Programmation avancée
Les Arbres

Walter Rudametkin

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

Bureau F011
Polytech Lille

CM7

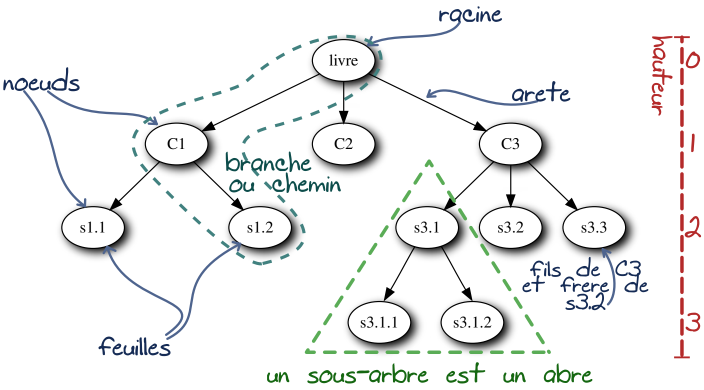
Les arbres

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

Les arbres: terminologie



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 sortant d'un nœud** : nombre de fils que le nœud possède
- **Arbre n-aire** : les nœuds sont de degré n

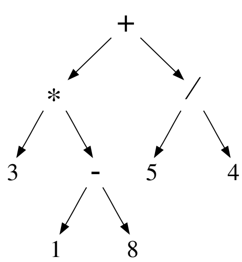
Les arbres binaires

Définition

`AB = ∅ | < R, G, D >`

où
- R : Noeud Racine
- G : Sous-arbre gauche
- D : Sous-arbre droite

Exemple



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(v, G, D)` : construit l'arbre `<v, G, D>`

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
```


Le *type* arbre binaire: exemple

- Calcul du nombre de noeuds d'un arbre binaire

$$\texttt{nb\_noeuds(A)}\begin{cases}\texttt{A = }\varnothing\texttt{:} & \texttt{0}\\ \texttt{A = <R,G,D>:} & 1+\texttt{nb\_noeuds(G)}+\texttt{nb\_noeuds(D)}\end{cases}$$

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

Algorithmes sur les arbres

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

- Préfixé
- Postfixé
- Infixé

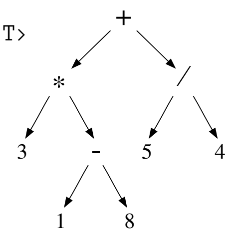
Les arbres: parcours prefixé ou RGD

Parcours prefixé ou RGD

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

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)

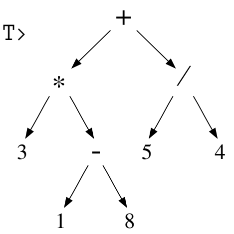
Les arbres: parcours postfixé ou GDR

Parcours postfixé ou GDR

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

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)

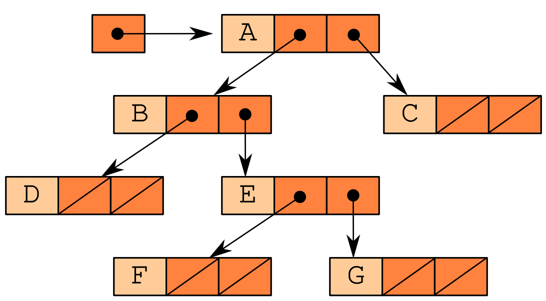
Les arbres: parcours infixé ou GRD

- 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
```


Implantation des arbres binaires

Représentation par pointeurs



Implantation des arbres binaires

```
type ArbreBinaire = pointeur de Noeud

type Noeud = structure
        val : <T>
        gauche, droit: ArbreBinaire
fin
```

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
```


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

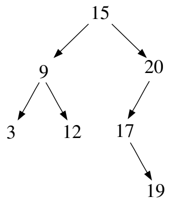
Arbre binaire ordonné (ou arbre de recherche)

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

Les arbres binaires ordonnées: définition

Soit A = ‹R, G, D›, A est ordonné si

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



- Parcours GRD d'un arbre ordonné ⇒ par ordre croissant
- Parcours DRG d'un arbre ordonné ⇒ par ordre décroissant

Recherche dans un arbre binaire ordonné

Recherche associative d'un élément X

- A = ∅ ⇒ non trouvé
- A = ‹V, G, D›
  - V = X ⇒ trouvé
  - X ‹ V ⇒ rechercher X dans G
  - X › V ⇒ rechercher X dans D

Coût de la recherche

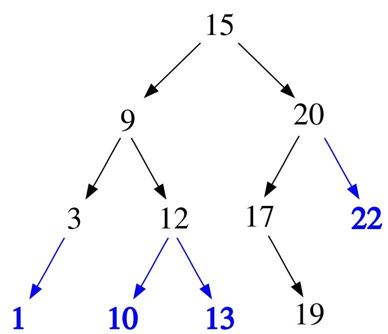
- Dans tous les cas $\leqslant$n
- Au mieux $\log_2(n)$ si l'arbre est équilibré ⇒ techniques de construction d'arbres équilibrés

Recherche dans un arbre binaire ordonné

```
Fonction existe(A, X) : 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(gauche(A),X))
            Sinon
                retourner(existe(droite(A),X))
            Fsi
        Fsi
    Fsi
Ffonction
```


Ajout dans un arbre binaire ordonné

Solution simple : ajout en feuille



Ajout dans un arbre binaire ordonné

Ajout(A,V) :

- A = ∅ ⇒ A=‹V,∅,∅›
- A = ‹R, G, D›
  - V $\leqslant$ R ⇒ ajouter V dans gauche(A)
  - V › R ⇒ 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

Ajout dans un arbre binaire ordonné

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