Chapitre I

Structure de données
Les listes chaînées

1. Introduction : Objectif et Motivation

- Rappelons qu'un programme informatique est un ensemble d'instructions et de données qui permettent à l'ordinateur de traiter des informations.
- Ces informations sont organisées dans la mémoire principale et dans les mémoires auxiliaires.
- Par ailleurs, notons que l'ordinateur définit au niveau matériel :
  - Un jeu d'instructions élémentaires (additionner, soustraire, multiplier...),
  - Quelques représentations de données élémentaires (bits).
- Mais, il faut signaler que le matériel ne supporte que des données élémentaires, donc non structurées.
- On peut ainsi définir une donnée structurée comme étant une collection organisée de données élémentaires.
- En informatique, on appelle une telle collection, une ***structure de données***.
- Une ***structure de données*** est donc une manière d'organiser et de représenter des informations en mémoire centrale et dans les mémoires auxiliaires.
- Une structure de données contient deux types de renseignement :
  - les informations à stocker,
  - les liens entre ces informations.
- On peut distinguer deux types de liens :
  - Liens implicites : l'adresse de l'information est calculée en fonction de l'emplacement physique de l'information en mémoire.
  - liens explicites : les pointeurs.

1. Introduction : Objectif et Motivation

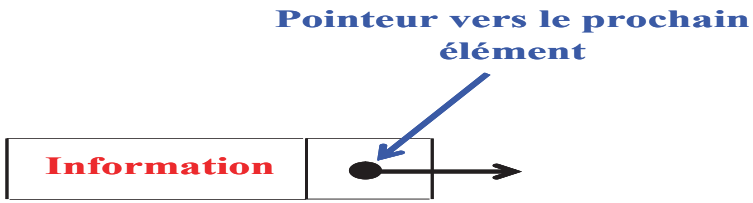
- En langage C, il existe un grand nombre de structure de données :
  Exemple : les tableaux les structures, les listes chaînées, les piles, les files, les arbres binaires...
- Le choix d'une structure dépend, en général, des opérations à réaliser sur les informations. Certaines structures sont plus adaptés que d'autres à certaines opérations.
- ***L'objectif*** est la gestion d'un ensemble fini d'éléments dont le nombre n'est pas fixé.
- Les éléments de cet ensemble peuvent être de différentes types : nombres entiers ou flottants, chaînes de caractères,...
- On ne s'intéressera pas aux éléments de l'ensemble en question mais aux opérations que l'on effectue sur cet ensemble, indépendamment de la nature de ses éléments.
- En programmation informatique, ces ensembles sont considérés comme des objets dynamiques.
- En effet, le nombre de leurs éléments varie au cours de l'exécution du programme, puisqu'on peut y ajouter et supprimer des éléments en cours de traitement.
- Plus précisément les opérations que l'on s'autorise sur les ensembles sont les suivantes :
  - tester si un ensemble est vide.
  - ajouter un élément à un ensemble.
  - supprimer un élément à un ensemble.
  - rechercher un élément dans un ensemble.
- Cette gestion des ensembles doit, pour être efficace, répondre à deux critères :
  - un minimum de place mémoire utilisée,
  - et un minimum d'instructions élémentaires pour réaliser une opération.

1. Introduction : Objectif et Motivation

- Notons que la structure de données la plus utilisée pour manipuler des données sont les tableaux.
- Mais, dans certains cas, les tableaux ne constituent pas la meilleure solution pour stocker et manipuler les données.
- En effet, Si on veut supprimer un élément au milieu d'un tableau, il faut recopier les éléments temporairement, réallouer le tableau, puis le remplir à partir de l'élément supprimé.
- Ces manipulations sont coûteuses en ressources.
- En langage C, les ***listes chaînées*** (ou tout simplement les listes) peuvent être considérées comme des structures de données très pratiques pour manipuler des éléments d'un ensemble d'objets dynamiques.
- En effet, une liste chaînée est différente par rapport à un tableau dans le sens où ses éléments sont répartis dans la mémoire et reliés entre eux par des pointeurs.
- Ceci permet d'ajouter et de supprimer des éléments d'une liste à n'importe quel endroit, sans modifier la liste entière.

2. Les listes chaînées

- Une *liste chaînée* est une structure de base de la programmation informatique.
- C'est une structure de données dans laquelle les objets sont stockés de manière ordonnée (l'ordre signifie que chaque objet possède une position dans la liste).
- Cependant, contrairement au tableau, pour lequel l'ordre est déterminé par les indices, l'ordre d'une liste chaînée est déterminé par un pointeur dans chaque objet.
- Les listes chaînées sont des structures dynamiques capables,
  - d'accueillir un nombre infini d'éléments,
  - et de supporter toutes les opérations sur les ensembles dynamiques (insertion, suppression, recherche,...).
- *Dans la suite du chapitre*, on utilise la liste chaînée pour représenter un ensemble d'éléments.
- Chaque élément est contenu dans une *cellule* (appelée aussi *maillon*), et chaque cellule est composée d'une partie contenant l'information et d'au moins un pointeur.



Représentation d'une cellule avec un seul pointeur.

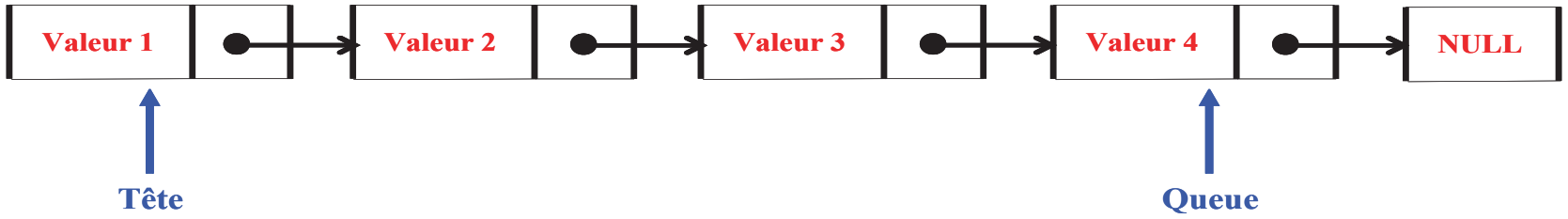
2. Les listes chaînées

- Chaque élément est accessible par celui qui le précède grâce au pointeur.
- Une liste chaînée est donc une succession de cellules, dont le dernier porte une adresse de fin (le pointeur `NULL`). La première cellule de la liste est appelée tête et la dernière cellule est appelée queue.
- L'accès à la liste chaînée se fait par un pointeur vers le premier élément.
- Pour atteindre un des éléments de la liste,

  on est obligé de parcourir la liste depuis le début.
- A partir d'un élément quelconque,

  on ne peut atteindre que le suivant.
- Une liste chaînée peut prendre différentes formes :
  - Elle peut être ***simple*** (dite aussi ***simplement chaînée***) : chaque cellule est composé de l'information et d'un seul pointeur (pointe sur l'adresse de la cellule suivante).
  - Ou ***doublement chaînée*** : chaque cellule est composé de l'information et de deux pointeurs (l'un pointe sur l'adresse de la cellule suivante et l'autre sur celle de la cellule précédente).
  - Ou ***circulaire*** : la tête pointe sur la queue de la liste, et la queue pointe sur la tête de la liste.

- Rappelons qu'une liste simplement chaînée est une liste où chaque cellules contient des informations accessibles et modifiables par l'utilisateur ainsi qu'un pointeur vers la cellule suivante.



- Comme les listes simplement chaînées sont une structure de données importante en programmation informatique,
- il est fondamental de s'intéresser à la manière de les implanter en vue de leurs manipulations informatique.
- Deux modes de d'implantation peuvent être envisagés :
  - Implantation par pointeur.
  - Implantation par tableau.

2.1 Les listes simplement chaînées : Implantation par pointeur

Déclaration

- Le langage C permet de réaliser des listes chaînées à l'aide des structures (le type structure en C qui est créée par le mot clé `struct`).
- En effet, les cellules sont des objets constitués :
  - d'un champ de données,
  - d'un pointeur vers la cellule suivante.
- La déclaration correspondante est la suivante, où l'on suppose ici que les valeurs stockées dans chaque cellule sont de type entier.

Code en C

```
typedef int element;
struct cellule
 {
    element valeur;
    struct cellule * suivant;
 };
typedef struct cellule cellule, * liste;
```

2.1 Les listes simplement chaînées : Implantation par pointeur

Remarque 1:

Notons qu'on peut créer des listes chaînées contenant des valeurs qui sont :

- de différents type, c-à-d des entiers, des flottants, des caractères,
- des tableaux, des structures,
- une combinaison de plusieurs types,
- ou des listes chaînées.

Exemple :

```
typedef double element;
struct cellule
 {
    element valeur;
    struct cellule * suivant;
 };
typedef struct cellule cellule, * liste;
```

Remarque 2:

Les instructions suivantes permettent de déclarer, de façons différentes mais équivalentes, une liste chaînée :

```
struct cellule *l;
cellule *l;
liste l;
```

Création et initialisation

- Pour créer une liste chaînée, on doit l'initialiser à NULL (macro de stdlib.h), cela va nous permettre d'allouer la première cellule.
- L'initialisation d'une liste chaînée, ou la création d'une liste vide, est généralement faite par la fonction suivante :

```
liste creerListeVide( )
  {
    return NULL;
  }
```

- Pour tester si une liste est vide, on utilise la fonction suivante :

```
 int ListeVide(liste l)
  {
    return l==NULL;
  }
```

Insertion d'une cellule (Ajout d'une valeur dans une liste) :

- Il est toujours possible d'insérer des cellules (ajouter des valeurs) à une liste chaînée donnée.
- En effet, il y a deux façons d'ajouter des cellules dans des listes chaînées :
  - ajouter une nouvelle cellule en tête de la liste,
  - ajouter une nouvelle cellule à la fin de la liste.
  - Ainsi, les fonctions `ajouterElementTeteListe()` et `ajouterElementFinListe()` permettent respectivement l'ajout d'un élément en tête et à la fin d'une liste.

Ajout d'un élément en tête de la liste

```
liste ajouterElementTeteListe(element val, liste l)
  {
    liste ln;
    ln=malloc(sizeof(cellule));
    ln->valeur=val;
    ln->suivant=l;
    return ln;
  }
```

Insertion d'une cellule (Ajout d'une valeur dans une liste) :

Ajout d'un élément à la fin de la liste

```
liste ajouterElementFinListe(element val, liste l)
  {
    liste ln,lp;
    ln=malloc(sizeof(cellule));
    ln->valeur=val;
    ln->suivant=NULL;
    if(l==NULL)
      return ln;
    else
    {
      lp=l;
      while(lp->suivant != NULL)
       {
        lp= lp->suivant;
       }
      lp->suivant =ln;
      return l;
    }
  }
```

Suppression d'une cellule (supprimer une valeur dans une liste) :

- Il est possible également de supprimer des cellules (des valeurs) dans une liste chaînée donnée.
- En effet, il y a trois façons de supprimer des cellules dans des listes chaînées :
  - supprimer une cellule en tête de la liste,
  - supprimer une cellule à la fin de la liste,
  - supprimer une cellule quelconque dans une liste.

Suppression d'un élément en tête de la liste

```
liste supprimerElementTeteListe(liste l)
  {
    liste lp;
    if(l==NULL)
     return NULL;
    else
     {
      lp=l->suivant;
      free(l);
      return lp;
     }
  }
```

Suppression d'une cellule (supprimer une valeur dans une liste) :

Suppression d'un élément à la fin de la liste

```
liste supprimerElementFinListe(liste l)
  {
    liste lp1,lp2;
    if(l==NULL)
     return NULL;
    if(l->suivant==NULL)
     {
      free(l);
      return NULL;
     }
    lp1=l;
    while(lp1->suivant->suivant!=NULL)
     {
      lp1=lp1->suivant;
     }
    lp2=lp1->suivant;
    lp1->suivant=NULL;
    free(lp2);
    return l;
  }
```

Suppression d'une cellule (supprimer une valeur dans une liste) :

Suppression d'un élément quelconque dans la liste (Méthode itérative)

```
liste supprimerItertiveElementListe(element val, liste l)
  {
    liste lp1,lp2;
    if(l!=NULL)
      if(l->valeur==val)
        {
          lp1=l;
          l=l->suivant;
          free(lp1);
        }
      else
        {
          lp2=l;
          while(lp2->suivant!=NULL && lp2->suivant->valeur!=val)
            lp2=lp2->suivant;
          if(lp2->suivant!=NULL)
            {
              lp1=lp2->suivant;
              lp2->suivant=lp2->suivant->suivant;
              free(lp1);
            }
        }
        return l;
  }
```

Suppression d'une cellule (supprimer une valeur dans une liste) :

Suppression d'un élément quelconque dans la liste (Méthode récurrente)

```
liste supprimerRecurrenteElementListe(element val, liste l)
  {
    liste lp;
    if(l!=NULL)
      if(l->valeur==val)
        {
          lp=l;
          l=l->suivant;
          free(lp);
        }
      else
        l->suivant=supprimerRecurrenteElementListe(val, l->suivant);
      return l;
 }
```

Recherche dans une liste :

- Étant donnée une liste chaînée `liste` et une valeur `val`, l'objectif ici est d'effectue un parcours de liste pour rechercher la valeur `val` dans `liste`. Pour ceci, on peut envisager deux types de fonction :
  - une fonction qui teste si la valeur recherchée `val` figure dans la liste `liste`.
  - une fonction qui renvoie l'adresse de la cellule contenant la valeur recherchée `val`.

fonctions qui testent si `val` figure dans `liste`

Recherche dans une liste (Méthode récurrente)

```
int rechercherRecListe(element val, liste L)
  {
  if(L==NULL)
   return 0;
  else if(L->valeur==val)
   return 1;
  else
   return rechercherRecListe(val, L->suivant);
}
```

Recherche dans une liste (Méthode itérative)

```
int rechercherIterListe(element val, liste L)
 {
 while(L!=NULL)
  {
  if(L->valeur==val)
  return 1;
  L=L->suivant;
  }
     return 0;
 }
```

2.1 Les listes simplement chaînées : Implantation par pointeur

Recherche dans une liste :

fonctions qui renvoient l'adresse de la cellule contenant `val`

Recherche dans une liste (Méthode récurrente)

```
liste rechercherLRec(element val, liste L)
  {
  if(L==NULL)
   return NULL;
  else if(L->valeur==val)
   return L;
  else
   return rechercherLRec(val, L->suivant);
}
```

Recherche dans une liste (Méthode itérative)

```
liste rechercherLIter(element val, liste L)
  {
  while(L!=NULL)
   {
   if(L->valeur==val)
   return L;
   L=L->suivant;
   }
      return NULL;
  }
```

Affichage d'une liste :

- La fonction suivante permet d'afficher les valeurs stockée d'une liste.

Affichage d'une liste

```
void afficherListe(liste l)
  {
    while(l!=NULL)
      {
        printf("%d ",l->valeur);
        l=l->suivant;
      }
    printf("\n");
  }
```

Exercice :

Écrire un programme complet en langage C qui permet de

- construire une liste chaînée,
- afficher une liste chaînée,
- calculer la longueur d'une liste chaînée,
- rechercher une valeur dans la liste et de retourner sa position dans la liste.
- effectuer les manipulations suivantes :
  - supprimer une valeur quelconque de la liste,
  - supprimer une valeur en début de liste,
  - supprimer une valeur en fin de liste,
  - supprimer une valeur à une position donnée dans la liste,
  - supprimer une valeur avant ou après une position donnée dans la liste.

2.1 Les listes simplement chaînées : Implantation par tableau

- Une liste peut être aussi implantée à l'aide d'un tableau.
- Les éléments de la liste seront donc stockés dans les cases contiguës du tableau.
- Comme les listes sont des structures de données qui gèrent des ensembles dynamiques, une taille maximum pour le tableau doit être donc définie lors des déclarations.
- C-à-d, on ne peut pas modifier la taille maximum du tableau lors de l'exécution d'un programme.
- Et si on désire modifier la taille maximum du tableau, il faut modifier aussi le programme.
- Par consequent, il faut définir un tableau dont la taille sera suffisante pour accueillir la plus grande liste pouvant être utilisée!!!
- Mais cette démarche peut encombrer la mémoire de l'ordinateur.
- C'est pourquoi, il est en général préférable d'utiliser l'implantation des listes par des pointeurs.

2.1 Les listes simplement chaînées : Implantation par tableau

Déclaration

- En langage C, pour implanter une liste chaînée à l'aide d'un tableau, on utilise les structures.
- En effet, la liste est un objet constitués :
  - d'un tableau, de taille suffisante pour accueillir la plus grande liste à traiter.
  - d'un entier contenant l'indice de la fin de la liste. Cet entier contient l'indice+1 du dernier élément de la liste, ou la taille de la liste.

- La déclaration correspondante est la suivante, où l'on suppose ici que les valeurs stockées dans la liste sont de type entier.

Code en C

```
typedef int element;
struct listeTab
 {
    element valeur[taille_MAX];
    int fin;
 };
typedef struct listeTab listeTab, liste;
```

Création et initialisation

- Pour créer une liste chaînée, on doit l'initialiser à un tableau de taille nulle.
- L'initialisation d'une liste chaînée, ou la création d'une liste vide, est généralement faite par la fonction suivante :

```
int creerListeVide( )
  {
    return 0;
  }
```

- Pour tester si une liste est vide, on utilise la fonction suivante :

```
 int ListeVide(liste l)
  {
    return l.fin==0;
  }
```

Ajout d'une valeur à une liste :

- Il est toujours possible d'ajouter des valeurs à une liste chaînée donnée.
- En effet, comme l'implantation par les pointeurs, il y a différentes façons d'ajouter des valeurs à une liste chaînée en particulier on peut
  - ajouter une nouvelle valeur en tête de la liste,
  - ajouter une nouvelle valeur à la fin de la liste.
  - ajouter une nouvelle valeur à une position quelconque de la liste.

Ajout d'un élément en tête de la liste

```
liste ajouterTeteLTab(element val, liste l)
  {
    int i;
    l.fin=l.fin+1;
    for(i=l.fin-1;i>=1;i--)
      l.valeur[i]=l.valeur[i-1];
    l.valeur[0]=val;
    return l;
  }
```

Ajout d'un élément à la fin de la liste

```
liste ajouterFinLTab(element val, liste l)
  {
    l.valeur[l.fin]=val;
    l.fin=l.fin+1;
    return l;
  }
```

Ajout d'une valeur à une liste :

Ajout d'un élément après une position donnée dans la liste

```
liste  ajouterApresPosLTab(element val, int pos, liste l)
  {
    int i;
    l.fin=l.fin+1;
    for(i=l.fin-1;i>=pos+1;i--)
      l.valeur[i]=l.valeur[i-1];
    l.valeur[pos]=val;
    return l;
  }
```

Ajout d'un élément après un élément donnée dans la liste

```
liste ajouterApresElementLTab(element val, element elem, liste l)
  {
    int i;
    for(i=0;i<l.fin;i++)
      if(l.valeur[i]==elem)
        l=ajouterApresPosLTab(val, i+1, l);
      return l;
  }
```

Suppression d'une valeur dans une liste :

- Il est possible également de supprimer des valeurs dans une liste donnée.
- En effet, il y a différentes façons de supprimer des valeurs dans des listes :
  - supprimer une valeur en tête de la liste,
  - supprimer une valeur à la fin de la liste,
  - supprimer une valeur quelconque dans une liste.

Suppression d'un élément en tête de la liste

```
liste supprimerTeteLTab(liste l)
  {
    int i;
    l.fin=l.fin-1;
    for(i=0;i<l.fin;i++)
      l.valeur[i]=l.valeur[i+1];
      return l;
  }
```

Suppression d'un élément en fin de la liste

```
liste supprimerFinLTab(liste l)
  {
    l.fin=l.fin-1;
    return l;
  }
```

Suppression d'une valeur dans une liste :

Suppression d'un élément quelconque dans une liste

```
liste supprimerElemLTab(element val, liste l)
  {
    int i,j;
    for(i=0;i<l.fin;i++)
      if(l.valeur[i]==val)
        j=i;
    l.fin=l.fin-1;
    for(i=j;i<l.fin;i++)
      l.valeur[i]=l.valeur[i+1];
    return l;
  }
```

Suppression d'un élément quelconque à une position donnée d'une liste

```
liste supprimerPosLTab(int pos, liste l)
  {
    int i;
    l.fin=l.fin-1;
    for(i=pos-1;i<l.fin;i++)
      l.valeur[i]=l.valeur[i+1];
    return l;
  }
```

Recherche dans une liste :

- L'objectif ici est de rechercher une valeur `val` dans `liste`. Pour ceci, on peut envisager deux types de fonction :
  - une fonction qui teste si la valeur recherchée `val` figure dans la liste `liste`.
  - une fonction qui renvoie la position dans la liste de la valeur contenant la valeur recherchée `val`.

Tester si la valeur recherchée existe dans la liste

```
int rechercherLTab(element val, liste L)
  {
    int i;
    for(i=0;i<l.fin;i++)
      if(l.valeur[i]==val)
        return 1;
    return 0;
  }
```

Rechercher une position d'un élément d'une liste

```
int rechercherPosLTab(element val, liste L)
  {
    int i;
    if(l.fin==0)
      return -1;
    else
      for(i=0;i<l.fin;i++)
        if(l.valeur[i]==val)
          return i+1;
    return 0;
  }
```

Affichage d'une liste :

- La fonction suivante permet d'afficher les valeurs stockées d'une liste.

Affichage d'une liste

```
void afficherLTab(liste l)
  {
    int i;
    if(l.fin<=0)
      printf("votre liste est vide!!!\n");
    else
     {
      for(i=0;i<l.fin;i++)
        printf("%d ",l.valeur[i]);
      printf("\n\n");
     }
  }
```

Exercice :

Écrire un programme complet en langage C qui permet, en utilisant l'implantation par tableau, de

- saisir une liste chaînée,
- afficher une liste chaînée,
- calculer la longueur d'une liste chaînée,
- rechercher une valeur dans la liste et de retourner sa (ou ses) position(s) dans la liste.
- effectuer les manipulations suivantes :
  - supprimer une valeur quelconque de la liste,
  - supprimer une valeur en début de liste,
  - supprimer une valeur en fin de liste,
  - supprimer une valeur à une position donnée dans la liste,
  - supprimer une valeur avant ou après une position donnée dans la liste.