

INF421-a

Bases de la programmation et de l'algorithmique

(Bloc 4/ 9)

Philippe Baptiste

CNRS LIX, École Polytechnique

17 septembre 2009

Aujourd'hui

Hacher en java

Une dernière liste

Les graphes

Les arbres

Parcours DFS

Rappels sur les classes génériques

Une classe générique contient une variable de type (au -)

```

class Liste<T> {
    T val;
    Liste<T> suivant;
    Liste(T v, Liste<T> l) {
        val = v;
        suivant = l;
    }
    int lng() {
        if (suivant == null) return 1;
        else return 1 + suivant.lng();
    }
    public String toString() {
        if (suivant == null) return val + "";
        else return val + " " + suivant.toString();
    }
}

class Paire<T1, T2> {
    T1 v1;
    T2 v2;
    Paire(T1 v1, T2 v2) {
        this.v1 = v1;
        this.v2 = v2;
    }
    public String toString() {
        return "[" + v1 + ", " + v2 + "]";
    }
}

```

Classes génériques

```

public static void main(String[] args) {
    Liste<Integer> l = null;
    l = new Liste<Integer>(10, l);
    l = new Liste<Integer>(11, l);
    l = new Liste<Integer>(12, l);
    l = new Liste<Integer>(13, l);
    l = new Liste<Integer>(14, l);
    l = new Liste<Integer>(15, l);
    System.out.println(l + " lng = " + l.lng());
}
/* 15 14 13 12 11 10 lng = 6 */

```

Classes génériques

```
public static void main(String[] args) {
    Liste<Paire<Integer, String>> l = null;
    l = new Liste<Paire<Integer, String>>
        (new Paire<Integer, String>(10, "Charles"), l);
    l = new Liste<Paire<Integer, String>>
        (new Paire<Integer, String>(7, "Georges"), l);
    l = new Liste<Paire<Integer, String>>
        (new Paire<Integer, String>(3, "Bill"), l);
    System.out.println(l + " lng = " + l.lng());
}
/* [3, Bill] [7, Georges] [10, Charles] lng = 3 */
```

En pratique, la classe Hashtable

- ▶ Dans le package "java.util"
- ▶ un package = ensemble de classes java
 - ▶ Utilisation d'une classe Hashtable d'un package java.util :
`java.util.Hashtable`
 - ▶ ou plus simplement `import java.util.*` au début du fichier puis `Hashtable`
- ▶ Hashtable implémente une structure associée à une donnée (un objet) associée une clef (un autre objet).
- ▶ "Comme" un tableau d'objets avec des indices non numériques.

Classes génériques : ATTENTION

- ▶ Pas d'instanciation avec un type primitif!!!
 - ▶ Utiliser Integer et pas `int`.
- ▶ On ne peut pas utiliser un paramètre de type dans une fonction `static`

En pratique, la class Hashtable<K,V>

- ▶ <K,V> est un couple d'objets (Key / Value)
- ▶ Exemple :
`Hashtable <String, Integer> t = new Hashtable <String, Integer>`
- ▶
`Hashtable <MaListe, Integer> t = new Hashtable <MaListe, Integer>`
- ▶ Attention (bis) : Integer et pas Int
- ▶ `public V put(K key, V value)` : ajoute un élément et sa clef à la table. retourne la valeur précédente associée à la clef dans la table (ou `null`)
- ▶ `public V get(K key)` retourne la valeur de la table dont la clef est `key`.
- ▶ `public remove(K key)` supprime l'élément de la table dont la clef est `key`.

Attention ! put et get ne sont pas static

En pratique, la `class` `Hashtable<K,V>`

```
class test {
    public static void main (String[] args) {
        Hashtable <String, Integer> numbers =
            new Hashtable<String, Integer> ();
        numbers.put("un", new Integer(1));
        numbers.put("deux", new Integer(2));
        numbers.put("quatre", new Integer(4));
        numbers.put("dix", new Integer(10));
        Integer n = (Integer)numbers.get(args[0]);
        System.out.println(args[0] + " = " + n);
    }
}
```

Aujourd'hui

Hacher en java

Une dernière liste

Les graphes

Les arbres

Parcours DFS

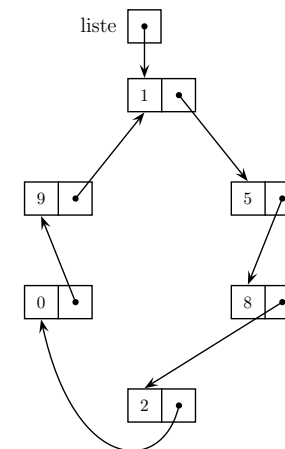
Object ?

- ▶ Tout ce qui n'est pas primitif est un `Object`
- ▶ A la création d'un objet (comme `Hashtable` ou `Couple`), on **hérite** des méthodes définies par la classe `Object`.
- ▶ Certaines de ces méthodes peuvent être redéfinies
 - ▶ Attention, suivre exactement la signature
- ▶ Un exemple déjà vu : `toString`

```
class Personne {
    String nom; int age;
    public String toString() {
        return nom + " j'ai " + age + " ans"; }
}
```
- ▶ D'autres méthodes utiles :
 - ▶ **public boolean** `equals(Object o)`
 - ▶ **public int** `hashCode()`

Les listes circulaires

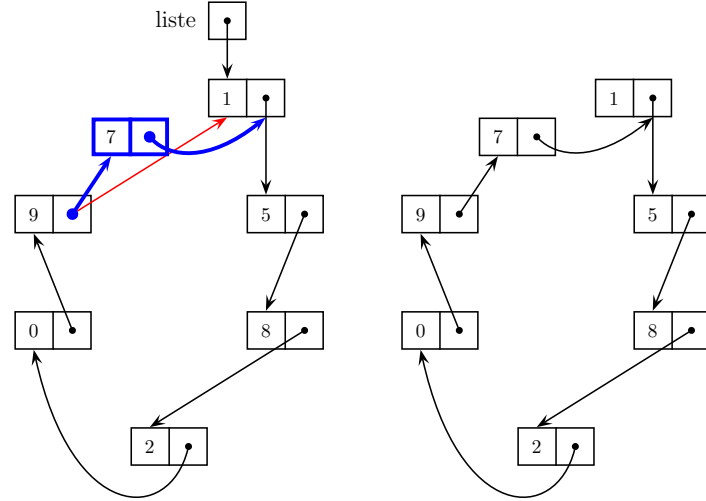
Dans une liste circulaire le champ suivant de la dernière cellule contient la référence de la première cellule



- ▶ Liste vide : `null`
- ▶ Singleton : ???

Listes circulaires

L'insertion d'un élément.



Listes circulaires

Un constructeur plus rusé

```
ListeCirculaire (int v, ListeCirculaire l) {
    val = v;
    if (l == null)
        suivant = this;
    else {
        ListeCirculaire precedent = l;
        l = l.suivant;
        suivant = l;
        precedent.suivant = this;
    }
}
```

Pourquoi ?

Listes circulaires

```
class ListeCirculaire {
    int val; ListeCirculaire suivant;
    ListeCirculaire (int v, ListeCirculaire l) {
        val = v;
        if (l == null)
            suivant = this;
        else {
            suivant = l;
            dernier(l).suivant = this; // CHER !!!
        }
    }
    static ListeCirculaire dernier(ListeCirculaire l) {
        if (l == null) return null;
        ListeCirculaire marque = l;
        while (l.suivant != marque) l = l.suivant;
        return l;
    }
}
```

Affichage

```
static void affiche(ListeCirculaire l) {
    if (l == null) return;
    ListeCirculaire marque = l;
    while (l.suivant != marque) {
        System.out.print(l.val + " ");
        l = l.suivant;
    }
    System.out.println(l.val);
}
```

Fusion de listes circulaires : exercice

```

static ListeCirculaire fusion(ListeCirculaire l1,
                             ListeCirculaire l2) {
    if (l1 == null)
        return l2;
    if (l2 == null)
        return l1;
    ListeCirculaire p1 = l1;
    l1 = l1.suivant;
    ListeCirculaire p2 = l2;
    l2 = l2.suivant;
    p1.suivant = l2;
    p2.suivant = l1;
    return l1;
}

```

Aujourd'hui

Hacher en java

Une dernière liste

Les graphes

Les arbres

Parcours DFS

Fusion de listes circulaires : exercice

Que fait le code suivant ?

```

ListeCirculaire l = null;
l = new ListeCirculaire(10, l); l = new ListeCirculaire(11, l);
l = new ListeCirculaire(12, l); l = new ListeCirculaire(13, l);
l = new ListeCirculaire(14, l); l = new ListeCirculaire(15, l);
ListeCirculaire.affiche(l);
ListeCirculaire L = null;
L = new ListeCirculaire(1, L); L = new ListeCirculaire(2, L);
L = new ListeCirculaire(3, L); L = new ListeCirculaire(4, L);
L = new ListeCirculaire(5, L); L = new ListeCirculaire(6, L);
ListeCirculaire.affiche(L);
L = ListeCirculaire.fusion(l, L);
ListeCirculaire.affiche(L);

```

15 10 11 12 13 14

6 1 2 3 4 5

10 11 12 13 14 15 1 2 3 4 5 6

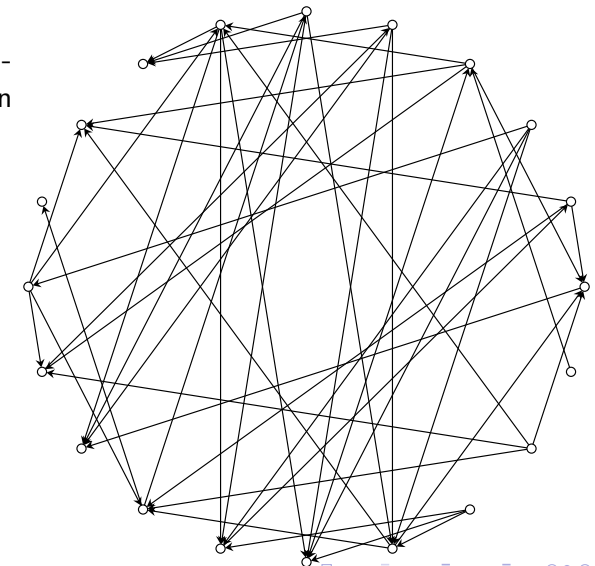
Les graphes (orientés)

Un graphe orienté (di-graph) $G = (S, A)$ est un couple formé

- ▶ d'un ensemble de nœuds (ou sommets) S
- ▶ et d'un ensemble $A \subseteq S \times S$ d'arcs

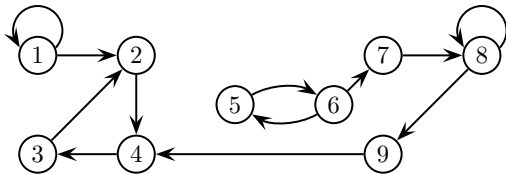
Représentation

- ▶ nœud \leftrightarrow point
- ▶ arc $(x, y) \leftrightarrow$ ligne orientée de x à y



Chemins

- ▶ Un chemin de s à t est une suite ($s = s_0, \dots, s_n = t$) de nœuds reliés par des arcs, i.e., $\forall i \in \{1, \dots, n\}, (s_{i-1}, s_i) \in A$
- ▶ s_0 est l'origine du chemin et le nœud s_n son extrémité
- ▶ n est la longueur du chemin.
- ▶ Un circuit est un chemin de longueur non nulle dont l'origine coïncide avec l'extrémité
- ▶ Un chemin est **simple** si tous les nœuds sont distincts
- ▶ Un graphe est fortement **connexe** ssi \exists un chemin entre toute paire de nœuds



ch sp : (1, 2, 4, 3)
 ch : (1, 1, 2, 4, 3)
 circuit : (5, 6, 5)



Pourquoi les graphes

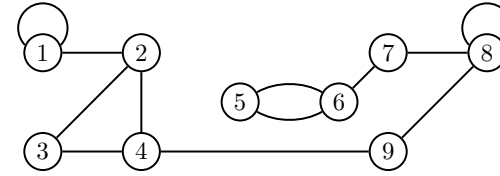
- ▶ Un outil de modélisation très riche
 - ▶ Cheminement (e.g. mapquest, maps.google.com, etc.)
 - ▶ Calcul de tournées de véhicules
 - ▶ Chip design (Very Large Scale Integration)
 - ▶ Ordonnancement de tâches
 - ▶ 1 tâche = 1 sommet
 - ▶ 1 précedence = 1 arc
- ▶ Un outil mathématique
 - ▶ Euler, Hamilton, Kirchhoff, Edmonds, Berge, Lovász, Seymour...
 - ▶ Les ponts de Königsberg, les 4 couleurs, ...
- ▶ Un outil fondamental de l'informatique



Graphe non orienté

Un graphe non orienté $G = (S, A)$ est un couple formé

- ▶ d'un ensemble de nœuds S
- ▶ et d'un ensemble de paires A de sommets appelées arêtes



Est-il connexe ?

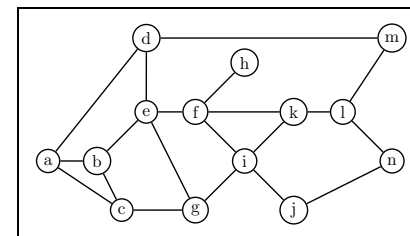
Le degré d'un nœud est le nombre d'arêtes dont ce sommet est un extrémité.



Quelques problèmes de théorie des graphes : Euler

- ▶ G est **planaire** s'il est représentable sur un plan et
 - ▶ les sommets = des points distincts
 - ▶ les arêtes = des courbes simples qui ne s'intersectent pas
- ▶ Une **face** est une région du plan limitée par les arêtes (y compris la face infinie).

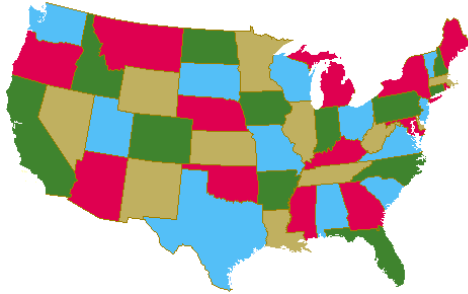
Formule d'Euler : Si n est le nombre de sommets, m le nombre d'arêtes et f le nombre de faces alors, si G est connexe, $n - m + f = 2$



$n = 14, m = 20, f = 8$



Quelques problèmes de théorie des graphes : 4 couleurs



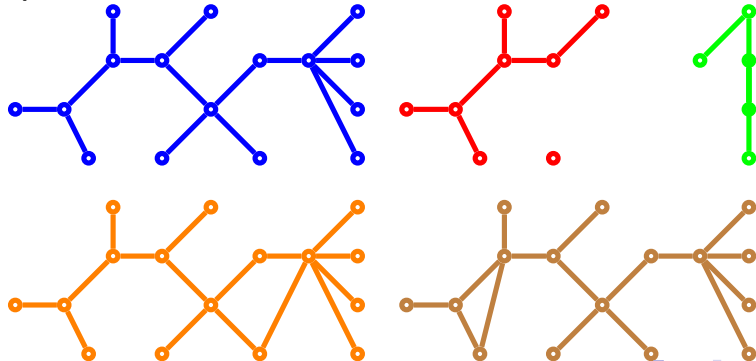
©Robin Thomas

- ▶ Une carte = un graphe planaire (sommets = régions, arêtes = paires de régions voisines)
- ▶ Colorer les régions tq, toutes les régions voisines aient des couleurs différentes
- ▶ **Toujours possible avec 4 couleurs** Appel et Haken (76) ; Robertson, Seymour, Thomas et Sanders ; Gonthier et Werner.

Définition des arbres

Un arbre (libre) est un graphe non vide connexe sans circuit.
Une forêt est un ensemble d'arbres.

Quels sont les arbres ?



Aujourd'hui

Hacher en java

Une dernière liste

Les graphes

Les arbres

Parcours DFS

Quelques propriétés élémentaires

$G = (S, A)$ un graphe non vide. Les conditions suivantes sont équivalentes :

1. G est un arbre libre,
2. Deux nœuds quelconques de S sont connectés par un chemin simple unique,
3. G est connexe, mais ne l'est plus si l'on retire une arête quelconque,
4. G est sans circuit, mais ne l'est plus si l'on ajoute une arête quelconque,
5. G est connexe, et $|A| = |S| - 1$,
6. G est sans circuit, et $|A| = |S| - 1$.

Arbre enraciné : un peu de généalogie

Un arbre enraciné arbre = arbre libre muni d'un nœud distingué, appelé sa racine

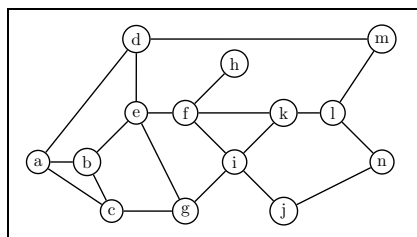
Soit T un arbre de racine r .

- ▶ Pour tout nœud x , il existe un chemin simple unique de r à x .
- ▶ Tout nœud y sur ce chemin est un ancêtre de x , et x est un descendant de y .
- ▶ Le sous-arbre de racine x est l'arbre contenant tous les descendants de x .
- ▶ L'avant-dernier nœud y sur l'unique chemin reliant r à x est le père de x , et x est un fils de y .
- ▶ L'arité d'un nœud est le nombre de ses fils.
- ▶ Un nœud sans enfant est une feuille
- ▶ La hauteur = long. max d'un chemin de r à une feuille + 1.

Retour sur Euler

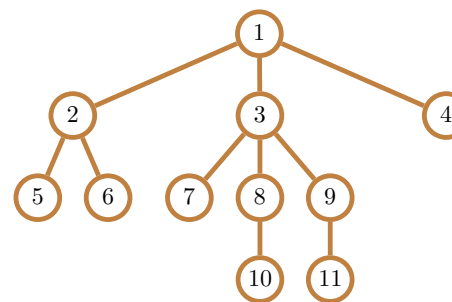
- ▶ G est **planaire** s'il est représentable sur un plan et
 - ▶ les sommets = des points distincts
 - ▶ les arêtes = des courbes simples qui ne s'intersectent pas
- ▶ Une **face** est une région du plan limitée par les arêtes (y compris la face infinie).

Formule d'Euler : Si n est le nombre de sommets, m le nombre d'arêtes et f le nombre de faces alors, si G est connexe, $n - m + f = 2$



$$n = 14, m = 20, f = 8$$

Arbre enraciné : un peu de généalogie



- ▶ Racine =
- ▶ Descendants de 3 = { }
- ▶ Le ss-arbre de racine 3 =
- ▶ Le père de 8 =
- ▶ Le fils de 9 =
- ▶ Les feuilles = { }
- ▶ Hauteur de l'arbre =
- ▶ Arité de 2 = Degré =

Retour sur Euler

- ▶ Partons d'une représentation planaire de $G = (V, E)$.
- ▶ Enlevons suffisamment d'arêtes de G pour qu'on obtienne un arbre T .
- ▶ Pour un arbre : $f = 1$ et $m = n - 1$. Soit donc : $n - m + f = 2$
- ▶ On repart de T et on ajoute les arêtes de $G - T$ (une par une)
- ▶ En ajoutant une arête, on augmente m et f de ???

Arbre enraciné → arbres binaires

Def récursive des arbres : Arbre = couple formé de sa racine et d'un ensemble d'arbres. C'est encore un peu compliqué. Regardons pour le moment les arbres binaires.

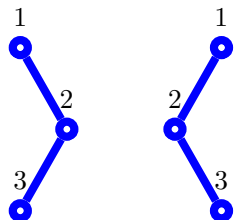
Un arbre binaire sur un ensemble fini est soit vide, soit l'union disjointe d'un nœud appelé sa racine, d'un arbre binaire appelé sous-arbre gauche, et d'un arbre binaire appelé sous-arbre droit

Représentation naturelle des arbres binaires : $A = (A_g, r, A_d)$.

```
class Arbre {
    int val; Arbre gauche, droite;
    Arbre (Arbre gauche, int val, Arbre droite) {
        this.gauche = gauche;
        this.val = val;
        this.droite = droite; }
}
```

Arbres binaires et arbres d'arité 2 au plus

- ▶ Un arbre *ordonné* est un arbre dans lequel l'ensemble des fils de chaque nœud est totalement ordonné.
- ▶ Un arbre binaire n'est pas simplement un arbre ordonné dont tous les nœuds sont d'arité au plus 2.



Construire un arbre

```
Arbre a = new Arbre(new Arbre(null, 6, null),
    1,
    new Arbre(new Arbre(null,
        2,
        new Arbre (null, 1, null)),
    7,
    new Arbre(null, 9, null));
```

Dessiner l'arbre correspondant.

Ecrire un arbre

```
public String toString() {
    String sg = "Vide"; String sd = "Vide";
    if (gauche != null) sg = gauche.toString();
    if (droite != null) sd = droite.toString();
    return "(" + sg + ", " + val + ", " + sd + ")"; }
```

Attention : méthode dynamique récursive.

```
Arbre a = new Arbre(new Arbre(null, 6, null),
    1,
    new Arbre(new Arbre(null,
        2,
        new Arbre (null, 1, null)),
    7,
    new Arbre(null, 9, null));

System.out.println(a);
/* ((Vide, 6, Vide), 1, ((Vide, 2, (Vide, 1, Vide)), 7, (Vide, 9, Vide)
```

Hauteur d'un arbre

Rappel : hauteur = long. max d'un chemin de la racine à une feuille + 1

```
static int hauteur(Arbre a) { /* La méthode STATIQUE */
    if (a == null)
        return 0;
    return 1 + Math.max(hauteur(a.gauche), hauteur(a.droite)); }

/* Et la méthode DYNAMIQUE (condensée)
Rappel : int x = (condition) ? 4 : 9; est équivalent à
int x = 9; if (condition) x = 4; */
int hauteur() {
    return 1 + Math.max((gauche == null) ? 0 : gauche.hauteur(),
        (droite == null) ? 0 : droite.hauteur()); }
```

Égalité de deux arbres binaires

```
// Une version STATIQUE
static boolean egal(Arbre x, Arbre y) {
    return ((x == null && y == null) ||
        (x != null && y != null && x.val == y.val &&
            egal(x.gauche, y.gauche) && egal(x.droite, y.droite)));
}
```

Les feuilles d'un arbre

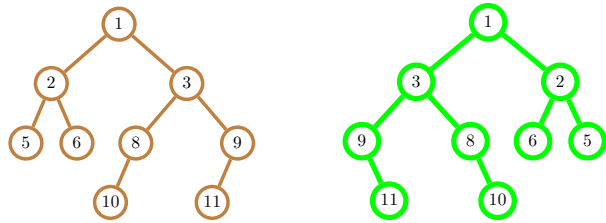
```
/* La méthode STATIQUE */
static String feuilles(Arbre a) {
    if (a == null) return "";
    if (a.gauche == null && a.droite == null) return a.val + " ";
    return feuilles(a.gauche) + feuilles(a.droite);
}

/* Et la méthode DYNAMIQUE */
String feuilles() {
    if (gauche == null && droite == null) return val + " ";
    if (gauche == null)
        return droite.feuelles();
    if (droite == null)
        return gauche.feuelles();
    return gauche.feuelles() + droite.feuelles();
}
```

Egalité de deux arbres binaires

```
// Une version DYNAMIQUE
boolean egal(Arbre x) {
    if (x == null || x.val != val ||
        (gauche == null && x.gauche != null) ||
        (droite == null && x.droite != null))
        return false;
    if (gauche == null && droite == null)
        return true;
    if (gauche == null)
        return droite.egal(x.droite);
    if (droite == null)
        return gauche.egal(x.gauche);
    return droite.egal(x.droite) && gauche.egal(x.gauche);
}
```

Inverser un arbre binaire



```
static Arbre inverser(Arbre x) {
    if (x == null)
        return null;
    return new Arbre(inverser(x.droite), x.val, inverser(x.gauche));
}
// Arbre = ((Vide, 6, Vide), 1, ((Vide, 2, (Vide, 1, Vide)), 7, (Vide,
// Inv = (((Vide, 9, Vide), 7, ((Vide, 1, Vide), 2, Vide)), 1, (Vide, 6
```



Aujourd'hui

Hacher en java

Une dernière liste

Les graphes

Les arbres

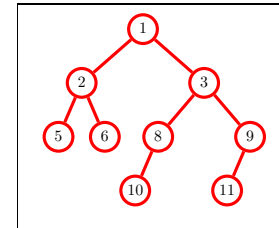
Parcours DFS



Codage binaire d'un arbre binaire

Etant donné un arbre binaire

- ▶ Le chemin de la racine à un sommet s
- ▶ est une succession d'arêtes orientées à gauche (0) ou à droite (1)
- ▶ Chaque sommet est identifié par code binaire unique
- ▶ Exemple : nœud 11 : "1 1 0" ; nœud 2 : "0" ; nœud 1 : "" ou encore " ϵ "



Comment parcourir un arbre

Objectif : parcourir un arbre (pour imprimer les sommets ou pour les numéroté). Une première réponse, le **parcours en profondeur d'abord (DFS)**. Plusieurs variantes mais 3 étapes essentielles :

- ▶ Récursion sur le sous-arbre gauche
- ▶ Récursion sur le sous-arbre droit
- ▶ Impression (ou numérotation) du sommet courant

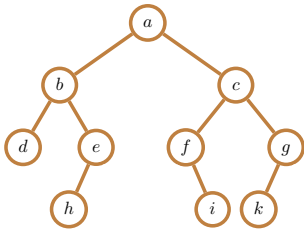
L'ordre dans lequel on effectue ces opérations est déterminant :

- ▶ **Préfixe** : sommet courant puis sous-arbre gauche puis sous-arbre droit
- ▶ **Infixe** : sous-arbre gauche puis sommet courant puis sous-arbre droit
- ▶ **Postfixe** : sous-arbre gauche puis sous-arbre droit puis sommet courant



Parcours DFS “préfixe”

- ▶ Visiter la racine
- ▶ Visiter le sous-arbre gauche
- ▶ Visiter le sous-arbre droit
- ▶ Implémentation récursive (ou dérécurivée avec une pile)



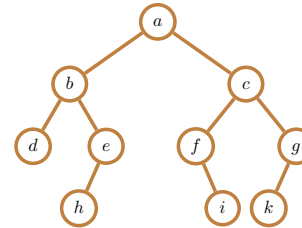
Ordre de visite
a, b, d, e, h, c, f, i, g, k



Parcours DFS “préfixe”

Coder l'arbre (de `char`)

```
Arbre e = new Arbre(new Arbre('h'), 'e', null);
Arbre b = new Arbre(new Arbre('d'), 'b', e);
Arbre f = new Arbre(null, 'f', new Arbre('i'));
Arbre g = new Arbre(new Arbre('k'), 'g', null);
Arbre c = new Arbre(f, 'c', g);
Arbre a = new Arbre(b, 'a', c);
```

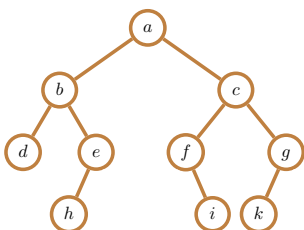


Ordre de visite
a, b, d, e, h, c, f, i, g, k



Parcours DFS “préfixe” : Codage

```
static void prefixe(Arbre x) {
    if (x == null) return;
    System.out.println(x.val);
    prefixe(x.gauche);
    prefixe(x.droite);
}
```

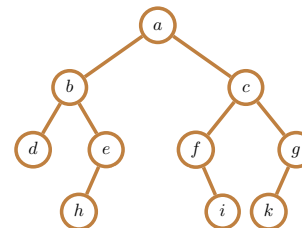


Ordre de visite
a, b, d, e, h, c, f, i, g, k



Parcours DFS “infixe”

- ▶ Visiter le sous-arbre gauche
- ▶ Visiter la racine
- ▶ Visiter le sous-arbre droit
- ▶ Implémentation récursive (ou dérécurivée avec une pile)

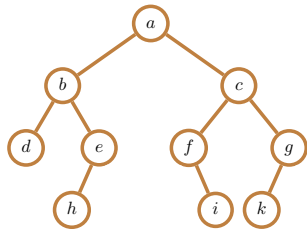


Ordre de visite
d, b, h, e, a, f, i, c, k, g



Parcours DFS "infixe"

```
static void infixe(Arbre x) {
    if (x == null) return;
    infixe(x.gauche);
    System.out.println(x.val);
    infixe(x.droite);
}
```

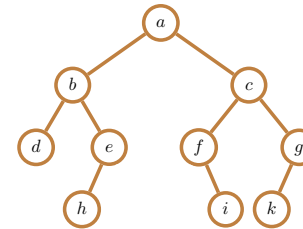


Ordre de visite
d, b, h, e, a, f, i, c, k, g



Parcours DFS "suffixe"

- ▶ Visiter le sous-arbre gauche
- ▶ Visiter le sous-arbre droit
- ▶ Visiter la racine
- ▶ Implémentation récursive (ou dérécurivée avec une pile)

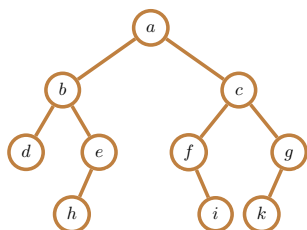


Ordre de visite
d, h, e, b, i, f, k, g, c, a



Parcours DFS "suffixe"

```
static void suffixe(Arbre x) {
    if (x == null) return;
    suffixe(x.gauche);
    suffixe(x.droite);
    System.out.println(x.val);
}
```



Ordre de visite
d, h, e, b, i, f, k, g, c, a



Calculer les pères

Etant donné un sommet, comment remonter à la racine ?

- ▶ Ajouter une référence vers le père de chaque sommet
- ▶ Calculer les pères pendant la DFS (ou à la création de l'arbre)

```
static void prefixe(Arbre x) {
    if (x == null) return;
    System.out.println(x.val);
    if (x.gauche != null) x.gauche.pere = x;
    if (x.droite != null) x.droite.pere = x;
    prefixe(x.gauche); prefixe(x.droite); }
static void cheminRacine(Arbre x) {
    if (x == null) return;
    cheminRacine(x.pere);
    System.out.print(x.val + " -> "); }
```

// vers h : a -> b -> e -> h ->

