercice 1.1 Complexités (1)

Quelle est la complexité des extraits de code suivants en fonction du paramètre N ?

1.	<pre>int k = 0; for(int i = 0; i < N; ++i) ++k;</pre>	
2.	<pre>int k = 0; for(int i = 0; i*i < N; ++i) ++k;</pre>	
3.	<pre>int k = 0; for(int i = 1; i < N; i *= 2) ++k;</pre>	
4.	<pre>int k = 0; for(int i = 0; i < N; ++i) for(int j = 0; j < N; ++j) ++k;</pre>	
5.	<pre>int k = 0; for(int i = 0; i < N; ++i) for(int j = 1; j < N; j *= 2) ++k;</pre>	
6.	<pre>int k = 0; for(int i = 0; i < N; ++i) for(int j = i; j < N; ++j) ++k;</pre>	

Exercice 1.2 Complexités (2)

Quelle est la complexité des extraits de code suivants en fonction des deux paramètres M et N ?

1.	<pre>int k = 0; for(int i = 0; i < N or i < M; ++i) ++k;</pre>	
2.	<pre>int k = 0; for(int i = 0; i < N and i < M; ++i) ++k;</pre>	
3.	<pre>int k = 0; for (int i = 1; i < N; i *= 2) for (int j = 1; j < M; ++j) ++k;</pre>	
4.	<pre>int k = 0; for(int i = 0; i < N; ++i) { ++k; for (; i < M; ++i) ++k; }</pre>	
5.	<pre>int k = 0; for(int i = N; i < M; ++i) ++k;</pre>	
6.	<pre>int k = 0; for(int i = 0; i < N; ++i) { ++k; for (int j = i; j < M; ++j) ++k; }</pre>	

Exercice 1.3 Complexités : pire cas / meilleur cas / en moyenne

Quelle est la complexité des extraits de code suivants dans le pire cas, meilleur cas et en moyenne ?

1.	<pre> int k = 0; for(int i = 0; i < N; ++i) { if(rand() % N == 0) { for(int j = 0; j < N; ++j) ++k; } else { ++k; } } </pre>	
2.	<pre> int k = 0; for(int i = 0; i < N; ++i) { if(rand() % 2) { for(int j = 0; j < N; ++j) ++k; } else { ++k; } } </pre>	
3.	<pre> int k = 0; for(int i = 0; i < N; ++i) { int a = rand() % N; if(a*a < N) { for(int j = 0; j < N; ++j) ++k; } else { ++k; } } </pre>	
4.	<pre> int k = 0; for(int i = 1; i < N; i *= 2) { int a = rand() % N; for(int j = 0; j < a; ++j) ++k; } </pre>	

5.	<pre>int k = 0; for(int i = 1; i < N; ++i) { if(rand() % 2 == 0) { for (int j = 0; j < M; ++j) ++k; } else { for (int j = 0; j < N; ++j) ++k; } }</pre>	
----	--	--

Exercice 1.4 `std::lower_bound`, `std::upper_bound`

Qu'affichent les extraits de code suivants ? Si une valeur est indéterminée, remplacez-là par le symbole "?".

1.	<pre>vector v = { 1, 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17 }; cout << *lower_bound(v.begin(),v.end(),0) << " "; cout << *lower_bound(v.begin(),v.end(),1) << " "; cout << *lower_bound(v.begin(),v.end(),3) << " "; cout << *lower_bound(v.begin(),v.end(),4) << " "; cout << *lower_bound(v.begin(),v.end(),17) << " "; cout << *lower_bound(v.begin(),v.end(),18) << endl;</pre>
2.	<pre>vector v = { 1, 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17 }; cout << distance(v.begin(),lower_bound(v.begin(),v.end(),0)) << " "; cout << distance(v.begin(),lower_bound(v.begin(),v.end(),1)) << " "; cout << distance(v.begin(),lower_bound(v.begin(),v.end(),3)) << " "; cout << distance(v.begin(),lower_bound(v.begin(),v.end(),4)) << " "; cout << distance(v.begin(),lower_bound(v.begin(),v.end(),17)) << " "; cout << distance(v.begin(),lower_bound(v.begin(),v.end(),18)) << endl;</pre>
3.	<pre>vector v = { 1, 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17 }; cout << *upper_bound(v.begin(),v.end(),0) << " "; cout << *upper_bound(v.begin(),v.end(),1) << " "; cout << *upper_bound(v.begin(),v.end(),3) << " "; cout << *upper_bound(v.begin(),v.end(),4) << " "; cout << *upper_bound(v.begin(),v.end(),17) << " "; cout << *upper_bound(v.begin(),v.end(),18) << endl;</pre>
4.	<pre>vector v = { 1, 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17 }; cout << distance(v.begin(),upper_bound(v.begin(),v.end(),0)) << " "; cout << distance(v.begin(),upper_bound(v.begin(),v.end(),1)) << " "; cout << distance(v.begin(),upper_bound(v.begin(),v.end(),3)) << " "; cout << distance(v.begin(),upper_bound(v.begin(),v.end(),4)) << " "; cout << distance(v.begin(),upper_bound(v.begin(),v.end(),17)) << " "; cout << distance(v.begin(),upper_bound(v.begin(),v.end(),18)) << endl;</pre>

Exercice 1.5 std::equal_range

Qu'affichent les extraits de code suivants ? Si une valeur est indéterminée, remplacez-là par le symbole '?'.

1.	<pre>vector v = {1, 2, 2, 3, 5, 5, 7, 7, 11, 13}; auto r = equal_range(v.begin(), v.end(), 5); cout << distance(v.begin(), r.first) << " "; cout << distance(r.first, r.second) << " "; cout << *r.first << " " << *r.second << endl;</pre>
2.	<pre>vector v = {1, 2, 2, 3, 5, 5, 7, 7, 11, 13}; auto r = equal_range(v.begin(), v.end(), 8); cout << distance(v.begin(), r.first) << " "; cout << distance(r.first, r.second) << " "; cout << *r.first << " " << *r.second << endl;</pre>
3.	<pre>vector v = {1, 2, 2, 3, 5, 5, 7, 7, 11, 13}; auto r = equal_range(v.begin(), v.end(), 13); cout << distance(v.begin(), r.first) << " "; cout << distance(r.first, r.second) << " "; cout << *r.first << " " << *r.second << endl;</pre>
4.	<pre>vector v = {1, 2, 2, 3, 5, 5, 7, 7, 11, 13}; auto r = equal_range(v.begin(), v.end(), 17); cout << distance(v.begin(), r.first) << " "; cout << distance(r.first, r.second) << " "; cout << *r.first << " " << *r.second << endl;</pre>

Solutions

Exercice 1.1 – Complexités (1)

1. $O(N)$
2. $O(\sqrt{N})$
3. $O(\log N)$
4. $O(N^2)$
5. $O(N \log N)$
6. $O(N^2)$

Exercice 1.2 – Complexités (2)

1. $O(\max(M, N))$, mais $O(M + N)$ est aussi acceptable
2. $O(\min(M, N))$
3. $O(M \log N)$
4. $O(\max(M, N))$, mais $O(M + N)$ est aussi acceptable
5. $O(\max(0, M - N))$
6. $O(M^2 + N)$ si $M < N$, $O(2MN - N^2)$ sinon

Exercice 1.3 – Complexités : pire cas / meilleur cas / en moyenne

1. Pire : $O(N^2)$ – Meilleur : $O(N)$ – Moyenne : $O(N)$
2. Pire : $O(N^2)$ – Meilleur : $O(N)$ – Moyenne : $O(N^2)$
3. Pire : $O(N^2)$ – Meilleur : $O(N)$ – Moyenne : $O(N^{1.5})$
4. Pire : $O(N \log N)$ – Meilleur : $O(\log N)$ – Moyenne : $O(N \log N)$
5. Pire : $O(N \max(M, N))$ – Meilleur : $O(N \min(M, N))$ – Moyenne : $O(N(N + M))$

Exercice 1.4 – lower_bound et upper_bound

1. 1 1 3 5 17 ?
2. 0 0 2 3 7 8
3. 1 2 5 5 ? ?
4. 0 1 3 3 8 8

Exercice 1.5 – equal_range

1. 4 2 5 7
2. 8 0 11 11
3. 9 1 13 ?
4. 10 0 ? ?

Chapitre 2 : Récursivité

Exercice 2.1 Tracer un appel récursif

Qu'affichent les fonctions suivantes si on les appelle avec la valeur 4 en paramètre ?

1.	<pre>void f1(int n) { if(n > 0) { cout << n << " "; f1(n-1); } }</pre>	
2.	<pre>void f2(int n) { if(n > 0) { f2(n-1); cout << n << " "; } }</pre>	
3.	<pre>void f3(int n) { cout << n << " "; if(n > 0) { f3(n-1); } }</pre>	
4.	<pre>void f4(int n) { if(n > 0) { f4(n-1); } cout << n << " "; }</pre>	

5.	<pre>void f5(int n) { cout << n << " "; if(n < 100) { f5(n*2); } }</pre>	
6.	<pre>void f6(int n) { if(n < 100) { f6(n*n/2); cout << n << " "; } }</pre>	
7.	<pre>void f7(int n) { if(n > 1) { cout << n << " "; f7(n-1); } cout << n << " "; }</pre>	
8.	<pre>void f8(int n) { cout << n << " "; if(n > 0) { f8(n-2); } cout << n << " "; }</pre>	

Exercice 2.2 Tracer deux appels récursifs

Qu'affichent les fonctions suivantes si on les appelle avec la valeur 3 en paramètre ?

1.	<pre>void f1(int n) { if(n > 0) { cout << n << " "; f1(n-1); f1(n-1); } }</pre>	
2.	<pre>void f2(int n) { if(n > 0) { f2(n-1); cout << n << " "; f2(n-1); } }</pre>	
3.	<pre>void f3(int n) { if(n > 0) { f3(n-1); f3(n-1); cout << n << " "; } }</pre>	
4.	<pre>void f4(int n) { if(n > 0) { cout << n << " "; f4(n-1); f4(n-2); } }</pre>	

5.	<pre>void f5(int n) { if(n > 0) { f5(n-2); f5(n-1); } if(n >= 0) cout << n << " "; }</pre>	
6.	<pre>void f6(int n) { if(n) f6(n-1); cout << n << " "; if(n > 1) f6(n-2); }</pre>	

Exercice 2.3 Tracer plusieurs appels récursifs

Qu'affichent les fonctions suivantes si on les appelle avec la valeur 3 en paramètre ?

1.	<pre>void f1(int n) { cout << n << " "; for(int i = 0; i < n; ++i) f1(i); }</pre>	
2.	<pre>void f2(int n) { for(int i = 0; i < n; ++i) f2(i); cout << n << " "; }</pre>	
3.	<pre>void f3(int n) { for(int i = 0; i < n; ++i) { cout << n << " "; f3(i); } }</pre>	
4.	<pre>void f4(int n) { cout << n << " "; while(n) f4(--n); }</pre>	
5.	<pre>void f5(int n) { while(n) f5(--n); cout << n << " "; }</pre>	
6.	<pre>int f6(int n) { int a = 1; if(n) { a = f6(n - 1); a += f6(n - 1); cout << a << " "; } return a; }</pre>	

7.	<pre>int f7(int n) { int a = 1; if(n) { a = f7(n / 2); a += f7(n / 2); } cout << a << " "; return a; }</pre>	
----	--	--

Exercice 2.4 Complexité code récursif

Quelle est la complexité des fonctions ci-dessous en fonction du paramètre n ?

1.	<pre>int f1(int n) { if(n > 0) return f1(n-1) + f1(n-1); else return 1; }</pre>	
2.	<pre>int f2(int n) { if(n > 0) return 2 * f2(n-1); else return 1; }</pre>	
3.	<pre>int f3(int n) { if(n > 0) return f3(n/2) + f3(n/2); else return 1; }</pre>	
4.	<pre>int f4(int n) { if(n > 0) return 2*f4(n/2); else return 1; }</pre>	
5.	<pre>int f5(int n) { if(n > 1) return f5(n-1) + f5(n-2); else return n; }</pre>	

6.	<pre> int f6(int n) { if(n > 0) { int a = 0; for(int i = 0; i < n; ++i) a += f6(n-1); return a; } else return 1; } </pre>	
----	---	--

Exercice 2.5 Triangle de lettres

En n'utilisant pas d'instruction de boucle - mais uniquement la récursivité – écrivez la fonction `void triangle(int n);` telle que l'appel à `triangle(5);` affiche les 6 lignes suivantes

A
BAB
CBABC
DCBABCD
EDCBABCDE
FEDCBABCDEF

Conseil : écrivez une fonction auxiliaire récursive qui affiche une ligne.

Exercice 2.6 Puissance de b

Ecrivez une fonction `double puissance(double b, unsigned n);` qui calcule b^n

1. En utilisant la relation récurrente $b^n = b \cdot b^{n-1}$
2. En utilisant la relation récurrent $b^n = b^{\frac{n}{2}} \cdot b^{\frac{n}{2}}$ quand b est pair et $b^n = b \cdot b^{\frac{n}{2}} \cdot b^{\frac{n}{2}}$ quand b est impair

Quelle est la complexité de chacune de ces deux fonctions ?

Solutions

Exercice 2.1 – Tracer un appel récursif

1. 4 3 2 1
2. 1 2 3 4
3. 4 3 2 1 0
4. 0 1 2 3 4
5. 4 8 16 32 64 128
6. 32 8 4
7. 4 3 2 1 2 3 4
8. 4 2 0 0 2 4

Exercice 2.2 – Tracer deux appels récursifs

1. 3 2 1 1 2 1 1
2. 1 2 1 3 1 2 1
3. 1 1 2 1 1 2 3
4. 3 2 1 1
5. 0 1 0 0 1 2 3
6. 0 1 2 0 3 0 1

Exercice 2.3 – Tracer plusieurs appels récursifs

1. 3 0 1 0 2 0 1 0
2. 0 0 1 0 0 1 2 3
3. 3 3 1 3 2 2 1
4. 3 2 1 0 0 1 0 0
5. 0 0 0 0 0 0 0 0
6. 2 2 4 2 2 4 8
7. 1 1 2 1 1 2 4

Exercice 2.4 - Complexité code récursif

1. $O(2^n)$
2. $O(n)$
3. $O(n)$
4. $O(\log n)$
5. $O(\phi^n)$ avec $\phi = (\sqrt{5} + 1)/2$
6. $O(n!)$

Exercice 2.5 – Triangle de lettres

```
#include <iostream>

using namespace std;

void ligne(int n) {
    if(n) {
        cout << char('A' + n);
        ligne(n-1);
    }
    cout << char('A'+n);
}

void triangle(int n) {
    if(n)
        triangle(n-1);
    ligne(n);
    cout << endl;
}

int main () {
    triangle(5);
}
```

Exercice 2.6 – Puissance de b

1. En utilisant $b^n = b \cdot b^{n-1}$ et $b^0 = 1$,

```
double puissance1(double b, unsigned n) {
    if(n)
        return b* puissance1(b,n-1);
    else
        return 1.;
}
```

Cette fonction a une complexité $O(n)$

2. En utilisant $b^n = b^{\frac{n}{2}} \cdot b^{\frac{n}{2}}$ quand b est pair, $b^n = b \cdot b^{\frac{n}{2}} \cdot b^{\frac{n}{2}}$ quand b est impair et $b^0 = 1$,

```
double puissance2(double b, unsigned n) {
    if(n == 0) return 1.;
    double p2 = puissance2(b,n/2);
    return p2 * p2 * (n % 2 ? b : 1.);
}
```

Cette fonction a une complexité $O(\log n)$.

Attention à ne pas écrire cette fonction avec deux appels récursifs. En effet, la fonction suivante a une complexité $O(n)$

```
double puissance3(double b, unsigned n) {  
    if(n == 0) return 1.;  
    return puissance3(b,n/2) * puissance3(b,n/2) * (n % 2 ? b : 1.);  
}
```

Chapitre 3 : Tris

Exercice 3.1 *Tri à bulle*

Effectuez le tri à bulle des tableaux suivants. Affichez l'état du tableau après chaque échange.

3	5	2	4	1	6

4	5	2	1	6	3

Exercice 3.2 Tri par sélection

Effectuez le tri par sélection des tableaux suivants. Affichez l'état du tableau après chaque échange, y compris si l'échange se fait avec lui-même.

3	5	2	4	1	6

4	5	2	1	6	3

Exercice 3.3 *Tri par insertion*

Effectuez le tri par insertion des tableaux suivants. Affichez l'état du tableau à chaque fois que le contenu du tableau change. Par exemple, pour le tableau [3, 1, 2], on aurait

3	1	2
3	3	2
1	3	2
1	3	3
1	2	3

2	1	5	3	4

4	5	2	1	3

Exercice 3.4 Tri fusion

Effectuez le tri fusion des tableaux suivants, en supposant que celui-ci est mis en oeuvre avec deux appels récur­sifs. Indiquez l'état du tableau après chaque étape de fusion

6	2	5	1	8	3	7	4

8	2	7	3	6	5	1	1

Exercice 3.5 *Partition rapide*

Effectuez la partition du tri rapide sur les tableaux suivants en utilisant l'élément souligné comme pivot. Indiquez l'état du tableau après chaque échange.

6	8	<u>5</u>	1	2	3	7	4

5	2	3	<u>2</u>	4	6	2	1

5	4	3	<u>3</u>	2	3	1	6

Exercice 3.6 *Tri rapide*

Effectuez le tri rapide sur les tableaux suivants en choisissant l'élément le plus à gauche comme pivot lors des partitions, et en partitionnant d'abord le plus petit des sous-tableaux, (celui de gauche en cas de tailles égales). Affichez l'état du tableau après chaque partition d'un tableau de plus de 1 élément.

6	7	5	1	2	3	8	4

3	1	4	2	5	6	1	2

5	1	3	3	2	3	4	6

Exercice 3.7 Sélection rapide

Effectuez la sélection rapide de la médiane sur les tableaux suivants en choisissant l'élément le plus à gauche comme pivot lors des partitions. Affichez l'état du tableau après chaque partition d'un tableau de plus de 1 élément.

6	7	5	1	2	3	4

3	7	1	5	6	2	4

3	5	1	6	2	4	7

Exercice 3.8 Devinez le tri utilisé

On effectue le tri d'un tableau de nombres avec 5 algorithmes (bulle, sélection, insertion, fusion, rapide) et l'on observe un état intermédiaire du tableau. Reliez chaque état intermédiaire au tri correspondant.

3.8.1 Tableau à trier : 4 2 6 3 5 9 1 7 8 0

- | | | |
|---------------------|-----------------------|---|
| 0 1 2 3 5 9 6 7 8 4 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Tri à bulles |
| 2 3 4 5 6 1 9 0 7 8 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Tri par sélection |
| 2 3 4 5 6 9 1 7 8 0 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Tri par insertion |
| 0 2 1 3 4 9 6 7 8 5 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Tri fusion |
| 2 3 1 4 5 0 6 7 8 9 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Tri rapide |

3.8.2 Tableau à trier : 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

- | | | |
|---------------------|-----------------------|---|
| 4 5 6 7 8 9 3 2 1 0 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Tri à bulles |
| 6 5 4 3 2 1 0 7 8 9 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Tri par sélection |
| 1 0 7 6 5 4 3 2 8 9 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Tri par insertion |
| 8 9 5 6 7 4 3 2 1 0 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Tri fusion |
| 0 1 2 3 5 4 6 7 8 9 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Tri rapide |

3.8.3 Tableau à trier : 3 5 7 9 1 2 4 6 8 0

- | | | |
|---------------------|-----------------------|---|
| 0 2 1 3 7 5 4 6 8 9 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Tri à bulles |
| 1 2 3 5 7 9 4 6 8 0 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Tri par sélection |
| 3 1 2 4 5 6 7 0 8 9 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Tri par insertion |
| 0 1 2 3 4 7 5 6 8 9 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Tri fusion |
| 1 3 5 7 9 0 2 4 6 8 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Tri rapide |

Exercice 3.9 *stable_sort*

Etant donné les fonctions de comparaison suivantes

```
bool comparer_unite(int a, int b) {
    return a % 10 < b % 10;
}
```

```
bool comparer_dizaine (int a, int b) {
    return a / 10 < b / 10;
}
```

Que contient le vecteur v après l'exécution des codes suivant ? Indiquez « indéterminé » si le standard C++ ne garanti pas ce contenu

1.	<pre>vector v{12, 43, 37, 56, 34, 57, 51, 33}; std::stable_sort(v.begin(), v.end(), comparer_unite); std::stable_sort(v.begin(), v.end(), comparer_dizaine);</pre>	
2.	<pre>vector v{12, 43, 37, 56, 34, 57, 51, 33}; std::stable_sort(v.begin(), v.end(), comparer_dizaine); std::stable_sort(v.begin(), v.end(), comparer_unite);</pre>	
3.	<pre>vector v{12, 43, 37, 56, 34, 57, 51, 33}; std::sort(v.begin(), v.end(), comparer_unite); std::stable_sort(v.begin(), v.end(), comparer_dizaine);</pre>	
4.	<pre>vector v{12, 43, 37, 56, 34, 57, 51, 33}; std::stable_sort(v.begin(), v.end(), comparer_unite); std::sort(v.begin(), v.end(), comparer_dizaine);</pre>	
5.	<pre>vector v{12, 43, 37, 56, 34, 57, 51, 33}; std::stable_sort(v.begin(), v.end(), comparer_dizaine); std::sort(v.begin(), v.end(), comparer_unite);</pre>	

Exercice 3.10 *qsort*

Réécrivez le code ci-dessous en C en utilisant la fonction `qsort` de la librairie `"stdlib.h"` plutôt que la fonction C++ `std::sort` de la librairie `<algorithm>`.

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <algorithm>

using namespace std;

bool comparer_unite(int a, int b) {
    return a % 10 < b % 10;
}

int main() {

    vector v{12, 43, 37, 56, 34, 57, 51, 33};
    std::sort(v.begin(), v.end(), comparer_unite);
    for(int i : v)
        cout << i << " ";
    cout << endl;
}
```


Exercice 3.11 qsort (2)

Complétez ce programme en C pour qu'il affiche la liste des conseillers fédéraux par ordre alphabétique des partis, et pour les membres d'un même parti, par ordre alphabétique des noms de famille.

```
#include "stdlib.h"
#include "stdio.h"
#include "string.h"

typedef struct {
    char nom[32], prenom[32], parti[4];
} Personne;

int main(void) {
    Personne conseillers_federaux[] = {
        {.nom = "Berset", .prenom = "Alain", .parti = "PS"},
        {.nom = "Parmelin", .prenom = "Guy", .parti = "UDC"},
        {.nom = "Cassis", .prenom = "Ignazio", .parti = "PLR"},
        {.nom = "Amherd", .prenom = "Viola", .parti = "LC"},
        {.nom = "Keller-Sutter", .prenom = "Karin", .parti = "PLR"},
        {.nom = "Rosti", .prenom = "Albert", .parti = "UDC"},
        {.nom = "Baume-Schneider", .prenom = "Elisabeth", .parti = "PS"}
    };
    const int N = sizeof(conseillers_federaux) / sizeof (Personne);

    for(int i = 0; i < N; ++i)
        printf("%s %s (%s) \n",
            conseillers_federaux[i].nom,
            conseillers_federaux[i].prenom,
            conseillers_federaux[i].parti);
}
```

Exercice 3.12 Complexités tris de la STL

Quelle est la complexité des fonctions ci-dessous en fonction de N (et M)? Précisez cette complexité dans le pire cas et le cas moyen si elle varie en fonction du contenu du vecteur.

1.	<pre>bool f1(vector<int> const& v, int val) { size_t N = v.size(); if(is_sorted(v.begin(),v.end())) return distance(v.begin(), lower_bound(v.begin(),v.end(),val)); throw std::invalid_argument("v non trié"); }</pre>	
2.	<pre>bool f2(vector<int> const& v, int val) { size_t N = v.size(); assert(is_sorted(v.begin(),v.end())); return distance(v.begin(), lower_bound(v.begin(),v.end(),val)); }</pre>	
3.	<pre>vector<int> f3(vector<int> const& v, vector<int> const&w) { size_t N = v.size(), M = w.size(); vector<int> x(M+N); merge(v.begin(),v.end(), w.begin(),w.end(), x.begin()); return x; }</pre>	
4.	<pre>array<int, 3> f4(vector<int>& v) { sort(v.begin(),v.end()); return { v.front(), v[v.size()/2], v.back() }; }</pre>	

5.	<pre>array<int, 3> f5(vector<int>& v) { size_t N = v.size(); auto mid = v.begin() + N/2; array<int,3> a; nth_element(v.begin(),mid,v.end()); a[0] = *min_element(v.begin(), mid); a[1] = *mid; a[2] = *max_element(mid, v.end()); return a; }</pre>	
6.	<pre>array<int, 3> f6(vector<int>& v) { stable_sort(v.begin(),v.end()); return { v.front(), v[v.size()/2], v.back() }; }</pre>	

Exercice 3.13 Comparaison par fonction générique

Remplacez les deux fonctions de l'exercice 3.9

```
bool comparer_unite(int a, int b) {  
    return a % 10 < b % 10;  
}  
  
bool comparer_dizaine (int a, int b) {  
    return a / 10 < b / 10;  
}
```

par une seule fonction générique `comparer_chiffre` telle que le code appelant puisse être

```
int main() {  
    vector v{12, 43, 37, 56, 34, 57, 51, 33};  
    std::sort(v.begin(), v.end(), comparer_chiffre<0>);  
    std::stable_sort(v.begin(), v.end(), comparer_chiffre<1>);  
    for(int i : v)  
        cout << i << " ";  
    cout << endl;  
}
```

Exercice 3.14 Comparaison par foncteur

Remplacez les deux fonctions de l'exercice 3.9

```
bool comparer_unite(int a, int b) {  
    return a % 10 < b % 10;  
}  
  
bool comparer_dizaine (int a, int b) {  
    return a / 10 < b / 10;  
}
```

par un foncteur `comparer_chiffre` telle que le code appelant puisse être

```
int main() {  
    vector v{12, 43, 37, 56, 34, 57, 51, 33};  
    std::sort(v.begin(), v.end(), comparer_chiffre(0));  
    std::stable_sort(v.begin(), v.end(), comparer_chiffre(1));  
    for(int i : v)  
        cout << i << " ";  
    cout << endl;  
}
```

Solutions

Exercice 3.1 – Tri à bulles

3 5 2 4 1 6	4 5 2 1 6 3
3 2 5 4 1 6	4 2 5 1 6 3
3 2 4 5 1 6	4 2 1 5 6 3
3 2 4 1 5 6	4 2 1 5 3 6
2 3 4 1 5 6	2 4 1 5 3 6
2 3 1 4 5 6	2 1 4 5 3 6
2 1 3 4 5 6	2 1 4 3 5 6
1 2 3 4 5 6	1 2 4 3 5 6
	1 2 3 4 5 6

Exercice 3.2 – Tri par sélection

3 5 2 4 1 6	4 5 2 1 6 3
1 5 2 4 3 6	1 5 2 4 6 3
1 2 5 4 3 6	1 2 5 4 6 3
1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 6 5
1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 6 5
1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6

Exercice 3.3 – Tri par insertion

2 1 5 3 4	4 5 2 1 3
2 2 5 3 4	4 5 5 1 3
1 2 5 3 4	4 4 5 1 3
1 2 5 5 4	2 4 5 1 3
1 2 3 5 4	2 4 5 5 3
1 2 3 5 5	2 4 4 5 3
1 2 3 4 5	2 2 4 5 3
	1 2 4 5 3
	1 2 4 5 5
	1 2 4 4 5
	1 2 3 4 5

Exercice 3.4 – Tri fusion

6 2 5 1 8 3 7 4	8 2 7 3 6 5 4 1
2 6 5 1 8 3 7 4	2 8 7 3 6 5 4 1
2 6 1 5 8 3 7 4	2 8 3 7 6 5 4 1
1 2 5 6 8 3 7 4	2 3 7 8 6 5 4 1
1 2 5 6 3 8 7 4	2 3 7 8 5 6 4 1
1 2 5 6 3 8 4 7	2 3 7 8 5 6 1 4
1 2 5 6 3 4 7 8	2 3 7 8 1 4 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8

Exercice 3.5 – Partition rapide

6 8 5 1 2 3 7 4	5 2 3 2 4 6 2 1	5 4 3 3 2 3 1 6
6 8 4 1 2 3 7 5	5 2 3 1 4 6 2 2	5 4 3 6 2 3 1 3
3 8 4 1 2 6 7 5	2 2 3 1 4 6 5 2	1 4 3 6 2 3 5 3
3 2 4 1 8 6 7 5	2 1 3 2 4 6 5 2	1 3 3 6 2 4 5 3
3 2 4 1 5 6 7 8	2 1 2 2 4 6 5 3	1 3 2 6 3 4 5 3
		1 3 2 3 3 4 5 6

Exercice 3.6 – Tri rapide

<u>6</u> 7 5 1 2 3 8 4	<u>3</u> 1 4 2 5 6 1 2	<u>5</u> 1 3 3 2 3 4 6
4 3 5 1 2 6 <u>8</u> 7	2 1 1 2 3 <u>6</u> 4 5	<u>4</u> 1 3 3 2 3 5 6
<u>4</u> 3 5 1 2 6 7 8	2 1 1 2 3 <u>5</u> 4 6	<u>3</u> 1 3 3 2 4 5 6
<u>2</u> 3 1 4 5 6 7 8	<u>2</u> 1 1 2 3 4 5 6	<u>2</u> 1 3 3 3 4 5 6
1 2 3 4 5 6 7 8	<u>1</u> 1 2 2 3 4 5 6	1 2 3 3 3 4 5 6
	1 1 2 2 3 4 5 6	

Exercice 3.7 – Sélection rapide

6 7 5 1 2 3 4	3 7 1 5 6 2 4	3 5 1 6 2 4 7
4 3 5 1 2 6 7	2 1 3 5 6 4 7	2 1 3 6 7 4 5
2 3 1 4 5 6 7	2 1 3 4 5 7 6	2 1 3 5 4 6 7
		2 1 3 4 5 6 7

Exercice 3.8 - Devinez le tri utilisé

Tableau à trier : 4 2 6 3 5 9 1 7 8 0

0 1 2 3 5 9 6 7 8 4	<input checked="" type="radio"/>	Tri à bulles
2 3 4 5 6 1 9 0 7 8	<input checked="" type="radio"/>	Tri par sélection
2 3 4 5 6 9 1 7 8 0	<input checked="" type="radio"/>	Tri par insertion
0 2 1 3 4 9 6 7 8 5	<input checked="" type="radio"/>	Tri fusion
2 3 1 4 5 0 6 7 8 9	<input checked="" type="radio"/>	Tri rapide

Tableau à trier : 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

4 5 6 7 8 9 3 2 1 0	<input checked="" type="radio"/>	Tri à bulles
6 5 4 3 2 1 0 7 8 9	<input checked="" type="radio"/>	Tri par sélection
1 0 7 6 5 4 3 2 8 9	<input checked="" type="radio"/>	Tri par insertion
8 9 5 6 7 4 3 2 1 0	<input checked="" type="radio"/>	Tri fusion
0 1 2 3 5 4 6 7 8 9	<input checked="" type="radio"/>	Tri rapide

Tableau à trier : 3 5 7 9 1 2 4 6 8 0

0 2 1 3 7 5 4 6 8 9	<input checked="" type="radio"/>	Tri à bulles
1 2 3 5 7 9 4 6 8 0	<input checked="" type="radio"/>	Tri par sélection
3 1 2 4 5 6 7 0 8 9	<input checked="" type="radio"/>	Tri par insertion
0 1 2 3 4 7 5 6 8 9	<input checked="" type="radio"/>	Tri fusion
1 3 5 7 9 0 2 4 6 8	<input checked="" type="radio"/>	Tri rapide

Exercice 3.9 – stable_sort

1. 12 33 34 37 43 51 56 57
2. 51 12 33 43 34 56 37 57
3. 12 33 34 37 43 51 56 57
4. indéterminé
5. indéterminé

Exercice 3.10 – qsort

```
#include "stdlib.h"
#include "stdio.h"

int comparer_unite(void const* a, void const* b) {
    return *(int*)a % 10 - *(int*)b % 10;
}

int main(void) {
    int v[] = {12, 43, 37, 56, 34, 57, 51, 33};
    int n = sizeof(v) / sizeof(int);
    qsort(v, n, sizeof(int), comparer_unite);
    for(int i = 0; i < n; ++i)
        printf("%d ", v[i]);
    printf("\n");
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

Exercice 3.11 – qsort (2)

```
#include "stdlib.h"
#include "stdio.h"
#include "string.h"

typedef struct {
    char nom[32], prenom[32], parti[4];
} Personne;

int comparer_parti_puis_nom(void const* a, void const* b) {
    int r = strcmp(((Personne*)a)->parti, ((Personne*)b)->parti);
    return r ? r : strcmp(((Personne*)a)->nom, ((Personne*)b)->nom);
}

int main(void) {
    Personne conseillers_federaux[] = {
        {.nom = "Berset", .prenom = "Alain", .parti = "PS"},
        {.nom = "Parmelin", .prenom = "Guy", .parti = "UDC"},
        {.nom = "Cassis", .prenom = "Ignazio", .parti = "PLR"},
        {.nom = "Amherd", .prenom = "Viola", .parti = "LC"},
        {.nom = "Keller-Sutter", .prenom = "Karin", .parti = "PLR"},
        {.nom = "Rosti", .prenom = "Albert", .parti = "UDC"},
        {.nom = "Baume-Schneider", .prenom = "Elisabeth", .parti = "PS"}
    };
    const int N = sizeof(conseillers_federaux) / sizeof (Personne);

    qsort(conseillers_federaux, N, sizeof(Personne), comparer_parti_puis_nom);

    for(int i = 0; i < N; ++i)
        printf("%s %s (%s) \n", conseillers_federaux[i].nom,
            conseillers_federaux[i].prenom, conseillers_federaux[i].parti);
}
```

Exercice 3.12 - Complexités tris de la STL

1. $O(n)$, en raison de l'appel à `std::is_sorted`
2. $O(n)$ en mode debug, mais $O(\log n)$ en mode release
3. $O(n + m)$
4. $O(n \log n)$ en moyenne, mais $O(n^2)$ dans le pire des cas
5. $O(n)$ en moyenne, mais $O(n^2)$ dans le pire des cas
6. $O(n \log n)$ dans tous les cas

Exercice 3.13 Comparaison par fonction générique

```
#include <iostream>
using std::cout, std::endl;
#include <vector>
using std::vector;
#include <algorithm>
using std::sort, std::stable_sort;
#include <cmath>
using std::pow;

template<int N>
bool comparer_chiffre (int a, int b) {
    static const auto _10_exp_n = int(pow(10.,N));
    return a / _10_exp_n % 10 < b / _10_exp_n % 10;
}

int main() {
    vector v{12, 43, 37, 56, 34, 57, 51, 33};
    std::sort(v.begin(), v.end(), comparer_chiffre<0>);
    std::stable_sort(v.begin(), v.end(), comparer_chiffre<1>);
    for(int i : v) cout << i << " ";
}
```

Exercice 3.14 Comparaison par foncteur

```
#include <iostream>
using std::cout, std::endl;
#include <vector>
using std::vector;
#include <algorithm>
using std::sort, std::stable_sort;
#include <cmath>
using std::pow;

class comparer_chiffre {
public:
    comparer_chiffre(int n) : _10_exp_n(int(pow(10.,n))) { }
    bool operator() (int a, int b) const {
        return a / _10_exp_n % 10 < b / _10_exp_n % 10;
    }
private:
    int _10_exp_n;
};

int main() {
    vector v{12, 43, 37, 56, 34, 57, 51, 33};
    std::sort(v.begin(), v.end(), comparer_chiffre(0));
    std::stable_sort(v.begin(), v.end(), comparer_chiffre(1));
    for(int i : v) cout << i << " ";
}
```