

# Programmation avancée

## Les Arbres

Walter Rudametkin

Walter.Rudametkin@polytech-lille.fr  
<https://rudametw.github.io/teaching/>

Bureau F011  
Polytech'Lille

7 mars 2016

1 / 24

## Les arbres

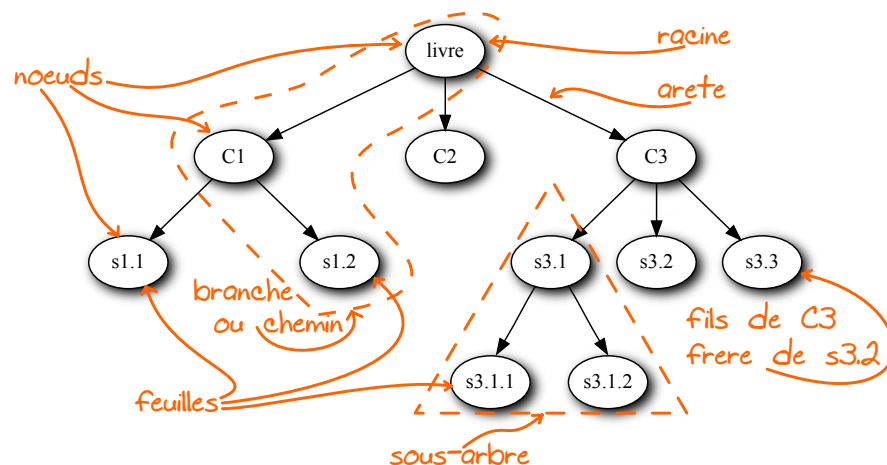
### Collection d'informations hiérarchisées

### Exemple

- ▶ Arbre généalogique, organigramme d'une entreprise, table des matières d'un livre
- ▶ Organisation d'informations dans une base de données, représentation de la structure syntaxique d'un programme dans les compilateurs

2 / 24

## Les arbres: terminologie



3 / 24

## Les arbres: définitions

- ▶ **Niveau d'un nœud** : nombre d'arêtes entre le nœud et la racine (ex : niveau de s3.2 = 2)
- ▶ **Hauteur d'un arbre** : niveau maximum de l'arbre (3 pour l'exemple)
- ▶ **Arbre ordonné** : l'ordre des fils de chaque nœud est spécifié
- ▶ **Degré d'un nœud** : nombre de fils que le nœud possède
- ▶ **Arbre n-aire** : les nœuds sont de degré n

4 / 24

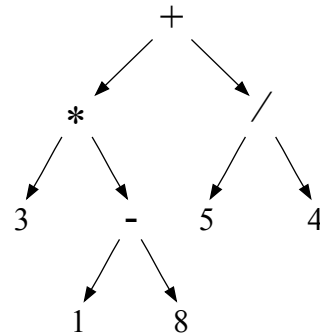
## Les arbres binaires

### Définition

$B = \emptyset \mid \langle R, G, D \rangle$

où  $\begin{cases} R: & \text{Noeud Racine} \\ G: & \text{Sous-arbre gauche} \\ D: & \text{Sous-arbre droite} \end{cases}$

### Exemple



5/24

## Le type arbre binaire

► **Déclaration** : A de type ArbreBinaire de <T>

### Primitives

- `init_arbre(A)` : crée un arbre binaire vide
- `vide(A)` : teste si A vide
- `valeur(A)` : retourne la valeur de la racine
- `gauche(A)` : retourne le sous-arbre gauche de A
- `droite(A)` : retourne le sous-arbre droit
- `put_valeur(A,V)` : range la valeur de V à la racine
- `put_droite(A,D)` : D devient le sous-arbre droit de A
- `put_gauche(A,G)` : G devient le sous-arbre gauche de A
- `cons(R, G, D)` : construit l'arbre <R, G, D>

6/24

## Le type arbre binaire: exemple

- Fonction qui teste si un arbre est une feuille (1 seul nœud)

```
Fonction feuille(A)
  D : A : ArbreBinaire de <T>
  Si vide(A) Alors
    retourner (faux)
  Sinon
    retourner( vide(gauche(A)) et vide(droite(A)) )
  Fsi
Ffonction
```

7/24

## Le type arbre binaire: exemple

- Calcul du nombre de nœuds d'un arbre binaire

$$\text{nb\_noeuds}(A) \begin{cases} A = \emptyset : & 0 \\ A = \langle R, G, D \rangle : & 1 + \text{nb\_noeuds}(G) + \text{nb\_noeuds}(D) \end{cases}$$

```
Fonction nb_noeuds(A)
  D : A : ArbreBinaire de <T>
  Si vide(A) Alors
    retourner (0)
  Sinon
    retourner ( 1 + nb_noeuds(G) + nb_noeuds(D) )
  Fsi
Ffonction
```

8/24

## Algorithmes sur les arbres

3 types de parcours pour effectuer un traitement sur tous les noeuds

- ▶ Préfixé
- ▶ Postfixé
- ▶ Infixé

9/24

## Les arbres: parcours prefixé ou RGD

### Parcours prefixé ou RGD

- ▶ Traiter la racine
- ▶ Traiter le sous-arbre gauche
- ▶ Traiter le sous-arbre droit

10/24

## Les arbres: parcours prefixé ou RGD

Action RGD(A)

D : A : ArbreBinaire de <T>

Si non vide(A) Alors

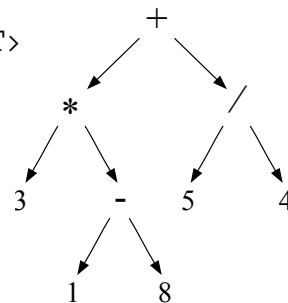
    traiter(valeur(A))

    RGD(gauche(A))

    RGD(droite(A))

Fsi

Faction



Exemple :

traiter(valeur(A)) = écrire(valeur(A))

⇒ + \* 3 - 1 8 / 5 4 (notation préfixée)

11/24

## Les arbres: parcours postfixé ou GDR

### Parcours postfixé ou GDR

- ▶ Traiter le sous-arbre gauche
- ▶ Traiter le sous-arbre droit
- ▶ Traiter la racine

12/24

## Les arbres: parcours postfixé ou GDR

Action GDR(A)

D : A : ArbreBinaire de <T>

Si non vide(A) Alors

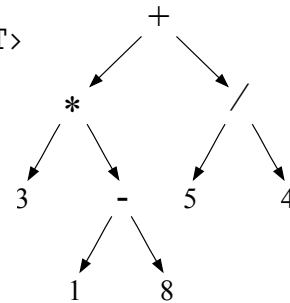
GDR(gauche(A))

GDR(droite(A))

traiter(valeur(A))

Fsi

Faction



Exemple :

traiter(valeur(A)) = écrire(valeur(A))

⇒ 3 1 8 - \* 5 4 / + (notation postfixée)

13/24

## Les arbres: parcours infixé ou GRD

- ▶ Traiter le sous-arbre gauche
- ▶ Traiter la racine
- ▶ Traiter le sous-arbre droit

Action GRD(A)

D : A : ArbreBinaire de <T>

Si non vide(A) Alors

GRD(gauche(A))

traiter(valeur(A))

GRD(droite(A))

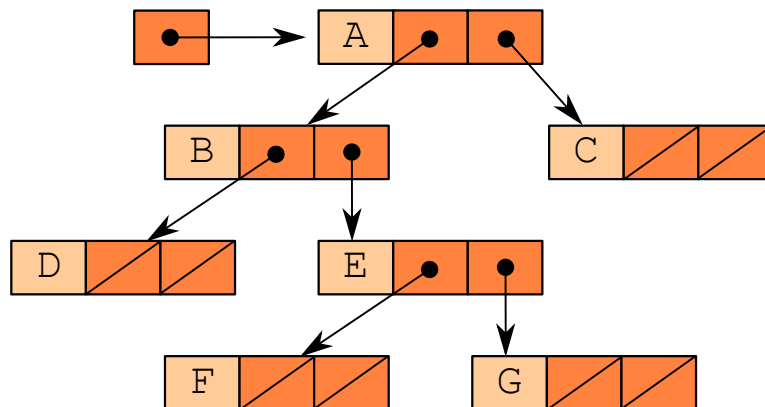
Fsi

Faction

14/24

## Implantation des arbres binaires

### Représentation par pointeurs



15/24

## Implantation des arbres binaires

type ArbreBinaire = pointeur de Noeud

type Noeud = structure

val : <T>

gauche, droite: ArbreBinaire

fin

16/24

## Implantation des arbres binaires

### Soit A un ArbreBinaire

```
vide(A)      ⇒ retourner(A = NULL)
init_arbre(A) ⇒ A ← NULL
valeur(A)    ⇒ retourner(A↑•val)
gauche(A)    ⇒ retourner(A↑•gauche)
droite(A)    ⇒ retourner(A↑•droite)
put_valeur(A,V) ⇒ A↑•val ← V
put_gauche(A,G) ⇒ A↑•gauche ← G
put_droite(A,D) ⇒ A↑•droit ← D

cons(V,G,D)  ⇒ allouer(A)
               A↑•val ← V
               A↑•gauche ← G
               A↑•droit ← D
```

17/24

## Les arbres binaires ordonnées

### Rappel

- ▶ Liste contiguë : recherche dichotomique en  $O(\log_2 n)$   
Ajout / suppression en  $O(n)$
- ▶ Liste chaînée : recherche en  $O(n)$   
Ajout / suppression en temps constant

### Arbre binaire ordonné (ou arbre de recherche)

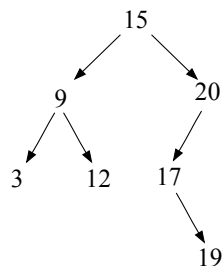
- ▶ Recherche / ajout / suppression : même efficacité
- ▶ Au mieux (arbre équilibré) en  $\log_2(n)$

18/24

## Les arbres binaires ordonnées: définition

Soit  $A = \langle R, G, D \rangle$ , A est ordonné si

- ▶ Pour tout nœud nd de G, valeur(nd)  $\leq$  R
- ▶ Pour tout nœud nd de D, valeur(nd)  $>$  R
- ▶ G et D sont des arbres ordonnés



- ▶ Parcours GRD d'un arbre ordonné  $\Rightarrow$  par ordre croissant
- ▶ Parcours DRG d'un arbre ordonné  $\Rightarrow$  par ordre décroissant

19/24

## Recherche dans un arbre binaire ordonné

### Recherche associative d'un élément V

- ▶  $A = \emptyset \Rightarrow$  non trouvé
- ▶  $A = \langle R, G, D \rangle$ 
  - ▶  $R = X \Rightarrow$  trouvé
  - ▶  $X < R \Rightarrow$  rechercher X dans G
  - ▶  $X > R \Rightarrow$  rechercher X dans D

### Coût de la recherche

- ▶ Dans tous les cas  $\leq n$
- ▶ Au mieux  $\log_2(n)$  si l'arbre est équilibré  $\Rightarrow$  techniques de construction d'arbres équilibrés

20/24

## Recherche dans un arbre binaire ordonné

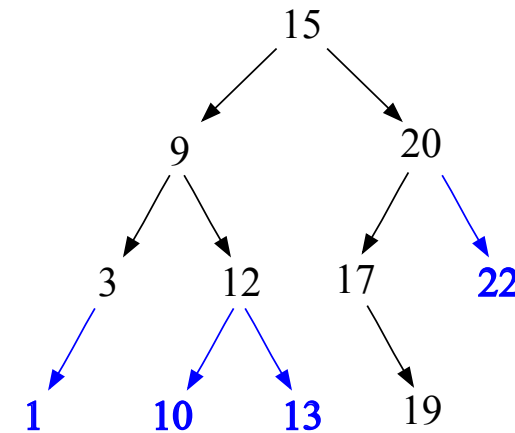
```

Fonction existe(X, A) : booléen
  D : X : <T> ;
    A : ArbreBinaire
  Si vide(A) Alors
    retourner(faux)
  Sinon
    Si X=valeur(A) Alors
      retourner(vrai)
    Sinon
      Si X < valeur(A) Alors
        retourner(existe(X,gauche(A)))
      Sinon
        retourner(existe(X,droite(A)))
    Fsi
  Fsi
Ffonction
  
```

21/24

## Ajout dans un arbre binaire ordonné

Solution simple : ajout en feuille



22/24

## Ajout dans un arbre binaire ordonné

Ajout(A,V) :

- ▶  $A = \emptyset \Rightarrow A = \langle V, \emptyset, \emptyset \rangle$
- ▶  $A = \langle R, G, D \rangle$ 
  - ▶  $V \leq R \Rightarrow$  ajouter V dans gauche(A)
  - ▶  $V > R \Rightarrow$  ajouter V dans droite(A)
- ▶ Utilisation du passage de A en D/R pour établir le lien père/fils
- ▶ cf : algorithme récursif d'ajout d'un élément dans une liste chaînée

23/24

## Ajout dans un arbre binaire ordonné

```

Action ajout(V, A)
  D : V : <T> ;
  D/R : A : ArbreBinaire de <T>
  Si vide(A) Alors
    A ← cons(V,∅,∅)
  Sinon
    Si V ≤ valeur(A) Alors
      ajout (V, gauche(A))
    Sinon
      ajout (V, droite(A))
  Fsi
Faction
  
```

24/24