Algorithmique et structures de données en C

Listes

Enseignant: P. Bertin-Johannet

Une liste

- Une liste est une collection d'éléments.
- Quand sa taille n'est pas modifiable dynamiquement on parle de tableau
- En C, par défaut il n'existe pas de liste de taille modifiable dynamiquement

```
int main(){
  int tab[3]; // tab ne contiendra jamais plus que 3
éléments
}
```

Vecteur

- Il est possible de créer une liste dont la taille changera dynamiquement en recopiant les élements dans un nouvel emplacement mémoire plus grand lors d'un ajout.
- Ce type de liste est disponible dans d'autres langages (ArrayList en Java, List en C#, std::vector en C++, toutes les listes python, etc...)

Vecteur

- Afin d'éviter de recopier l'integralité des éléments à chaque ajout, on peut réserver plus d'espace que nécéssaire.
- Pour implémenter cette version, on aura besoin d'enregistrer le nombre d'éléments courant ainsi que l'espace disponible

```
struct ListeInt {
  int* elements; // les éléments contenus
  int taille_reservee; // la taille reservée
  int nombre_elements; // le nombre d'éléments présents
}
```

Recherche dans un vecteur

- Lorsqu'on cherche un élément dans le tableau, on doit toujours vérifier que l'on ne dépasse pas la taille maximale.
- Dans l'exemple ci-dessous, on effectue deux conditions à chaque passage de boucle.

```
int cherche_lettre(ListeChar liste, char a){
  int i = 0;
  while (a != liste.elements[i] && i < liste.nombre_elements){
    i++;
  }
  return i;
}
```

Element Sentinelle

- Pour réduire à une seule condition, on peut rajouter un élément appelé “sentinelle” à la fin

```
int cherche_lettre(ListeChar liste, char a){
  liste.elements[liste.nombre_elements] = a;
  int i = 0;
  while (a != liste.elements[i]){
    i++;
  }
  return i;
}
```

Vecteur - Coût des opérations

- Pour estimer le coût des opérations sur un vecteur, nous regarderons la complexité asymptotique.
- Cela signifie grossièrement que nous considèrerons le nombre d'opération selon n et garderons le facteur qui "grandit" le plus.
- Par exemple pour accéder à l'élément n d'un tableau, il suffit de faire une addition
- Le nombre d'opérations ne changeant pas quelque soit n, on dit que la complexité est constante (ou $O(1)$).

```
int get_value_at(ListeInt liste, int i){
  return *(liste.elements + i);
}
```

Vecteur - Coût de l'insertion

- Pour calculer la complexité, on considère toujours le cas avec le plus d'opérations.
- L'insertion d'un element dans un vecteur demande, dans le pire des cas, de recopier l'intégralité du vecteur dans un nouvel emplacement.
- Il y a alors n opérations pour une liste de taille n.
- On parle alors de compléxité linéaire (ou $O(n)$)

```
int insert_valeur_fin(ListeInt liste, int i){
  int* ancienne_addresse = liste.elements;
  liste.elements = malloc(sizeof(int) * (liste.taille + 1));
  memcpy(liste.elements, ancienne_addresse, sizeof(int) * liste.taille)
  liste.elements[liste.taille++] = i;
  free(ancienne_addresse);
}
```

Vecteur - Coût de la suppression

- Lorsqu'on supprime un élément dans un vecteur, on doit déplacer tous les éléments qui le suivent vers l'arrière.
- La suppression d'un élément peut donc nécéssiter n opération.
- C'est encore une complexité linéaire (ou $O(n)$)

```
void supprime_element(ListeInt liste, int n){
  for (int i = n; i < liste.nombre_element; i++){
    liste.elements[i] = liste.elements[i + 1];
  }
  liste.nombre_elements--;
}
```

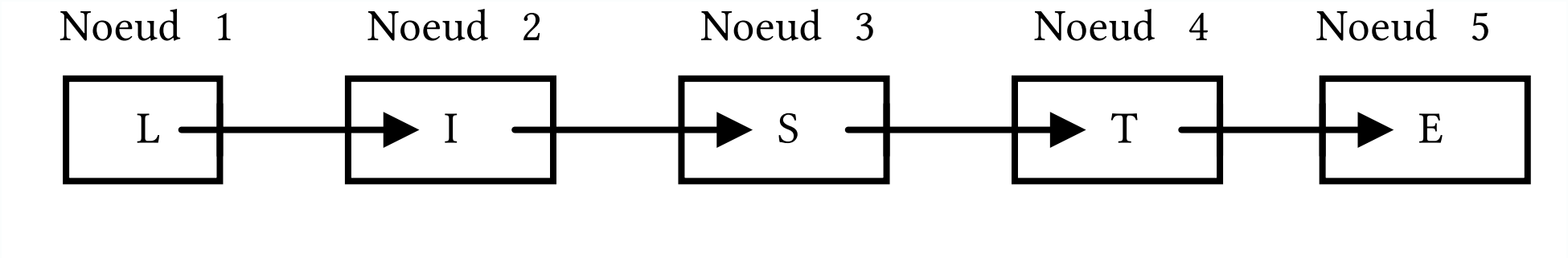
Vecteur - Coût de la recherche

- Pour chercher un élément dans un vecteur, on le parcours au maximum une fois.
- La complexité est donc encore linéaire (ou $O(n)$)

```
int cherche_lettre(ListeChar liste, char a){
  liste.elements[liste.nombre_elements] = a;
  int i = 0;
  while (a != liste.elements[i]){
    i++;
  }
  return i;
}
```

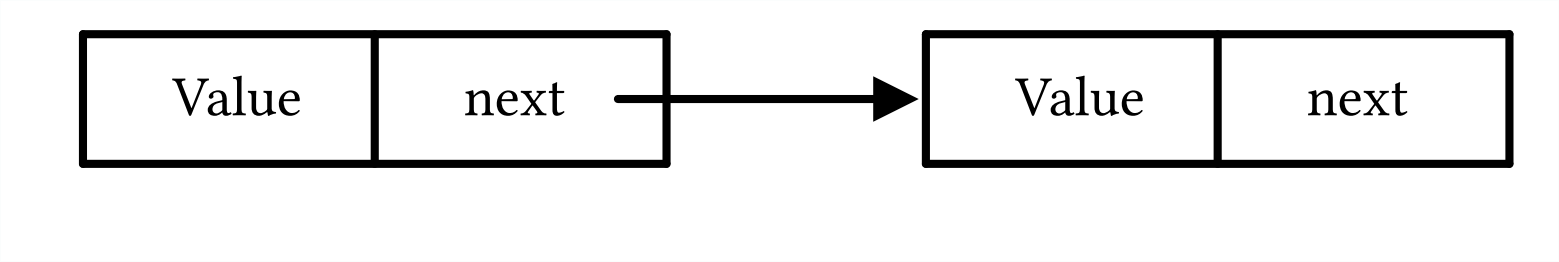
Liste chainée

- Une liste chainée est une liste d'éléments contenant chacun une valeur ainsi que l'addresse du noeud suivant.
- Il sera ainsi possible de parcourir la liste en suivant les liens d'un noeud vers l'autre.



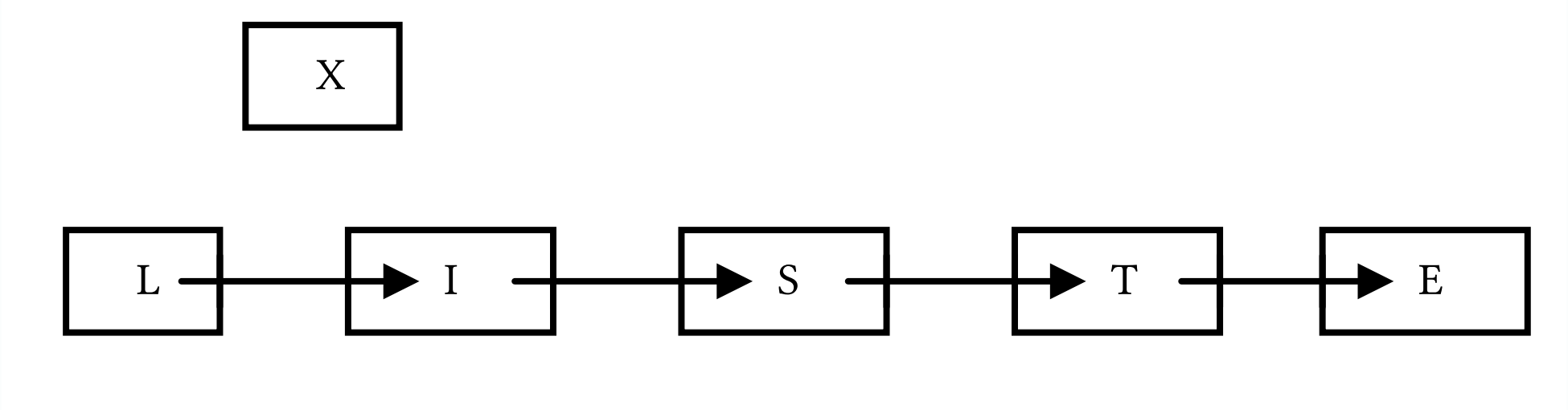
Liste chainée - Première implémentation

```
struct ListElem {
  int value;    // la valeur de l'élément
  ListElem* next; // un pointeur vers le prochain élément
}
```



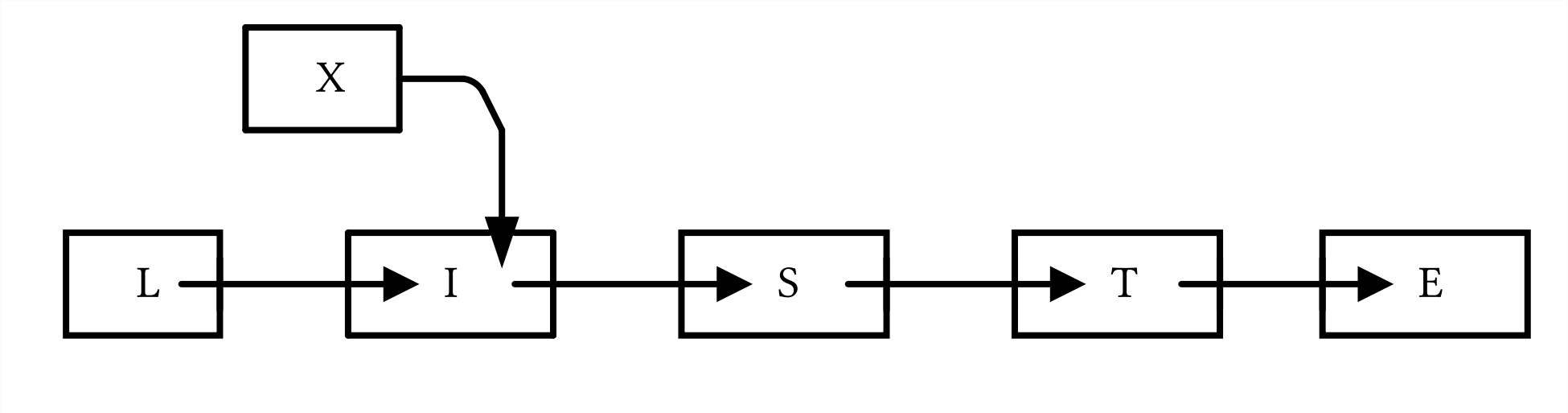
Liste chainée - Insertion

- On veut ajouter X entre L et I



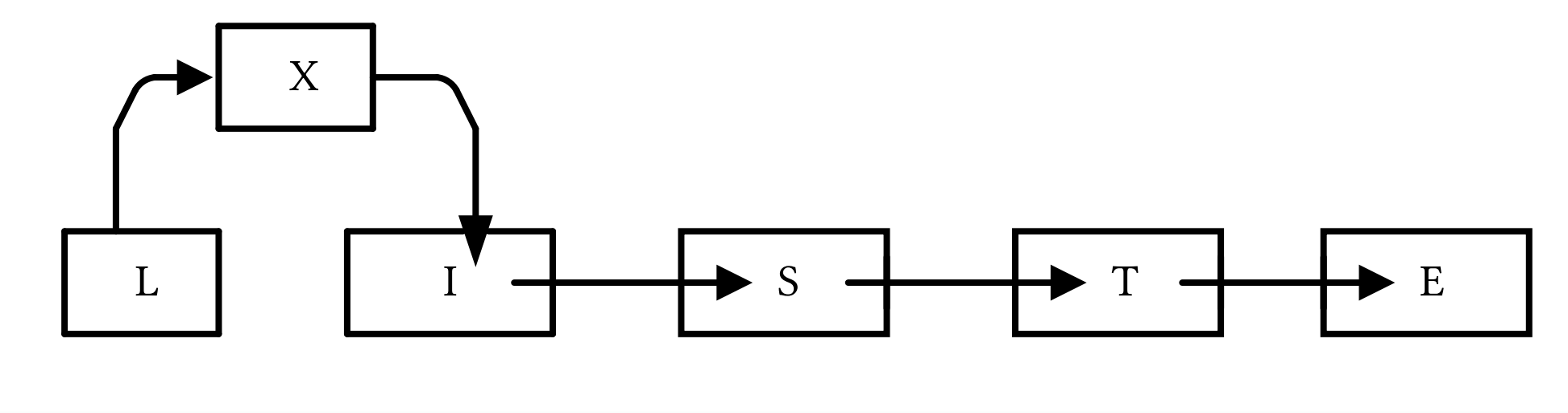
Liste chainée - Insertion

1. On change le suivant de X pour qu'il pointe vers I



Liste chainée - Insertion

1. On change le suivant de X pour qu'il pointe vers I
2. On change le suivant de L pour qu'il pointe vers X

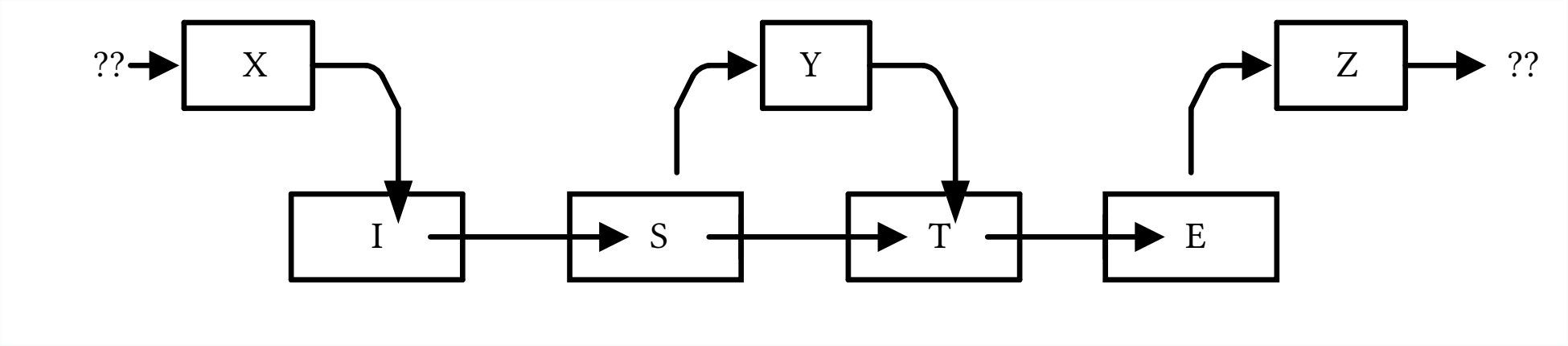


Liste chainée - Coût de l'insertion

- Pour calculer la complexité, on considère toujours le cas avec le plus d'opérations.
- L'insertion d'un element dans une liste chainée demande le même nombre d'opérations quelque soit sa taille
- On parle alors de compléxité constante (ou $O(1)$)

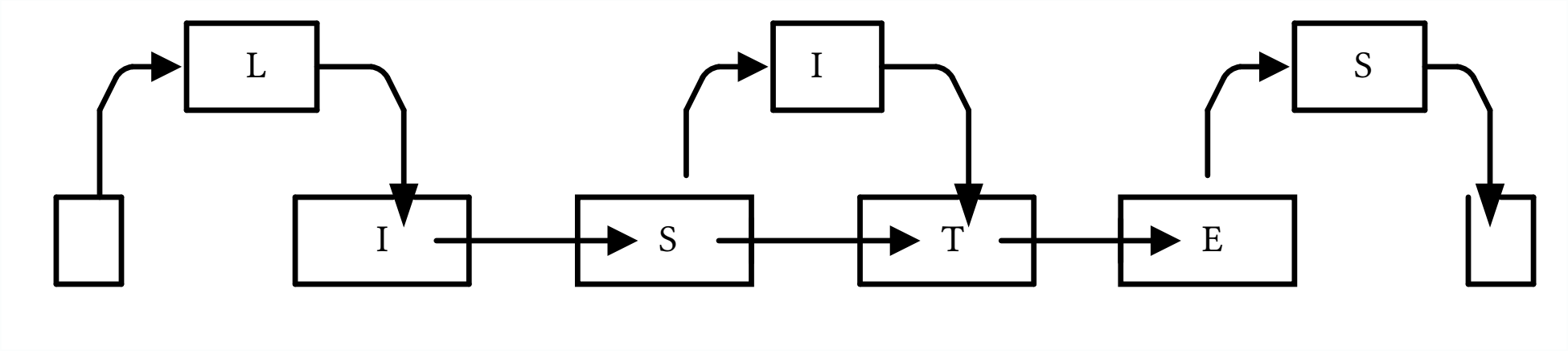
Liste chainée - Opérations en début et fin

- Certaines opérations sur un élément fonctionnent différement si il est positionné en début, en milieu ou en fin de liste
- Par exemple pour l'insertion et la suppression on doit gérer le cas ou le noeud précédent ou suivant n'existe pas



Liste chainée - Elements sentinelle

- Pour simplifier l'usage de la liste, on peut ajouter des elements sentinelles en début et fin de liste.



Liste chainée - Seconde implémentation

- La liste chainée doit donc contenir un pointeur vers les deux éléments sentinelles

```
struct ListElem {
  int value;    // la valeur de l'élément
  ListElem* next; // un pointeur vers le prochain élément
};
typedef struct ListElem ListElem;
struct LinkedList {
  ListElem sentinelStart; // la sentinelle de début
  ListElem sentinelEnd; // la sentinelle de fin
}
```

Liste chainée - Recherche d'un élément

- L'élément sentinelle de fin peut être utilisé pour accélérer la recherche d'une valeur dans la liste.

```
void trouve_elem(LinkedList l, int toFind){
  l.sentinelEnd.value = toFind; // on met la valeur cherchée dans l'élément de fin
  ListElem* elem = l.sentinelStart->next; // on commence par le premier noeud
  while (elem->value != toFind){ // tant qu'on a pas trouvé un noeud avec la valeur
    elem = elem->next; // on avance dans la liste
  }
  if (elem == &(l.sentinelEnd)){
    printf("l'element n'est pas dans la liste");
  }
  printf("l'élément est dans la liste");
}
```

Comparaison Vecteur - Liste Chainée

Complexités pour:	Vecteur	Liste chainée
Insertion à la fin		
Insertion arbitraire		
Accès au début		
Accès à la fin		
Accès arbitraire		
Suppression au début		
Suppression arbitraire		

Comparaison Vecteur - Liste Chainée

Complexités pour:	Vecteur	Liste chainée
Insertion à la fin	Linéaire	Constante
Insertion arbitraire		
Accès au début		
Accès à la fin		
Accès arbitraire		
Suppression au début		
Suppression arbitraire		

Comparaison Vecteur - Liste Chainée

Complexités pour:	Vecteur	Liste chainée
Insertion à la fin	Linéaire	Constante
Insertion arbitraire	Linéaire	Constante
Accès au début		
Accès à la fin		
Accès arbitraire		
Suppression au début		
Suppression arbitraire		

Comparaison Vecteur - Liste Chainée

Complexités pour:	Vecteur	Liste chainée
Insertion à la fin	Linéaire	Constante
Insertion arbitraire	Linéaire	Constante
Accès au début	Constante	Constante
Accès à la fin		
Accès arbitraire		
Suppression au début		
Suppression arbitraire		

Comparaison Vecteur - Liste Chainée

Complexités pour:	Vecteur	Liste chainée
Insertion à la fin	Linéaire	Constante
Insertion arbitraire	Linéaire	Constante
Accès au début	Constante	Constante
Accès à la fin	Constante	Linéaire
Accès arbitraire		
Suppression au début		
Suppression arbitraire		

Comparaison Vecteur - Liste Chainée

Complexités pour:	Vecteur	Liste chainée
Insertion à la fin	Linéaire	Constante
Insertion arbitraire	Linéaire	Constante
Accès au début	Constante	Constante
Accès à la fin	Constante	Linéaire
Accès arbitraire	Constante	Linéaire
Suppression au début		
Suppression arbitraire		

Comparaison Vecteur - Liste Chainée

Complexités pour:	Vecteur	Liste chainée
Insertion à la fin	Linéaire	Constante
Insertion arbitraire	Linéaire	Constante
Accès au début	Constante	Constante
Accès à la fin	Constante	Linéaire
Accès arbitraire	Constante	Linéaire
Suppression au début	Linéaire	Constante
Suppression arbitraire		

Comparaison Vecteur - Liste Chainée

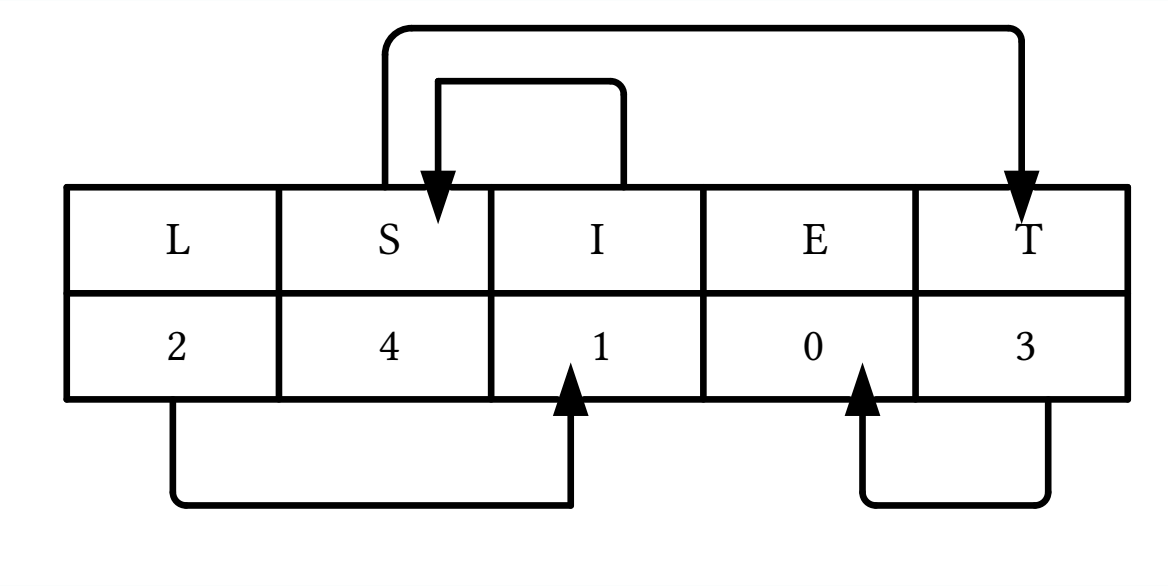
Complexités pour:	Vecteur	Liste chainée
Insertion à la fin	Linéaire	Constante
Insertion arbitraire	Linéaire	Constante
Accès au début	Constante	Constante
Accès à la fin	Constante	Linéaire
Accès arbitraire	Constante	Linéaire
Suppression au début	Linéaire	Constante
Suppression arbitraire	Linéaire	Constante

Inconvénients de la liste chainée

- Malgré les avantages précédement abordés, une liste chainée rencontre des problèmes importants de performances sur les machines réelles.
  1. Manque de localité mémoire : les noeuds sont dispersés dans la mémoire et il est difficile de tous les enregistrer dans le cache.
  2. Consommation mémoire accrue : chaque élément requiert un espace supplémentaire pour le pointeur suivant
  3. Indirection pointeur : chaque accès implique une étape de déréférencement du pointeur suivant
  4. Prédiction d'accès difficile : le processeur peut difficilement prédire le prochain élément utilisé
  5. Vectorisation des opérations difficile : Executer une opération sur plusieurs noeuds en même temps est difficile.
- Ces problèmes peuvent ralentir le code d'un facteur allant jusqu'a **plusieurs dizaines de milliers**

Liste chainée - Implémentation par tableau

- On peut aussi implémenter une liste chainée en utilisant deux tableaux.
- Un tableau contiendra les indices des elements suivants et un autre tableau contiendra les valeurs

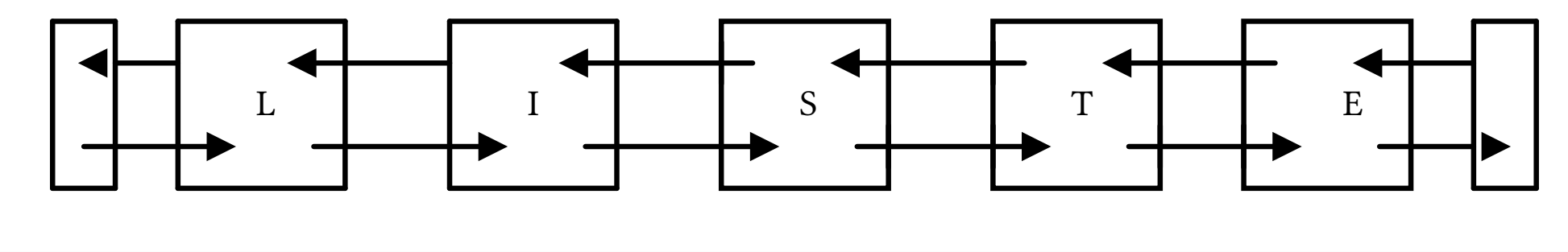


Avantages et désavantages de l'implémentation par tableau

1. Avantages:
   - Meilleure localité des valeurs que l'implémentation précédente
   - Les indices occupent moins d'espace qu'un pointeur
   - On peut réutiliser un vecteur pour allouer de l'espace pour plusieurs noeuds en avance.
   - La suppression reste en temps constant.
2. Désavantages
   - L'insertion devient une opération en temps linéaire car on peut avoir à recopier le contenu quand on réalloue

Liste doublement chainée

- On parle de liste doublement chainée lorsque chaque élément contient aussi un pointeur vers le précédent.
- Cela permet permet d'effectuer des parcours en dans les deux sens
- Les opérations de suppression et d'insertion nécéssitent plus d'opérations
- On garde toujours deux éléments sentinelles



Mise en pratique

```
printf("
          _________
         < TP Algo >
           --------
                  \   ^__^
                   \  (oo)\_______
                      (__)\       )\/\
                          ||----w |
                          ||     ||
         ")
```