UNIVERSITÉ DE LORRAINE | IUT nancy Charlemagne Département Informatique

STRUCTURES DE DONNEES

PUBLIC CONCERNÉ : formation initiale, semestre 1

NOM DES AUTEURS : Y. Belaïd

DATE : 2015/2016

IUT NANCY-CHARLEMAGNE
2 TER BD CHARLEMAGNE - CS 55227
54052 NANCY CEDEX
TÉL. 03 54 50 38 20/22
FAX 03 54 50 38 21
iutnc-info@univ-lorraine.fr
http://iut-charlemagne.univ-lorraine.fr

LES TYPES ABSTRAITS

La conception d'un algorithme un peu compliqué se fait toujours en plusieurs étapes qui correspondent à des raffinements successifs. La première version de l'algorithme est autant que possible indépendante d'une implémentation particulière. La représentation des données n'est pas fixée.

A ce premier niveau, les données sont considérées de manière abstraite : on se donne une notation pour les décrire ainsi que l'ensemble des opérations qu'on peut leur appliquer et les propriétés de ces opérations. On parle alors de *type abstrait de données* (TAD). La conception de l'algorithme (que nous appellerons *algorithme logique*) se fait en utilisant les opérations du TAD. Les différentes représentations du TAD permettent d'obtenir différentes versions de l'algorithme (que nous appellerons *algorithmes de programmation*) si le type abstrait n'est pas un type du langage que l'on veut utiliser.

Une structure de données est une donnée abstraite dont le comportement est modélisé par des opérations abstraites. Elle peut être décrite par un TAD.

Dans ce chapitre, nous verrons comment spécifier une structure de données à l'aide d'un TAD. Dans les chapitres suivants, nous présenterons plusieurs structures de données fondamentales que tout informaticien doit connaître. Il s'agit des structures linéaires et des tables.

Nous rappelons en annexe 1 les conventions retenues pour l'écriture des algorithmes.

1 Définition d'un type abstrait

Un TAD est décrit par sa signature qui comprend :

- une déclaration des ensembles définis et utilisés ;
- une description fonctionnelle des opérations : nom des opérations et leurs profils ; le profil précise à quels ensembles de valeurs appartiennent les arguments et le résultat d'une opération ;
- une description axiomatique de la sémantique des opérations : nous ne détaillerons pas cette partie ; les opérations seront décrites de manière informelle.

Exemple :

Pour le type abstrait *Ensemble* :

- ensembles définis et utilisés : *Ensemble*, Elément, booléen ;
- description fonctionnelle des opérations :

êtreVide :	Ensemble (Elément)	→	booléen
appartenir :	Ensemble (Elément) X Elément	→	booléen
ajouter :	Ensemble (Elément) X Elément	→	
enlever :	Ensemble (Elément) X Elément	→	
union :	Ensemble (Elément) X Ensemble (Elément)	→	Ensemble (Elément)

Les opérations *ajouter* et *enlever* modifient l'ensemble donné en paramètre.

2 Implantation d'un type abstrait

L'implantation est la façon dont le TAD est programmé dans un langage particulier. Il est évident que l'implantation doit respecter la définition formelle du TAD pour être valide.

L'implantation consiste donc :
- à choisir les structures de données concrètes, c'est-à-dire des types du langage d'écriture pour représenter les ensembles définis par le TAD,
- et à rédiger le corps des différentes fonctions qui manipuleront ces types. D'une façon générale, les opérations des TAD correspondent à des sous-programmes de petite taille qui seront donc facile à mettre au point et à maintenir.

Pour un TAD donné, plusieurs implantations possibles peuvent être développées. Le choix d'implantation variera selon l'utilisation qui en est faite et aura une influence sur la complexité des opérations.

Le concept de classe des langages à objets facilite la programmation des TAD dans la mesure où chaque objet porte ses propres données et les opérations qui les manipulent. Notons toutefois que les opérations d'un TAD sont associées à l'ensemble, alors qu'elles le sont à l'objet dans le modèle de programmation objet. La majorité des langages à objets permet de conserver la distinction entre la définition abstraite du type et son implantation grâce aux notions de *classe abstraite* ou d'*interface*.

3 Utilisation du type abstrait

Puisque la définition d'un TAD est indépendante de toute implantation particulière, l'utilisation du TAD devra se faire exclusivement par l'intermédiaire des opérations qui lui sont associées et en aucun cas en tenant compte de son implantation.

Les en-têtes des fonctions du TAD et les affirmations qui définissent leur rôle représentent l'interface entre l'utilisateur et le TAD. Ceci permet évidemment de manipuler le TAD sans même que son implantation soit définie, mais aussi de rendre son utilisation indépendante vis à vis de tout changement d'implantation.

4 Généricité

Reprenons l'exemple du TAD *Ensemble*. Sa définition n'impose aucune restriction sur la nature des éléments des ensembles. Les opérations d'appartenance ou d'union doivent s'appliquer aussi bien à des ensembles d'entiers qu'à des ensembles d'ordinateurs, de voitures ou de fruits.

L'implantation du TAD doit alors être générique, c'est-à-dire qu'elle doit permettre de manipuler des éléments de n'importe quel type. Certains langages de programmation (ADA, C++,…) incluent dans leur définition la notion de généricité et proposent des mécanismes de construction de types génériques. D'autres comme le langage C n'offrent pas cette possibilité. Il faut alors définir un type différent en fonction des éléments manipulés, par exemple un type *EnsembleEntiers* et un type *EnsembleOrdinateurs*.

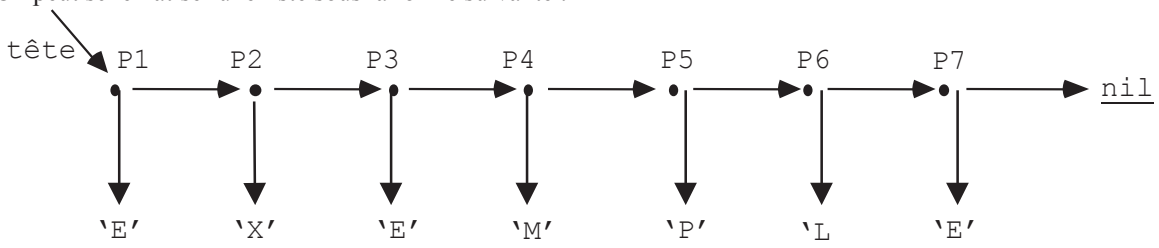
LES STRUCTURES LINEAIRES

Les structures linéaires sont un des modèles les plus élémentaires utilisés dans les programmes informatiques. Elles organisent les données sous forme de séquence d'éléments accessibles de façon séquentielle. Tout élément d'une séquence, sauf le dernier, possède un successeur. Les opérations d'ajout et de suppression d'éléments sont les opérations de base des structures linéaires. Selon la façon dont procèdent ces opérations, nous distinguerons différentes sortes de structures linéaires. Les *listes* autorisent des ajouts et des suppressions d'éléments n'importe où dans la séquence, alors que les *piles* et les *files* ne les permettent qu'aux extrémités. On considère que les files et les piles sont des formes particulières de liste linéaire. Dans ce chapitre, nous commencerons par présenter la forme générale puis nous étudierons quelques formes particulières.

1 Les listes

Une liste est une séquence finie d'éléments de même type repérés selon leur rang. On accède séquentiellement à un élément à partir du premier. L'ordre des éléments dans une liste est fondamental. Il faut remarquer que ce n'est pas un ordre sur les éléments, mais un ordre sur les places des éléments. Ces places sont totalement ordonnées c'est-à-dire qu'il existe une fonction de succession, *suc*, telle que toute place est accessible en appliquant *suc* de manière répétée à partir de la première place de la liste.

On peut schématiser une liste sous la forme suivante :



Remarque :
Qu'est-ce qui distingue les trois 'E' ? Leur place.
'E', 'X', 'M', 'P', 'L' sont les valeurs des éléments de la liste.

1.1 Définition abstraite

Soit *Valeur* l'ensemble des valeurs des éléments d'une liste (par exemple des entiers). On appelle type **Liste de Valeur** et on note **Liste(Valeur)** l'ensemble des listes dont les valeurs sont des éléments de *Valeur*.

Ensembles définis et utilisés : *Liste*, Valeur, Place (ensemble des places y compris *nil* qui est une place fictive)

Description fonctionnelle des opérations :

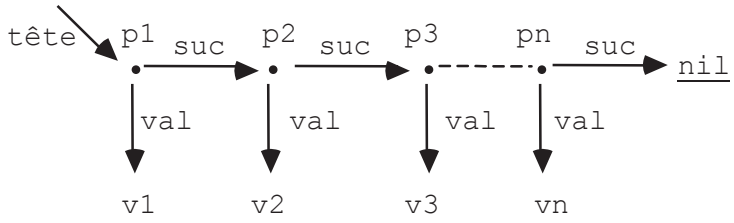
-	tête :	Liste (Valeur)	→	Place
-	val :	Liste (Valeur) x Place-{nil}	→	Valeur
-	suc :	Liste (Valeur) x Place-{nil}	→	Place
-	finliste :	Liste (Valeur) x Place	→	booléen
-	lisvide :		→	Liste (Valeur)
-	adjtlis :	Liste (Valeur) x Valeur	→	

- suptlis : Liste (Valeur)-{lisvide ( )} →
- adjqlis : Liste (Valeur) x Valeur →
- supqlis : Liste (Valeur)-{lisvide ( )} →
- adjlis : (Liste (Valeur)-{lisvide ( )}) x (Place-{nil}) x Valeur →
- suplis : (Liste (Valeur)-{lisvide ( )}) x (Place-{nil}) →
- chglis : (Liste (Valeur)-{lisvide ( )}) x (Place-{nil}) x Valeur →

Les opérations adjtlis, suptlis, adjqlis, supqlis, adjlis, suplis, chglis modifient la liste donnée en paramètre.

1.2 Description informelle des opérations

Nous expliquons ici le rôle de chaque opération et nous l'illustrons par des schémas. Soit une liste l contenant n éléments dont les valeurs sont v1, v2, v3,… vn . On peut représenter la liste l par le schéma suivant :



L'ensemble des places est {p1, p2, p3, …pn, nil}.

1.2.1 Les opérations de parcours

tête :

La fonction *tête* désigne la place du premier élément de la liste. Par exemple, tête (l) rend p1.

val :

La fonction *val* désigne la valeur associée à une place. Par exemple, val (l, p3) rend v3.

suc :

La place qui suit une place p est celle occupée par l'élément suivant dans la liste; elle est désignée par la fonction *suc* (pour successeur). Par exemple, suc (l, p2) rend p3.

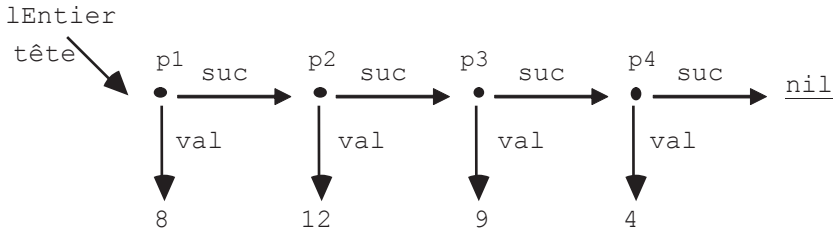
finliste :

La fonction *finliste* permet de tester si une place donnée est la place *nil* c'est-à-dire si on est positionné à la fin de la liste. Notez bien que finliste (l, pn) rend faux et finliste (l, suc (l, pn)) rend vrai.

1.2.2 Exemples d'utilisations des opérations de parcours

Exemple 1

Soit la liste *lEntier* schématisée ci-après :



Evaluer les expressions suivantes :

- val (lEntier, tête (lEntier))
- val (lEntier, suc (lEntier, suc (lEntier, tête (lEntier))))
- finliste (lEntier, suc (lEntier, suc (lEntier, suc (lEntier, tête(lEntier)))))
- finliste (lEntier, suc (lEntier, suc (lEntier, suc (lEntier, suc (lEntier, tête (lEntier))))))

Réponses : 8 9 faux vrai

Quelle est la valeur retournée par l'algorithme suivant ?

```
Algorithme logique
début (*1*)
        lEntier ← lire ( )
        place ← tête (lEntier)
        pour (*2*) i de 1 à 3 faire      (* on est sûr ici que la liste contient au moins 3 éléments *)
                place ← suc (lEntier, place)
        fpour(*2*)
        écrire (val (lEntier, place))
fin (*1*)
Lexique
place : Place, ième place de la liste
lEntier: Liste (entier), liste donnée
```

Réponse : 4

Exemple 2

Soit la liste *lEliminés* contenant les nom, prénom et note des candidats ayant échoué à l'épreuve du permis de conduire. Ecrire l'algorithme logique de la fonction qui permet d'afficher le nom et le prénom de la première personne éliminée ou un message si aucune personne n'a échoué.

```
Algorithme logique
Fonction imprimerPremierEliminé (lEliminés : liste (Candidat))
début (*1*)
        placeTête ← tête (lEliminés )
        si finliste (lEliminés, placeTête)
                alors (*2a*)   écrire (« pas d'échec »)
                sinon (*2s*)   candidatEliminé ← val (lEliminés, placeTête)
                               écrire (candidatEliminé.nom,  candidatEliminé.prénom)
        fsi(*2*)
fin(*1*)
Lexique
Candidat = <nom : chaîne, prénom : chaîne, note : entier>
lEliminés : liste (Candidat), liste des candidats éliminés
placeTête : Place, place du premier élément de la liste s'il existe
candidatEliminé : Candidat, premier candidat éliminé s'il existe
```

1.2.3 Les opérations de construction et de mises à jour

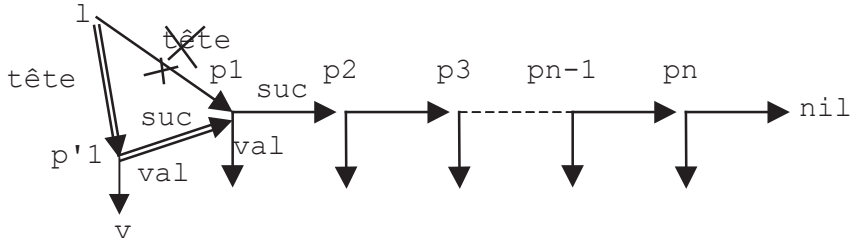
lisvide :

construction d'une liste vide c'est-à-dire d'une liste ne contenant aucun élément.
l ← lisvide() : création de la liste vide *l* :

finliste (l, tête (l)) rend vrai ; c'est le signe que la liste l est vide.

adjtlis :

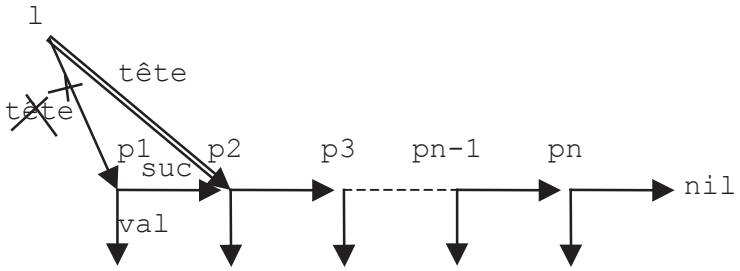
adjonction en tête de la liste ; c'est le cas où l'on insère un élément avant tous les autres ;
adjtlis (l, v) ajoute en tête de *l* un élément de valeur *v* :



Sur le schéma:
- nous dessinons la liste initiale,
- nous barrons les liens qui disparaissent lors de la modification,
- nous notons en double ceux qui apparaissent.

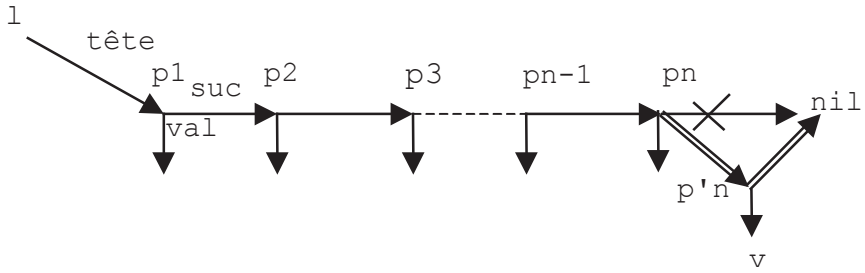
suptlis :

suppression en tête ;
suptlis (l) : c'est le cas où le premier élément est supprimé ;



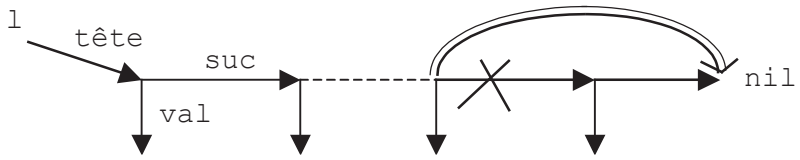
adjqlis :

adjonction en queue de liste ;
adjqlis (l, v) : adjonction d'un élément de valeur *v* en queue de la liste *l* ;



supqlis :

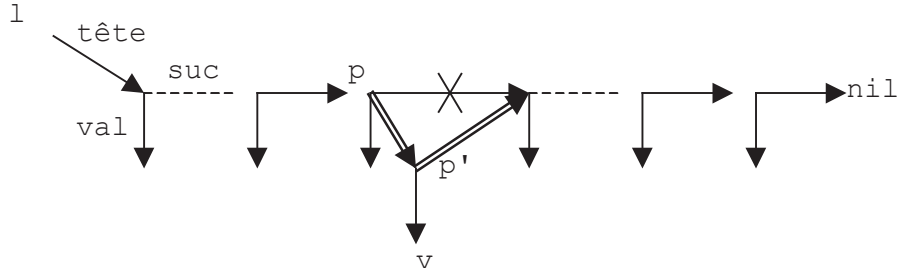
suppression en queue ;
supqlis(l) : c'est le cas où le dernier élément de la liste est enlevé.



Nous venons d'évoquer les adjonctions et suppressions en tête et en queue. Mais il arrive qu'une liste doive subir des adjonctions, suppressions ou modifications ailleurs qu'en tête ou en queue. Nous spécifions par la place p, l'emplacement de la modification.

adjlis :

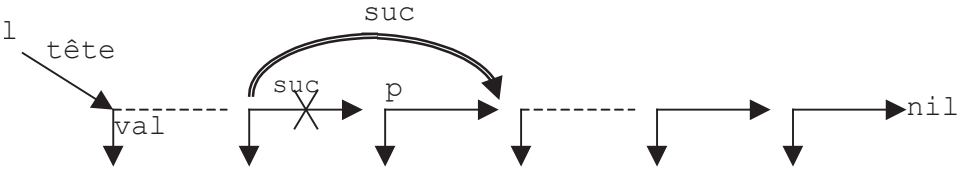
adjonction après une place p ;
adjlis (l, p, v) : adjonction à la liste *l* supposée non vide, juste après l'élément de place *p*, d'un nouvel élément de valeur *v*.



Remarque : ne permet pas de faire une adjonction en tête.

suplis :

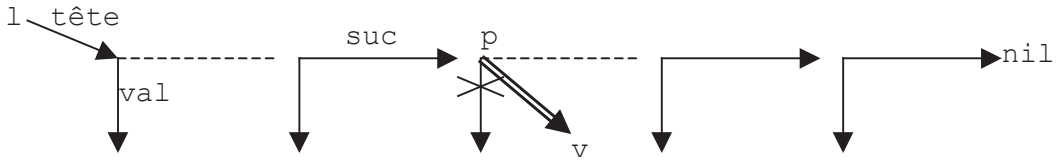
suppression d'un élément à une place donnée ;
suplis(l,p) : suppression dans la liste *l*, supposée non vide, de l'élément situé à la place *p*.



Remarque :
Pour supprimer l'élément à la place *p*, il faut faire le lien entre l'élément précédent *p* et l'élément suivant *p*. Donc, lors du parcours de la liste à la recherche de *p*, il faudra conserver à chaque pas la place précédente.

chglis :

changement de la valeur d'un élément ;
chglis (l, p, v) : modification de la valeur de l'élément situé à la place p.



Remarque importante :

La place p ne peut jamais être connue d'emblée mais est toujours le résultat d'un parcours de la liste (parcours jusqu'à ce qu'une condition C soit réalisée). Nous étudierons ces parcours au paragraphe suivant.

1.2.4 Exemple de création de liste

Prenons l'exemple de la liste d'admission des étudiants dans une école et étudions sa création. On la crée à partir des dossiers déjà triés par ordre de valeur. Au départ, la liste est vide. On ajoute successivement dans la liste les noms et notes figurant sur chacun des dossiers. On s'arrête quand tous les dossiers sont entrés (le nombre de dossiers est donné) .

Données :
nombreDossier
nombreDossier fois : nom
note

Résultats :
liste d'admission

Algorithme logique

```
fonction lEtudSaisir( ) : Liste(Etudiant)
    début (*1*)
        lAdmis ← lisvide( )
        nombreDossier ← lire( )
        pour (*2*) i de 1 à nombreDossier faire
                étudiant ← lire( )
                adjqlis (lAdmis, étudiant)
        fpour (*2*)
        retourne lAdmis
    fin(*1*)
```

Lexique

Etudiant = <nom : chaîne, note : réel >
lAdmis: Liste(Etudiant), liste d'admission
nombreDossier : entier, nombre de dossiers
étudiant : Etudiant, nom et note contenus dans le ième dossier
i : entier, indice d'itération sur les dossiers

1.3 Parcours de listes

Les opérations de parcours sont : **tête**, **val**, **suc** et **finliste**. On peut vouloir parcourir une liste en entier, jusqu'à un certain élément ou à partir d'un certain élément.

1.3.1 Exemples de parcours complet

a) Soit une liste *lEntier* d'entiers, calculer la moyenne des éléments de cette liste.

```
Algorithme logique
    Fonction entierCalculerMoyenne (lEntier : Liste(entier)) : réel
    début (*1*)
        somme ← 0
        nombre ← 0
        place ← tête (lEntier)
        tantque (*2*) non finliste (lEntier, place) faire
                valeur ← val (lEntier, place)
                somme ← somme + valeur
                nombre ← nombre+1
                place ← suc (lEntier, place)
        ftantque (*2*)
        si nombre ≠ 0
                alors moyenne ← somme / nombre
                sinon moyenne ← 0
        fsi
        retourne moyenne
    fin (*1*)
Lexique
    lEntier : Liste(entier), liste des entiers
    moyenne : réel, moyenne des éléments
    place : Place, place courante
    somme : entier, somme des nombre premiers entiers
    nombre : entier, nombre courant de valeurs lues
    valeur : entier,  valeur courante de la liste lEntier
```

b) Soit *lPersonne* une liste des habitants d'une commune. Une personne est décrite par son nom, son adresse et son année de naissance. On désire envoyer un prospectus électoral à toute personne majeure ou le devenant en cours d'année. Ecrire l'algorithme logique de la fonction qui permet d'imprimer les noms et les adresses de ces personnes.

```
Algorithme logique
    fonction lpersonneImprimerMajeure (lPersonne : Liste(Personne), annéeCourante : entier)
    début (*1*)
        place ← tête (lPersonne )
        tantque(*2*) non finliste (lPersonne, place) faire
                personne ← val (lPersonne, place)
                si annéeCourante  -  personne.naissance  ≥ 18
                        alors (*3a*) écrire (personne.nom , personne.adresse)
                fsi(*3*)
                place ← suc (lPersonne, place)
        fintantque(*2*)
    fin(*1*)
Lexique
    Personne = <nom : chaîne, adresse : chaîne, naissance : entier>
    lPersonne : Liste(Personne), liste des personnes de la commune
    place : Place,  place courante
    annéeCourante : entier, année en cours
    personne : Personne, personne courante de la liste
```

1.3.2 Exemple de parcours de liste depuis le début jusqu'à une condition d'arrêt

Reprenons l'exemple précédent en supposant que les personnes sont classées par année de naissance croissante. Ainsi on arrête le parcours dès qu'on rencontre une personne mineure.

```
Algorithme logique
    fonction lpersonneImprimerMajeure (lPersonne : Liste(Personne), annéeCourante : entier)
    début(*1*)
        place ← tête (lPersonne )
        mineur ← faux
        tantque(*2*) (non finliste (lPersonne, place)) et (non mineur) faire
                personne ← val (lPersonne, place)
                si annéeCourante - personne . naissance < 18
                        alors (*3a*)    mineur ← vrai
                        sinon (*3s*)    écrire (personne. nom, personne. adresse)
                                        place ← suc (lPersonne, place)
                fsi(*3*)
        fintantque(*2*)
    fin(*1*)
Lexique
    lPersonne
    place                   |       cf. algorithme précédent
    annéeCourante
    personne
    mineur : booléen, vrai quand la personne courante est mineure
```

1.3.3 Exemple de parcours à partir d'un certain élément de la liste

On définit la place de départ par un parcours de la liste jusqu'à une condition d'arrêt.

Exemples de conditions d'arrêt :

C1 : la valeur associée à la place courante est égale à une valeur donnée.
(Par exemple, parcourir la liste d'admission à partir de la place occupée par Durand).

C2 : la valeur de l'élément précédant l'élément courant est égale à une valeur donnée.
(Par exemple, parcourir la liste d'admission à partir de la place suivant celle occupée par Henri).

C3 : le rang de l'élément à partir duquel on veut faire le parcours est connu.
(Par exemple, parcourir la liste d'admission à partir du 7ème étudiant).

1.3.4 Schéma général de l'algorithme de parcours d'une liste

```
début
    ......
    [* place ← tête (liste) *]
    [* trouve ← faux *]
    tantque non finliste (liste, place) [* et non trouve *] faire
            valeur ← val (liste, place)
            ...
            [* si Condition (valeur)
            alors ...
                    trouve ← vrai
            sinon ...*]
                    place ← suc (liste, place)
            [* fsi *]
    ftantque
    ......
fin
```

où *liste* est la liste à parcourir, *place* la suite des places, *valeur* la suite des valeurs, *trouve* la suite des conditions d'arrêt et *Condition* une fonction à valeur booléenne. Tout ce qui se trouve entre [* et *] n'est à écrire que si le contexte l'exige.

1.4 Exercices : algorithmes logiques sur les listes

Exercice 1 (création et parcours complet)

On souhaite créer une liste de températures et calculer la moyenne des températures d'une liste. Ecrire les algorithmes logiques des fonctions suivantes:

fonction lTempSaisir ( ) : Liste (réel)
    saisit un nombre de températures puis les températures et les range dans une liste
fonction lTempMoyenne (lTemp : Liste (réel)) : réel
    calcule la moyenne des températures de la liste *lTemp*

Exercice 2 (parcours avec C1)

Soit la liste des ouvrages (auteur-titre) d'une bibliothèque classée par ordre alphabétique des noms d'auteurs. Ecrire l'algorithme logique de la fonction qui crée la liste de tous les titres d'un auteur donné.

Exercice 3 (parcours avec C2 et C3)

Soit lPilote, la liste des noms des pilotes d'une course de F1 dans l'ordre d'arrivée.

a) Ecrire l'algorithme logique de la fonction qui permet d'imprimer les noms des pilotes se trouvant après la dixième place.
b) Ecrire l'algorithme logique de la fonction qui permet d'imprimer les noms des 3 pilotes arrivés après A. Prost.

Exercice 4 (adjonction et suppression)

Soit une suite de valeurs entières (toutes comprises entre 0 et 1000). On souhaite construire une liste "lEntier", triée par ordre croissant, contenant les entiers figurant un nombre impair de fois dans la suite des données. Ecrire l'algorithme logique de la fonction réalisant cette construction. On lit le nombre de valeurs puis chaque valeur.

Principe : chaque donnée est cherchée dans la liste partiellement construite ; si elle appartient déjà à la liste, on la supprime, sinon on la rajoute.

Difficulté : initialisation de la place précédente.

Exercice 5 (interclassement de 2 listes triées)

Ecrire l'algorithme logique de la fonction qui interclasse 2 listes d'entiers triées par ordre croissant.

Principe :
- on compare les 1ers éléments des 2 listes, on place le plus petit dans la liste résultat
- on recommence avec l'élément qui reste et l'élément suivant de l'autre liste
...

Correction Exercice 1

Algorithme de la fonction lTempSaisir

```
fonction lTempSaisir ( ) : Liste (réel)
début(*1*)
lTemp ← lisvide()
nbTemp ← lire( )
pour i de 1 à nbTemp faire (*2*)
    température ← lire( )
    adjqlis (lTemp, température)
fpour (*2*)
retourne lTemp
fin(*1*)
```

Lexique

lTemp : Liste (réel), liste des températures
nbTemp : entier, nombre de températures
température : réel, la ième température lue
i : entier, indice d'itération

```
Algorithme de la fonction lTempMoyenne
    fonction lTempMoyenne ( lTemp : Liste (réel) ) : réel
    début(*1*)
    somme ← 0
    nombreTempérature ← 0
    place ← tête (lTemp)
    tantque(*2*) non finliste (lTemp, place) faire
                température ← val (lTemp, place)
                somme ← somme + température
                nombreTempérature ← nombreTempérature + 1
                place ←  suc (lTemp, place)
    fintantque(*2 *)
    si  nombreTempérature ≠ 0   alors moyenne ← somme / nombreTempérature
                                sinon moyenne ← 0
    fsi
    retourne moyenne
    fin(*1*)
Lexique
    lTemp : Liste (réel), liste des températures
    température : réel, ième température de la liste
    moyenne : réel, moyenne des températures ou 0
    somme : réel, somme des températures
    nombreTempérature : entier, nombre de températures de la liste
    place : Place, ième place dans la liste
```

Correction Exercice 2

```
Algorithme de la fonction lLivreCréerListeTitre
    fonction lLivreCréerListeTitre (lLivre : ListeLivre, auteur : chaîne) : ListeTitre
    début(*1*)
        place ← tête(lLivre)
        arrêt ← faux
        tantque(*2*) non finliste (lLivre, place) et non arrêt faire  (* recherche du 1er livre de l'auteur  *)
                livre ← val (lLivre, place)
                si (livre.auteur >= auteur)
                        alors (*3a*) arrêt ← vrai
                        sinon (*3s*) place ← suc (lLivre, place)
                fsi(*3*)
        fintantque(*2*)
        lTitre ← lisvide( )
        si livre.auteur = auteur        (* on a trouvé l'auteur *)
        alors(*4a*)                     (*la place, où on en est, est bien celle du premier livre de l'auteur*)
                adjqlis (lTitre, livre.titre)
                place ← suc (lLivre, place)
                bonAuteur ← vrai
                tantque(*5*) bonAuteur et non finliste (lLivre, place) faire
                        livre ← val (lLivre, place)
                        si livre.auteur = auteur alors(*6a*)  adjqlis (lTitre, livre.titre)
                                                              place ← suc (lLivre, place)
                                                sinon(*6s*) bonAuteur ← faux
                        fsi(*6*)
                fintantque(*5*)
        fsi(*4*)
        retourne lTitre
    fin(*1*)
Lexique
    Livre = < auteur : chaîne, titre : chaîne >
    ListeLivre = Liste (Livre)
    ListeTitre = Liste (chaîne)
    lLivre : ListeLivre
    auteur : chaîne, auteur donné
    place : Place, ième place dans la liste
    arrêt : booléen, à vrai si on trouve l'auteur ou s'il n'y est pas
    livre : Livre, ième livre dans la liste
    bonAuteur : booléen, à vrai si le ième livre est de l'auteur auteur
    lTitre : ListeTitre, liste de tous les titres de l'auteur donné
```

Correction Exercice 3

Algorithme question a

```
fonction lPiloteImprimerAprès10 (lPilote : Liste (chaîne))
début(*1*)
    i ← 1
    place ← tête (lPilote)
    tantque(*2*) non finliste (lPilote, place) et i <= 10 faire
            i ← i+1
            place ← suc(lPilote, place)
    ftantque(*2*)
    tantque(*3*) non finliste (lPilote, place) faire
            écrire (val (lPilote, place))
            place ← suc (lPilote, place)
    ftantque(*3*)
fin(*1*)
```

Lexique

lPilote : Liste (chaîne), liste des pilotes
i : entier, numéro de la place courante
place : Place, place courante de la liste

Algorithme question b

```
fonction lPiloteImprimer3AprèsProst (lPilote : Liste (chaîne))
début(*1*)
    trouve ← faux
    place ← tête (lPilote)
    tantque (*2*) non finliste (lPilote, place) et non trouve faire
            si val (lPilote, place) = « A.Prost »
                    alors (*3a*) trouve ← vrai
                    sinon (*3s*) place ← suc (lPilote, place)
            fsi(*3*)
    ftantque(*2*)
    si trouve  alors (*4a*)
            place ← suc (lPilote, place)
            i ← 1
            tantque(*5*) non finliste (lPilote, place) et i <=3 faire
                    écrire (val (lPilote, place))
                    place ← suc (lPilote, place)
                    i ← i+1
            ftantque(*5*)
    sinon (*4s*) écrire (« A. Prost n'est pas dans la liste »)
    fsi (*4*)
fin(*1*)
```

Lexique

lPilote : Liste (chaîne), liste des pilotes
trouve : booléen, à vrai lorsqu'on trouve A. Prost
place : Place, place courante
i : entier, compteur

Correction Exercice 4

Algorithme logique

```
fonction lEntierCréer ( ): Liste (entier)
début (*1*)
    lEntier ← lisvide( )
    nbValeur ← lire( )
    pour i de 1 à nbValeur faire (*2*)
            valeur ← lire( )
            place ← tête (lEntier)
            si finliste (lEntier, place) (*la liste est vide*) alors (*8a*) adjqlis (lEntier, valeur)
            sinon (*8s*)
                    placePrécédente ← place  (* initialisation artificielle *)
                    fini ← faux  (*recherche de la valeur*)
                    tantque(*3*) non finliste (lEntier, place) et non fini faire
                            élément ← val (lEntier, place)
                            si  valeur ≤ élément  alors (*4a*) fini ←  vrai
```

```
                    sinon (*4s*)
                        placePrécédente ← place
                        place ← suc (lEntier, place)
                    fsi (*4*)
                fintantque (*3*)
                si valeur = élément (*valeur appartient déjà à la liste*) alors (*5a*)
                    suplis (lEntier, place)
                sinon(*5s*) (*valeur n'appartient pas à la liste*)
                    si place = placePrécédente alors (*7a*)
                        (*valeur est inférieur à toutes les valeurs*)
                        adjtlis (lEntier, valeur)
                    sinon(*7s*)
                        adjlis (lEntier, placePrécédente, valeur)
                    fsi(*7*)
                fsi(*5*)
            fsi (*8*)
        fpour(*2*)
        retourne lEntier
    fin(*1*)
```

Lexique

lEntier: Liste(entier), liste des entiers par ordre croissant
nbValeur : entier, nombre de valeurs à traiter
i : entier, indice d'itération
valeur : entier, ième donnée
place : Place, place courante
placePrécédente : Place, place précédent la place courante
fini : booléen, vrai lorsqu'on a trouvé l'entier ou lorsque la valeur courante est supérieure à la valeur cherchée.
élément : entier, valeur courante dans la liste

Correction Exercice 5

Algorithme de la fonction lEntierInterclasser

```
fonction lEntierInterclasser (liste1 : Liste(entier), liste2 : Liste(entier)) : Liste(entier)
début (*1*)
listeRésultat ← lisvide( )
place1 ← tête (liste1)
place2 ← tête (liste2)
tant que non finliste (liste1, place1) et non finliste (liste2, place2) faire (*2*)
    entier1 ← val (liste1, place1)
    entier2 ← val (liste2, place2)
    si entier1 < entier2 alors (*3a*)
            adjqlis (listeRésultat, entier1)
            place1 ← suc (liste1, place1)
    sinon (*3s*)
            adjqlis (listeRésultat, entier2)
            place2 ← suc (liste2, place2)
    fsi (*3*)
ftant (*2*)
si finliste (liste1, place1)
    alors (*4a*) lentierCopierFinListe (liste2, place2, listeRésultat)
    sinon (*4s*) lentierCopierFinListe (liste1, place1, listeRésultat)
fsi (*4*)
retourne listeRésultat
fin (*1*)
```

Lexique

liste1 : Liste(entier), liste triée par ordre croissant
liste2 : Liste(entier), liste triée par ordre croissant
listeRésultat : Liste(entier), résultat de l'interclassement de liste1 et liste2
place1 : Place, dans liste1
place2 : Place, dans liste2
entier1 : entier, élément de liste1
entier2 : entier, élément de liste2
fonction lEntierCopierFinListe (listeA : Liste(entier), placeListeA : Place, listeB InOut: Liste(entier)) copie la fin de *listeA* à partir de la place *placeListeA* en fin de *listeB*

```
Algorithme de la fonction lentierCopierFinListe
    fonction lEntierCopierFinListe (listeA : Liste(entier), placeListeA : Place, listeB InOut: Liste(entier))
    début (*1*)
    placeCourante ← placeListeA
    tant que non finliste (listeA, placeCourante ) faire (*2*)
        adjqlis (listeB, val (listeA, placeCourante ))
        placeCourante ← suc (listeA, placeCourante)
    ftant (*2*)
    fin (*1*)
Lexique
    placeListeA : Place, place à partir de laquelle il faut copier
    listeB : Liste(entier), liste dans laquelle il faut copier
    listeA : Liste(entier), liste à partir de laquelle il faut copier
    placeCourante : Place, place courante dans listeA
```

2 Représentation contiguë des listes

Une liste est caractérisée par un ensemble de places et les fonctions : tête, suc, val et finliste. Pour représenter une liste, il faut choisir une représentation pour chacune de ces fonctions. La fonction dont la représentation influe le plus sur les traitements est la fonction *suc*. Dans ce paragraphe, nous étudierons les cas où la fonction *suc* est représentée par une fonction de contiguïté.

2.1 Représentation contiguë dans tableau

Les éléments de la liste sont représentés dans un tableau contenant les valeurs rangées successivement à partir du début (borne inférieure, notée bi). Une place dans la liste est représentée par un indice d'accès dans le tableau.

place p <==> indice p

Dans ce cas, val (l, p) signifie "contenu de l'élément d'indice p".

La fin de liste peut être représentée par :
- un entier indiquant le nombre d'éléments de la liste ;
- un enregistrement "bidon" placé après le dernier élément de la liste ;
- un indice d'accès au dernier élément de la liste (indice de queue).

Remarque 1 : Dans certains problèmes particuliers, il peut être intéressant de démarrer la liste à partir d'un rang quelconque dans le tableau. Dans ce cas, il faut gérer un indice de tête.

Remarque 2 : On peut imaginer des cas où val est qualifié d'*indirect* : l'élément d'indice p du tableau contient non pas val (l, p) mais quelque chose qui permet de le trouver, par exemple un indice dans un autre tableau. Cette représentation est utile en particulier si une même valeur peut apparaître de nombreuses fois ou si les diverses valeurs ont des longueurs très disparates. Un exemple est proposé dans l'exercice sur les *tables simples*.

Exemple

Reprenons, comme exemple, la liste des admissions. Choisissons une représentation contiguë à l'aide d'un couple : tableau et nombre d'éléments.

La liste ladmis est alors représentée par le type composite suivant :

Liste(Etudiant) = < tab : tableau Etudiant [1..MAXNBETUDIANT], nb : entier> .

(rappel: Etudiant = <nom : chaîne, note : réel>)

Le champ *tab* contient le tableau des couples (*nom*, *note*) et le champ *nb* le nombre d'éléments de la liste.

Exemple de représentation de la liste ladmis :

	lAdmis.tab		lAdmis.nb
	nom	note	
1	Jean	18	4
2	Paul	15	
3	Marie	14	
4	Germaine	10	
5			
6			
7			

Lorsqu'on choisit une représentation, chaque fonction logique est écrite sous forme d'une fonction dans le langage de programmation choisi. Nous donnons en exemple quelques algorithmes de programmation de ces fonctions.

```
- fonction tête (lAdmis : Liste(Etudiant)) : entier
        début
        place ← 1
        retourne place
        fin

- fonction val (lAdmis : Liste(Etudiant), place : entier) : Etudiant
        début
        étudiant ← lAdmis.tab[place]
        retourne étudiant
        fin

- fonction suc (lAdmis : Liste(Etudiant), place : entier) : entier
        début
        retourne place + 1
        fin

- fonction finliste (lAdmis : Liste(Etudiant), place : entier) : booléen
        début
        fin ← ( place = 1 + lAdmis.nb)
        retourne fin
        fin

- fonction lisvide ( ) : Liste(Etudiant)
        début
        lAdmis.nb ← 0
        retourne lAdmis
        fin

- fonction adjqlis (lAdmis InOut : Liste(Etudiant), étudiant : Etudiant)
        début
        lAdmis.nb ← lAdmis.nb + 1
        lAdmis.tab [lAdmis.nb] ← étudiant
        fin
```

Exercice

Ecrire les algorithmes de programmation des fonctions suptlis et adjlis.

Corrigé :

```
- fonction suptlis (lAdmis InOut : Liste(Etudiant))
    début
    /* Pour que la nouvelle liste débute toujours en 1, il faut décaler tous les éléments :*/
    pour i de 1 à  lAdmis.nb - 1  faire
        lAdmis.tab[i] ←  lAdmis.tab[i+1]
    fpour
    lAdmis.nb← lAdmis.nb-1
    fin
```

```
- fonction adjlis (lAdmis InOut : Liste(Etudiant), place : entier, étudiant : Etudiant)
    début
    /* Il faut libérer la place suivant place en décalant tous les éléments situé après place vers la fin du tableau :*/
    pour j décroissant de 1 + lAdmis.nb à place + 2 faire
        lAdmis.tab[j]← lAdmis.tab[j-1]
    fpour
    lAdmis.tab[place+1] ← étudiant
    lAdmis.nb ← lAdmis.nb+1
    fin
```

Les autres fonctions (supqlis, chglis, suplis,adjtlis) sont données en annexe 2.

2.2 Représentation contiguë dans un fichier séquentiel

Les éléments de la liste sont stockés dans un fichier séquentiel conservé en mémoire secondaire (sur disquette, disque dur, bande magnétique...).

Reprenons comme exemple la liste des admissions. Elle est représentée par : ladmis : fichier Etudiant. Les fonctions logiques sont remplacées par des instructions de manipulations de fichiers propres au langage de programmation utilisé. Les adjonctions et suppressions nécessitent des recopies dans un fichier intermédiaire.

Dans le cas d'une représentation contiguë, le choix entre fichier et tableau sera fonction des critères suivants :

Avantages pour le choix d'un fichier séquentiel
- conservation des informations,
- plus grande capacité,
- pas de surdimensionnement.

Inconvénients pour ce choix :
- temps d'accès.

2.3 Conclusion

Dans une représentation contiguë, les places des éléments sont modifiées en cas d'adjonctions ou de suppressions dans la liste. Dans certains algorithmes, on mémorise des places dans des variables pour pouvoir y accéder après des adjonctions ou suppressions. Dans ce type de problème, le choix d'une représentation contiguë n'est pas possible. Il faudra choisir une représentation chaînée. On verra un tel exemple en exercice.

La représentation d'une liste de manière contiguë (par un tableau ou un fichier séquentiel), nécessite des décalages ou des recopies lors de modifications, ce qui est extrêmement coûteux en temps. Il est préférable de ne l'utiliser que lorsque les adjonctions et suppressions à l'intérieur de la liste sont rares.

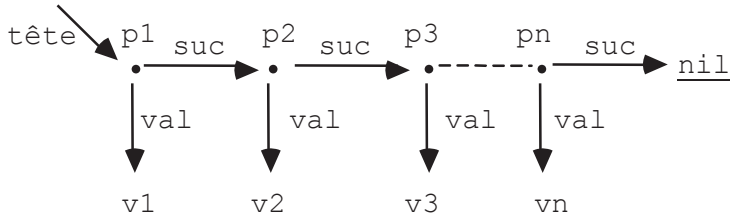
3 Représentation chaînée des listes

3.1 Généralités

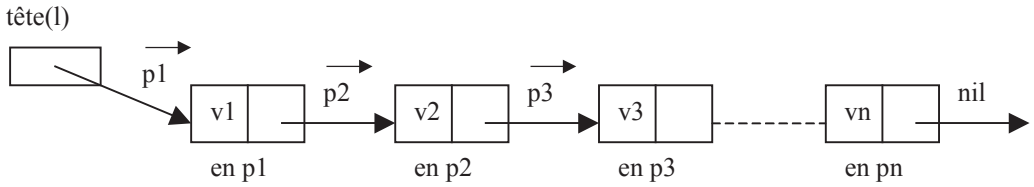
Nous allons introduire un nouveau moyen de représenter les listes, qui est plus coûteux en place que le précédent mais économise du temps lors des modifications. Pour choisir l'un ou l'autre mode de représentation (contigu ou, comme nous l'introduisons maintenant, chaîné), il faudra trancher l'habituel dilemme : économiser temps ou place ? Le choix dépendra surtout de la fréquence des modifications mais aussi éventuellement de contraintes sur la place (limite de la saturation) ou le temps (réaction rapide nécessaire).

Dans la représentation contiguë, la fonction *suc* était représentée implicitement. Nous allons maintenant la représenter explicitement: chaque élément va comporter l'indication de son successeur. Nous verrons deux façons différentes de le faire. Chaque élément est un couple formé de sa valeur et de l'indication de la place du suivant. Remarquons que c'est la représentation qui ressemble le plus à la structure logique.

Notation :
Dans le cas d'une représentation chaînée, la liste l suivante



peut s'illustrer par



Remarque :
la flèche vers la place p est appelée "indicateur de place" et notée $\vec{p}$; nil doit être considéré comme une place fictive et son indicateur. Dans l'exemple, p1 est une place et $\vec{p1}$ est l'indicateur de la place p1.

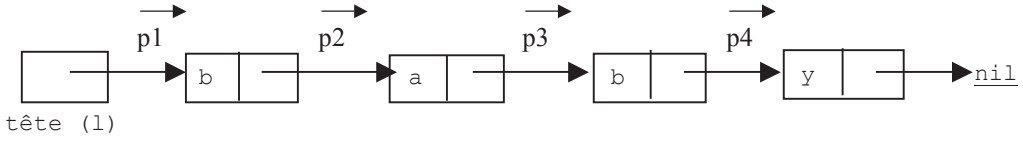
3.2 Représentation chaînée dans un tableau ou fichier direct

Nous présentons les représentations par tableaux, celles des fichiers s'en déduisant par analogie. Nous notons l la liste chaînée à représenter.

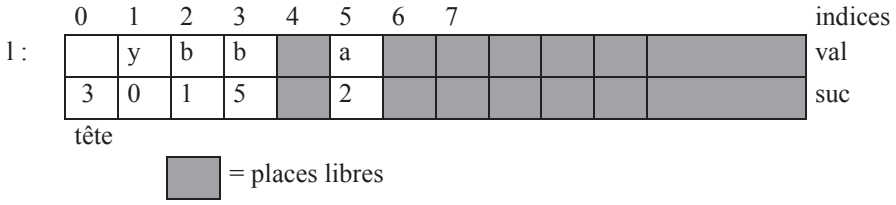
La liste chaînée est représentée par un tableau de variables composites à 2 champs: *val* et *suc*. Chaque élément contient sa valeur (dans le champ *val*) et l'indice de son successeur dans le tableau (dans le champ *suc*). Il suffit alors de connaître l'indice du premier élément (il est donné par la fonction *tête*) pour avoir accès à tous les éléments de la liste. Souvent, *nil* est représenté par 0 et la tête est représentée dans le champ *suc* de l'élément d'indice 0 du tableau.

Exemple :

La liste suivante :



peut être représentée de manière chaînée dans un tableau comme suit:



Les éléments peuvent être placés n'importe où dans le tableau. Lors d'une adjonction, il faut donc trouver une place libre dans le tableau. Lors d'une suppression, il faut signaler que la place libérée peut de nouveau être utilisée. Cette gestion de l'espace libre doit être réalisée lors de la création de la liste et lors de chaque adjonction ou suppression d'éléments. Nous détaillerons dans la suite les trois méthodes les plus couramment utilisées.

Exercice : (jouez à la machine !)
Simulez l'évolution de la liste d'admissions lors de sa création à partir des données suivantes, sachant que cette liste est représentée de manière chaînée dans le tableau ladmis :

Jean 15
Marie 13
Paul 16
Albert 14
Germaine 18

Rappel : les éléments sont rangés par note décroissante.

l :

	val	suc
0		~~0~~ 1 ~~3~~ 5
1	Jean, 15	~~0~~ 2 4
2	Marie, 13	0
3	Paul, 16	1
4	Albert, 14	2
5	Germaine, 18	3

Expression des fonctions logiques dans le cas d'une représentation chaînée à l'aide d'un tableau :

Nous avons fait le choix d'écrire ces expressions sous forme de fonctions. Il est bien sûr toujours possible de remplacer simplement ces expressions par une suite d'instructions (les instructions qui constituent le corps des fonctions traductions).

- déclaration :
  l : ListeChainéeTableau = tableau < val : Elément, suc : entier> [0..bs]
  où Elément est le type des éléments de la liste

- p est une place <==> p est un indice

- suc (l,p) <==>

```
fonction suc (l : ListeChainéeTableau, p : entier) : entier
        début
        pSuivant ← l [p].suc
        retourne pSuivant
        fin
```

- val (l,p) <==>

```
fonction val (l : ListeChainéeTableau, p : entier) : Elément
        début
        valeur ← l [p].val
        retourne valeur
        fin
```

- tête (l) <==>

```
fonction tête (l : ListeChainéeTableau) : entier
        début
        p ← l [0].suc
        retourne p
        fin
```

- finliste (l, p) <==>

```
fonction finliste (l : ListeChainéeTableau, p : entier) : booléen
    début
    fin ← p=0
    retourne fin
    fin
```

- l ← lisvide( ) <==>

```
fonction lisvide ( ): ListeChainéeTableau
    début
    l[0].suc ← 0
    initialisation de l'espace libre
    retourne l
    fin
```

- adjtlis (l, v) <==>

```
fonction adjtlis (l InOut : ListeChainéeTableau, v : Elément)
    début
    recherche d'une place libre pl
    l[pl].val ← v
    l[pl].suc ← l[0].suc
    l[0].suc ← pl
    fin
```

- suptlis (l) <==>

```
fonction suptlis (l InOut : ListeChainéeTableau)
    début
    l[0].suc ← l[l[0].suc] .suc
    restitution de la place libre
    fin
```

- adjqlis (l, v) <==>

```
fonction adjqlis (l InOut : ListeChainéeTableau , v :Elément)
    début
    recherche d'une place libre pl
    l[pl].val ← v
    l[pl].suc ← 0
    p ← 0
    tantque l[p] .suc ≠ 0 faire
            p ← l[p].suc
    ftantque
    l[p].suc ← pl        (* p : place après laquelle se fait l'adjonction, indice de tête si liste vide *)
    fin
```

Lorsque la place intervenant dans la modification est déjà connue, on peut éviter les parcours de la liste donnée. Nous avons mis en italiques les instructions qui peuvent alors être supprimées dans le cas de la fonction *adjqlis*. Dans ce cas, les places concernées doivent bien sûr être passées en paramètre des fonctions traductions qui auraient alors un profil et un nom différents.

Exercice :

Ecrire les algorithmes de programmation des autres fonctions (supqlis, adjlis, suplis et chglis).

- supqlis (l) <==>

```
fonction supqlis (l InOut : ListeChainéeTableau)
    début
    ancP ← 0
    p ← l[0].suc
    tantque l[p].suc ≠ 0 faire
            ancP ← p
            p ← l[p].suc
    ftantque
    l[ancP].suc ← 0    (* ancP est la place précédant celle qu'on supprime ; c'est
                          l'indice de la tête si la liste n'avait qu'un seul élément *)
    restitution de la place libre p
    fin
```

- adjlis (l, p, v) <==>

```
fonction adjlis (l InOut : ListeChainéeTableau, p : entier, v : Elément)
        début
        recherche d'une place libre pL
        l[pL].val ← v
        l[pL].suc ← l[p].suc
        l[p].suc ← pL
        fin
```

- suplis (l, p) <==>

```
fonction suplis (l InOut : ListeChainéeTableau , p : entier)
        début
        ancP ← 0
        tantque l[ancP].suc ≠ p faire
                ancP ← l[ancP].suc
        ftantque
        l[ancP].suc ← l[p] .suc      (* ancP est la place précédant la place p à supprimer ; c'est l'indice
                                        de la tête si l'élément à supprimer était le 1er de la liste *)
        restitution de la place libre p
        fin
```

- chglis (l,p,v) <==>

```
fonction chglis (l InOut : ListeChainéeTableau , p : entier, v : Elément)
        début
        l[p].val ← v
        fin
```

Gestion de l'espace libre sans récupération des places libérées

On se positionne en début de tableau et on consomme les places les unes après les autres sans s'occuper de restituer les places libérées lors des suppressions. Un marqueur noté pLibre dans la suite, permet de désigner la première place non encore utilisée dans le tableau . Au fur et à mesure des adjonctions, cette place avance dans le tableau. Elle peut être mémorisée dans le champ suc du tableau à l'indice -1. Le tableau sera alors défini sur l'intervalle [-1..bs] .

Exemple :

	-1	0	1	2	3	4	5	**6**					
val			y	b	b		a						
suc	**6**	3	0	1	5		2						

↑
pLibre

Voyons comment se modifient les expressions des fonctions logiques :

initialisation de l'espace libre :

```
l[-1].suc ← 1
```

recherche d'une place pl libre :

```
pl ← l[-1].suc
l[-1].suc ← l[-1].suc + 1
```

Remarque :
Lorsque le marqueur de place libre arrive en fin de tableau, on peut faire une opération de "ramasse-miettes". Cette opération consiste à concentrer toutes les valeurs en début de tableau afin de récupérer les places libres dispersées dans le tableau.

Gestion de l'espace libre avec marquage et récupération des places libres

Cette solution permet de profiter des suppressions d'éléments pour récupérer de la place et la réutiliser. Elle consiste à marquer les places libres en y mettant une valeur particulière, par exemple -1 dans le champ *suc*.

Lors de l'initialisation de la liste à "vide", on marque à -1 le champ suc de toutes les places. Chaque fois qu'on supprime un élément, on indique que la place qu'il occupait est libre en mettant -1 dans le champ suc. Chaque fois qu'on veut ajouter un élément, on cherche dans le tableau une case dont le champ suc est marqué à -1.

Exemple :

	0	1	2	3	4	5	6	7						indices
l		y	b	b		a								val
	3	0	1	5	**-1**	2	**-1**	**-1**	**-1**	**-1**	**-1**	**-1**	**-1**	suc

tête

Les algorithmes correspondant à cette gestion sont donnés en annexe 3.

Variantes :

- On peut aussi marquer les places libres en mettant une valeur "bidon" dans le champ val. Mais il n'est pas toujours possible de trouver une valeur "bidon".
- On peut ne pas marquer les places libres au fur et à mesure des libérations mais seulement en cas de problème (on consomme en suivant, tant qu'on peut). Cela se fait en marquant alors les places occupées, par un parcours de la liste. Les places libres sont les autres. Ennui: il faut un tableau supplémentaire, de booléens: lOccup.

Gestion de l'espace libre à l'aide d'une liste ("liste libre")

Le tableau l contient deux listes :

- la liste sur laquelle on travaille (liste de travail) ;
- la liste des places inoccupées (liste libre).

Les créations, suppressions et adjonctions mettent les deux listes à jour. Lorsque l'on veut ajouter un élément dans la liste de travail, on prend l'élément de la tête de la liste libre. Lorsqu'on supprime un élément dans la liste de travail, on ajoute sa place dans la liste libre (en tête).

Souvent, on représente la tête de la liste libre par le champ suc de l'élément d'indice -1 du tableau l. Nous retiendrons cette hypothèse.

Exemple :

	-1	0	1	2	3	**4**	5	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
val			y	b	b		a								
suc	**4**	3	0	1	5	**6**	2	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**0**

↑

tête de la liste libre

Remarque :

Ceci fait partie du problème plus général de la gestion simultanée de plusieurs listes.

Voici comment compléter les expressions des fonctions logiques :

Déclarations

l : tableau <val : Elément, suc : entier > [-1..bs] où Elément est le type des éléments de la liste.

```
Initialisation de l'espace libre
        l [-1].suc ←1
        pour i de 1 à bs-1 faire
                l[i].suc ← i+1
        fpour
        l [bs].suc ← 0

Recherche d'une place libre pl  (en tête)   (on suppose qu'il y en a)
        pl ← l [-1].suc
        l [-1].suc ← l [pl].suc

Restitution d'une place libre pl  (en tête)
        l [pl].suc ← l [-1].suc
        l [-1].suc ← pl
```

3.3 Représentation chaînée à l'aide de pointeurs

Un **pointeur** est une variable dont la valeur est l'adresse d'une autre variable. On dit que le pointeur "pointe vers" l'autre variable. Les pointeurs permettent de gérer la mémoire de manière dynamique, c'est-à-dire lors de l'exécution du programme: on ne crée des variables que lorsque l'on en a besoin. De la même manière, lorsque l'on n'a plus besoin d'une variable, on peut récupérer la place qu'elle occupait.

Comment représenter une liste chaînée par des pointeurs en ne réservant en mémoire que la place nécessaire ? Une liste chaînée est, comme nous l'avons vu, une suite de couples (valeur, suivant) que l'on peut représenter par le schéma :

Le champ suc contient l'adresse de l'élément suivant c'est-à-dire un élément de type pointeur.

Pour matérialiser la tête de la liste, il faut un pointeur vers le premier élément. La connaissance de ce pointeur donne complètement accès à la liste ; pour cette raison, on confond la liste et son pointeur de tête.

Cette représentation est très utilisée et sera détaillée dans le langage C.

3.4 Exercice

Ecrire l'algorithme de programmation correspondant à l'algorithme logique de l'exercice 4 du paragraphe 1.4 en représentant les listes de manière chaînée dans un tableau et avec une gestion de l'espace libre sans récupération des places libérées.

La solution classique et généralement conseillée consiste à écrire simplement les fonctions traductions des fonctions logiques utilisées sur les listes. La solution demandée dans cet exercice ne devra pas utiliser de fonctions pour les traductions afin de permettre de réaliser facilement des optimisations.

Rappel de l'énoncé :

Soit une suite de valeurs entières (toutes comprises entre 0 et 1000). Construire une liste *lEntier*, triée par ordre croissant, contenant les entiers figurant un nombre impair de fois dans la suite des données.
(Principe : chaque donnée est cherchée dans la liste partiellement construite ; si elle appartient déjà à la liste, on la supprime, sinon on la rajoute.)

Algorithme logique (rappel) :

```
fonction lEntierCréer ( ) : Liste (entier)
début (*1*)
    lEntier ← lisvide( )
    nbValeur ← lire( )
    pour i de 1 à nbValeur faire (*2*)
            valeur ← lire( )
            place ← tête (lentier)
```

```
                si finliste (lEntier, place) alors (*8a*)  (*la liste est vide*)
                        adjqlis (lEntier, valeur)
                sinon (*8s*)
                        placePrécédente ← place  (* initialisation artificielle *)
                        (*recherche de la valeur*)
                        fini ← faux
                        tantque(*3*) non finliste (lEntier, place) et non fini faire
                                élément ← val (lEntier, place)
                                si  valeur ≤ élément alors (*4a*)
                                        fini ← vrai
                                sinon (*4s*)
                                        placePrécédente ← place
                                        place ← suc (lEntier, place)
                                fsi (*4*)
                        fintantque (*3*)
                        si valeur = élément alors (*5a*)
                                (*valeur appartient déjà à la liste*)
                                suplis (lEntier, place)
                        sinon(*5s*)
                                 (*valeur n'appartient pas à la liste*)
                                si place = placePrécédente alors(*7a*)
                                        (*valeur est inférieur à toutes les valeurs*)
                                        adjtlis (lEntier, valeur)
                                sinon(*7s*)
                                        adjlis (lEntier, placePrécédente, valeur)
                                fsi(*7*)
                        fsi(*5*)
                fsi (*8*)
        fpour(*2*)
        retourne lEntier
    fin(*1*)
```

Lexique

lEntier : Liste (entier), liste des entiers par ordre croissant
nbValeur : entier, nombre de valeurs à traiter
i : entier, indice d'itération
valeur : entier, suite des données
place : Place, place courante
placePrécédente : Place, place précédent la place *place*
fini : booléen, vrai lorsqu'on a trouvé l'entier ou lorsque la valeur courante est supérieure à la valeur cherchée.
élément : entier, valeur courante dans la liste

Algorithme de programmation

```
fonction lentierCréer ( ) : LentierChaînéeTableau
    début(*1*)
    lentier[0].suc ← 0
    lentier[-1].suc ← 1
    nbvaleur ←  lire( )
    pour i de 1 à nbValeur faire (*2*)
        valeur ← lire( )
        place ← lEntier[0].suc
        si place = 0 alors (*8a*)
                placeLibre ← lEntier[-1].suc
                lEntier[-1].suc ←  lEntier[-1].suc + 1
                lEntier [placeLibre ].val ← valeur
                lEntier [placeLibre ].suc ← 0
                lEntier[0].suc ← placeLibre
        sinon (*8s*)
                placePrécédente ← place
                fini ← faux
                (*recherche de la valeur*)
                tantque(*3*) place ≠ 0 et non fini faire
                        élément ←  lEntier[place].val
                        si valeur ≤ élément alors(*4a*)
                                fini ← vrai
                        sinon(*4s*)
```

```
                                placePrécédente ← place
                                place ← lEntier[place].suc
                        fsi(*4*)
                ftantque(*3*)
                si valeur = élément alors(*5a*)
                        (*valeur appartient déjà à la liste*)
                        si place = placePrécédente alors(*6a*)
                                (*c'est le 1er élément*)
                                lEntier[0].suc ← lEntier[place].suc
                        sinon(*6s*)
                                lEntier[placePrécédente].suc ← lEntier[place].suc
                                (* en appliquant la traduction systématique, on écrirait :
                                placePrécédente ← 0
                                tantque(*20*) lEntier[placePrécédente].suc ≠ place faire
                                        placePrécédente ← lEntier[placePrécédente].suc
                                ftantque(*20*)
                                lEntier[placePrécédente].suc ← lEntier[place].suc
                                *)
                        fsi(*6*)
                sinon(*5s*) (*valeur n'appartient pas à la liste*)
                        placeLibre ← lEntier[-1].suc
                        lEntier[-1].suc ← lEntier[-1].suc+1
                        si place = placePrécédente alors(*7a*)
                                (*valeur < à toutes les valeurs*)
                                lEntier[placeLibre].val ← valeur
                                lEntier[placeLibre].suc ← lEntier[0].suc
                                lEntier[0].suc ← placeLibre
                        sinon(*7s*)
                                lEntier[placeLibre].val ← valeur
                                lEntier[placeLibre].suc ← lEntier[placePrécédente].suc
                                (*ou lEntier[placeLibre].suc ← place*)
                                lEntier[placePrécédente].suc ← placeLibre
                        fsi(*7*)
                fsi(*5*)
        fsi(*8*)
    fpour(*2*)
    retourne lEntier
    fin(*1*)
Lexique
    LEntierChaînéeTableau = tableau < val : entier, suc : entier > [-1...bs]
    lEntier : LEntierChaînéeTableau, tableau des valeurs et des successeurs
    nbValeur : entier, nombre de valeurs à traiter
    i : entier, indice d'itération
    bs : entier, nombre maximum d'éléments de la liste lEntier
    valeur : entier, suite des données
    place : entier, place courante dans lEntier
    placePrécédente : entier, place précédant place dans lEntier
    fini : booléen, vrai lorsqu'on a trouvé l'entier ou lorsque la valeur courante est supérieure à la valeur cherchée
    élément : entier, valeur courante
    placeLibre : entier, place libre sélectionnée pour la valeur courante
```

4 Les piles et les files

Pour beaucoup d'applications, les seules opérations à effectuer sur les listes sont des insertions et des suppressions aux extrémités.

4.1 Les piles

Une **pile** est une liste dans laquelle toutes les adjonctions et toutes les suppressions se font à une seule extrémité appelée *sommet*. Ainsi, le seul élément qu'on puisse supprimer est le plus récemment entré. Une pile a une structure « LIFO » pour « Last In, First Out » c'est-à-dire « dernier entré premier sorti ». Une bonne image pour se représenter une pile est une pile d'assiettes : c'est en haut de la pile qu'il faut prendre ou mettre une assiette !