ALGORITHMIQUE

Prof. PAPA DIOP

papaddiop@gmail.com

Cours de 1ère année de Licence en Informatique

UFR Sciences et Technologies

Université de THIES

« Le savoir faire est dépourvu de sens s'il n'est assorti d'un faire savoir »

Papa DIOP

Introduction générale

Objectif et plan du cours

- **Objectif:**
  - Apprendre les concepts de base de l'algorithmique et de la programmation
  - Etre capable de mettre en œuvre ces concepts pour analyser des problèmes simples et écrire les programmes correspondants
- **Plan:**
  - Généralités (matériel d'un ordinateur, systèmes d'exploitation, langages de programmation, …)
  - Algorithmique (affectation, instructions conditionnelles, instructions itératives, fonctions, procédures, …)
  - **C** (un outil de programmation)

Informatique?

- Techniques du traitement **automatique** de l'**information** au moyen des ordinateurs

- Eléments d'un système informatique

Matériel: Principaux éléments d'un PC

- Unité centrale (le boîtier)
  - Processeur ou CPU (*Central Processing Unit*)
  - Mémoire centrale
  - Disque dur, lecteur disquettes, lecteur CD-ROM
  - Cartes spécialisées (cartes vidéo, réseau, ...)
  - Interfaces d'entrée-sortie (Ports série/parallèle, …)

- Périphériques
  - Moniteur (l'écran), clavier, souris
  - Modem, imprimante, scanner, …

Qu'est ce qu'un système d'exploitation?

- Ensemble de programmes qui gèrent le matériel et contrôlent les applications
  - Gestion des périphériques (affichage à l'écran, lecture du clavier, pilotage d'une imprimante, …)
  - Gestion des utilisateurs et de leurs données (comptes, partage des ressources, gestion des fichiers et répertoires, …)
  - Interface avec l'utilisateur (textuelle ou graphique): Interprétation des commandes
  - Contrôle des programmes (découpage en taches, partage du temps processeur, …)

Langages informatiques

- Un langage informatique est un outil permettant de donner des ordres (**instructions**) à la machine
  - A chaque instruction correspond une action du processeur
- Intérêt : écrire des **programmes** (suite consécutive d'instructions) déstinés à effectuer une tache donnée
  - Exemple: un programme de gestion de comptes bancaires
- Contrainte: être compréhensible par la machine

Langage machine

- Langage **binaire**: l'information est exprimée et manipulée sous forme d'une suite de bits
- Un **bit** (*binary digit*) = 0 ou 1 (2 états électriques)
- Une combinaison de 8 bits= 1 **Octet** ➔ $2^8 = 256$ possibilités qui permettent de coder tous les caractères alphabétiques, numériques, et symboles tels que ?,*,&, …
  - Le code **ASCII** (*American Standard Code for Information Interchange*) donne les correspondances entre les caractères alphanumériques et leurs représentation binaire, Ex. A= 01000001, ?=00111111
- Les opérations logiques et arithmétiques de base (addition, multiplication, …) sont effectuées en binaire

L'assembleur

- Problème: le langage machine est difficile à comprendre par l'humain

- Idée: trouver un langage compréhensible par l'homme qui sera ensuite converti en langage machine
  - **Assembleur** (1er langage): exprimer les instructions élémentaires de façon symbolique

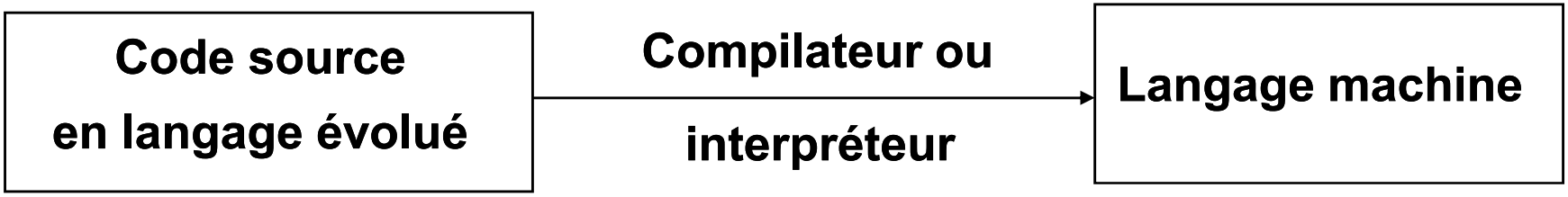
ADD A, 4
LOAD B —traducteur→ langage machine
MOV A, OUT
...

  - +: déjà plus accessible que le langage machine
  - -: dépend du type de la machine (n'est pas ***portable***)
  - -: pas assez efficace pour développer des applications complexes

$\Rightarrow$ **Apparition des langages évolués**

Langages haut niveau

- Intérêts multiples pour le haut niveau:
  - proche du langage humain «anglais» (compréhensible)
  - permet une plus grande portabilité (indépendant du matériel)
  - Manipulation de données et d'expressions complexes (réels, objets, a*b/c, …)
- Nécessité d'un traducteur (compilateur/interpréteur), exécution plus ou moins lente selon le traducteur



Compilateur/interpréteur

- Compilateur: traduire le programme entier une fois pour toutes

  - + plus rapide à l'exécution
  - + sécurité du code source
  - - il faut recompiler à chaque modification

- Interpréteur: traduire au fur et à mesure les instructions du programme à chaque exécution

  - + exécution instantanée appréciable pour les débutants
  - - exécution lente par rapport à la compilation

Langages de programmation:

- Deux types de langages:
  - Langages procéduraux
  - Langages orientés objets
- Exemples de langages:
  - **Fortran, Cobol, Pascal, C, …**
  - **C++, Java, …**
- Choix d'un langage?

Etapes de réalisation d'un programme

Enoncé du problème

↓ *Spécification*

Cahier des charges

↓ *Analyse*

Algorithme

↓ *Traduction en langage*

Programme source

↓ *Compilation*

Programme exécutable

↓ *Tests et modifications*

Version finale et résultats

La réalisation de programmes passe par l'écriture d'algorithmes

$\Rightarrow$ D'où l'intérêt de l'**Algorithmique**

Algorithmique

- Le terme **algorithme** vient du nom du mathématicien arabe **Al-Khawarizmi** (820 après J.C.)
- Un algorithme est une description complète et détaillée des actions à effectuer et de leur séquencement pour arriver à un résultat donné
  - Intérêt: séparation analyse/codage (pas de préoccupation de syntaxe)
  - Qualités: **exact** (fournit le résultat souhaité), **efficace** (temps d'exécution, mémoire occupée), **clair** (compréhensible), **général** (traite le plus grand nombre de cas possibles), …
- **L'algorithmique** désigne aussi la discipline qui étudie les algorithmes et leurs applications en Informatique
- Une bonne connaissance de l'algorithmique permet d'écrire des algorithmes exacts et efficaces

Représentation d'un algorithme

Historiquement, deux façons pour représenter un algorithme:

- **L'Organigramme:** représentation graphique avec des symboles (carrés, losanges, etc.)
  - offre une vue d'ensemble de l'algorithme
  - représentation quasiment abandonnée aujourd'hui

- **Le pseudo-code:** représentation textuelle avec une série de conventions ressemblant à un langage de programmation (sans les problèmes de syntaxe)
  - plus pratique pour écrire un algorithme
  - représentation largement utilisée

Algorithmique

Notions et instructions de base

Structure d'un algorithme

A
L
G
O
R
I
T
H
M
E

Algo nom_algorithme

Variables identifiants : types ;

DEBUT

Instruction1 ;
Instruction2 ;
…..
InstructionN ;

FIN

En-tête
Pseudo code

Corps du pseudo code
Traitement(s) : Bloc d'instructions

Notion de variable

- Dans les langages de programmation une **variable** sert à stocker la valeur d'une donnée

- Une variable désigne en fait un emplacement mémoire dont le contenu peut changer au cours d'un programme (d'où le nom variable)

- Règle : Les variables doivent être **déclarées** avant d'être utilisées, elle doivent être caractérisées par :
  - un nom (**Identificateur**)
  - un **type** (entier, réel, caractère, chaîne de caractères, …)

Choix des identificateurs (1)

Le choix des noms de variables est soumis à quelques règles qui varient selon le langage, mais en général:

- Un nom doit commencer par une lettre alphabétique
  exemple valide: A1 **exemple invalide: 1A**
- doit être constitué uniquement de lettres, de chiffres et du soulignement _ (Eviter les caractères de ponctuation et les espaces)
  valides: LGI2007, LGI_2007 **invalides: LGI 2005, LGI-2007, LGI;2007**
- doit être différent des mots réservés du langage (par exemple en C:
  int, float, else, switch, case, default, for, main, return, …)
- La longueur du nom doit être inférieure à la taille maximale spécifiée par le langage utilisé

Choix des identificateurs (2)

Conseil: pour la lisibilité du code choisir des noms significatifs qui décrivent les données manipulées

exemples: TotalVentes2004, Prix_TTC, Prix_HT

Remarque: en pseudo-code algorithmique, on va respecter les règles citées, même si on est libre dans la syntaxe.

N.B : TENIR COMPTE DE LA CASSE (Majuscule n'est pas minuscule).

Exemple: n est différent de N

Types des variables

Le type d'une variable détermine l'ensemble des valeurs qu'elle peut prendre, les types offerts par la plus part des langages sont:

- Type numérique (entier ou réel)
  - **Byte** (codé sur 1octet): de 0 à 255
  - **Entier court** (codé sur 2 octets) : -32 768 à 32 767
  - **Entier long** (codé sur 4 ou 8 octets)
  - **Réel simple précision** (codé sur 4 octets)
  - **Réel double précision** (codé sur 8 octets)
- Type logique ou booléen: deux valeurs VRAI ou FAUX
- Type caractère: lettres majuscules, minuscules, chiffres, symboles, …

  exemples: 'A', 'a', '1', '?', …
- Type chaîne de caractère: toute suite de caractères,

  exemples: " Nom, Prénom", "code postale: 1000", …

Déclaration des variables

- **Rappel :** toute variable utilisée dans un programme doit avoir fait l'objet d'une déclaration préalable
- En pseudo-code, on va adopter la forme suivante pour la déclaration de variables

Variables liste d'identificateurs : type ;

- Exemple:

```
Variables   i, j, k : entier ;
            x, y : réel ;
            OK: booléen ;
            ch1, ch2 : chaîne de caractères ;
```

- Remarque: pour le type numérique on va se limiter aux entiers et réels sans considérer les sous types

Notion d'instruction

Une instruction décrit une action à exécuter donc un traitement du processeur. Et un processus représente un programme en cours d'exécution.

Les instructions se terminent par (**;**) **juste pour développer les habitudes en langage C que nous allons pratiquer, mais cela n'est point une obligation en algorithmique.**

Dans l'algorithme (voire le programme), elles s'exécuteront dans l'ordre d'écriture.

C'est ce principe qu'il sied d'appeler **séquence des actions.**

L'instruction d'affectation

- **l'affectation** consiste à attribuer une valeur à une variable
  (ça consiste en fait à remplir où à modifier le contenu d'une zone mémoire)

- En pseudo-code, l'affectation se note avec le signe ←

  Var← e ; attribue la valeur de e à la variable Var

  - **e** peut être une valeur, une autre variable ou une expression
  - **Var** et **e** doivent être de même type ou de types compatibles
  - l'affectation ne modifie que ce qui est à gauche de la flèche

- **Ex valides:** **i ←1 ;** **j ←i ;** **k ←i+j ;**
  x ←10.3 **OK ←FAUX** **ch1 ←"SMI" ;**
  ch2 ←ch1 ; **x ←4 ;** **x ←j ;**

  (voir la déclaration des variables dans le transparent précédent)

- **non valides:** **i ←10.3 ;** **OK ←"SMI" ;** **j ←x ;**

Quelques remarques

- Beaucoup de langages de programmation (C/C++, Java, …) utilisent le signe égal = pour l'affectation ←. Attention aux confusions:
  - l'affectation n'est pas commutative : A=B est différente de B=A
  - l'affectation est différente d'une équation mathématique :
    - A=A+1 a un sens en langages de programmation
    - A+1=2 n'est pas possible en langages de programmation et n'est pas équivalente à A=1
- Certains langages donnent des valeurs par défaut aux variables déclarées. Pour éviter tout problème il est préférable **d'initialiser les variables** déclarées

Exercices simples sur l'affectation (1)

Donnez les valeurs des variables A, B et C après exécution des instructions suivantes ?

Algo firstaffectation

Variables A, B, C : **Entier ;**
Début
A ← 3 ;
B ← 7 ;
A ← B ;
B ← A+5 ;
C ← A + B ;
C ← B – A ;
Fin

Exercices simples sur l'affectation (2)

Donnez les valeurs des variables A et B après exécution des instructions suivantes ?

Algo secondaffectation

Variables A, B : **Entier ;**
Début
A ← 1 ;
B ← 2 ;
A ← B ;
B ← A ;
Fin

Les deux dernières instructions permettent-elles d'échanger les valeurs de A et B ?

Exercices simples sur l'affectation (3)

(1) Ecrire un algorithme permettant d'échanger les valeurs de deux variables A et B.

(2) Ecrire un algorithme permettant de déterminer le maximum parmi trois variables.

Expressions et opérateurs

- Une **expression** peut être une valeur, une variable ou une opération constituée de variables reliées par des **opérateurs**

  exemples: 1, b, a*2, a+ 3*b-c, …

- L'évaluation de l'expression fournit une valeur unique qui est le résultat de l'opération

- Les **opérateurs** dépendent du type de l'opération, ils peuvent être :

  - **des opérateurs arithmétiques: +, -, *, /, % (modulo), div, ^ (puissance)**
  - **des opérateurs logiques: NON, OU, ET**
  - **des opérateurs relationnels: =, ≠ ou encore <>, <, >, <=, >=**
  - **des opérateurs sur les chaînes: & (concaténation)**

- Une expression est évaluée de gauche à droite mais en tenant compte de **priorités**

Priorité des opérateurs

- Pour les opérateurs arithmétiques donnés ci-dessus, l'ordre de priorité est le suivant (du plus prioritaire au moins prioritaire) :
  - **^** : (élévation à la puissance)
  - ***** , **/** (multiplication, division)
  - **%** (modulo)
  - **+** , **-** (addition, soustraction)

    exemple: 2 + 3 * 7 vaut 23

- En cas de besoin (ou de doute), on utilise les parenthèses pour indiquer les opérations à effectuer en priorité

  exemple: (2 + 3) * 7 vaut 35

Les instructions d'entrées-sorties: lecture et écriture (1)

- Les instructions de lecture et d'écriture permettent à la machine de communiquer avec l'utilisateur
- **La lecture** permet d'entrer des donnés à partir du clavier
  - En pseudo-code, on note: **lire (var)** ;

    la machine met la valeur entrée au clavier dans la zone mémoire nommée var
  - Remarque: Le programme s'arrête lorsqu'il rencontre une instruction ***Lire*** et ne se poursuit qu'après la frappe d'une valeur au clavier et de la touche Entrée

Les instructions d'entrées-sorties: lecture et écriture (2)

- **L'écriture** permet d'afficher des résultats à l'écran (ou de les écrire dans un fichier)

  - En pseudo-code, on note: **écrire (var)** ;

    la machine affiche le contenu de la zone mémoire **var**

  - Conseil: Avant de lire une variable, il est fortement conseillé d'écrire des messages à l'écran, afin de prévenir l'utilisateur de ce qu'il doit frapper.

Exemple (lecture et écriture)

Ecrire un algorithme qui demande un nombre entier à l'utilisateur, puis qui calcule et affiche le double de ce nombre

Algorithme Calcul_double

variables A, B : **entier ;**

Début

écrire("entrer le nombre ") ;

lire(A) ;

B ← 2*A ;

écrire("le double de ", A, "est :", B) ;

Fin

Exercice (lecture et écriture)

Ecrire un algorithme qui vous demande de saisir votre nom puis votre prénom et qui affiche ensuite votre nom complet

Algorithme ***AffichageNomComplet***

variables Nom, Prenom, Nom_Complet : **chaîne de caractères ;**

Début

écrire("entrez votre nom") ;

lire(Nom) ;

écrire("entrez votre prénom") ;

lire(Prenom) ;

Nom_Complet ← Nom & Prenom ;

écrire("Votre nom complet est : ", Nom_Complet) ;

Fin

TESTS

Structures conditionnelles

Tests : instructions conditionnelles (1)

- Les instructions conditionnelles servent à n'exécuter une instruction ou une séquence d'instructions que si une condition est vérifiée
- On utilisera la forme suivante: **Si** condition **alors**

  instruction ou suite d'instructions1 ;

  Sinon

  instruction ou suite d'instructions2 ;

  Finsi

  - la condition ne peut être que vraie ou fausse
  - si la condition est vraie, se sont les instructions1 qui seront exécutées
  - si la condition est fausse, se sont les instructions2 qui seront exécutées
  - la condition peut être une condition simple ou une condition composée de plusieurs conditions

Tests: instructions conditionnelles (2)

- La partie Sinon n'est pas obligatoire, quand elle n'existe pas et que la condition est fausse, aucun traitement n'est réalisé
  - On utilisera dans ce cas la forme simplifiée suivante:

Si condition **alors**

instruction ou suite d'instructions;

Finsi

Exemple (Si...Alors...Sinon)

Algorithme ***AffichageValeurAbsolue*** (version1)
Variable x : **réel** ;
Début
    Ecrire (" Entrez un réel : “) ;
    Lire (x) ;
    Si (x < 0) **alors**
        Ecrire ("la valeur absolue de ", x, "est:",-x) ;
    Sinon
        Ecrire ("la valeur absolue de ", x, "est:",x) ;
    Finsi
Fin

Exemple (Si...Alors)

```
Algorithme AffichageValeurAbsolue (version2)
Variable x,y : réel ;
Début
        Ecrire (" Entrez un réel : “) ;
        Lire (x) ;
         y← x ;
        Si (x < 0) alors
                y ← -x ;
        Finsi
        Ecrire ("la valeur absolue de ", x, "est:",y) ;
Fin
```

Exercice (tests)

Ecrire un algorithme qui demande un nombre entier à l'utilisateur, puis qui teste et affiche s'il est divisible par 3

```
Algorithme Divsible_par3
Variable n : entier  ;
Début
        Ecrire (" Entrez un entier : ") ;
        Lire (n);
        Si (n%3=0) alors
                Ecrire (n," est divisible par 3") ;
        Sinon
                Ecrire (n," n'est pas divisible par 3") ;
        Finsi
Fin
```

Conditions composées

- Une condition composée est une condition formée de plusieurs conditions simples reliées par des opérateurs logiques:

  ET, OU, OU exclusif (XOR) et NON

- Exemples :
  - x compris entre 2 et 6 : (x > 2) ET (x < 6)
  - n divisible par 3 ou par 2 : (n%3=0) OU (n%2=0)
  - deux valeurs et deux seulement sont identiques parmi a, b et c : (a=b) XOR (a=c) XOR (b=c)

- L'évaluation d'une condition composée se fait selon des règles présentées généralement dans ce qu'on appelle tables de vérité

Tables de vérité (Base : algèbre de Bool)

C1	C2	**C1 ET C2**
VRAI	VRAI	**VRAI**
VRAI	FAUX	**FAUX**
FAUX	VRAI	**FAUX**
FAUX	FAUX	**FAUX**

C1	C2	**C1 OU C2**
VRAI	VRAI	**VRAI**
VRAI	FAUX	**VRAI**
FAUX	VRAI	**VRAI**
FAUX	FAUX	**FAUX**

C1	C2	**C1 XOR C2**
VRAI	VRAI	**FAUX**
VRAI	FAUX	**VRAI**
FAUX	VRAI	**VRAI**
FAUX	FAUX	**FAUX**

C1	**NON C1**
VRAI	**FAUX**
FAUX	**VRAI**

Tests imbriqués

- Les tests peuvent avoir un degré quelconque d'imbrications

```
Si condition1 alors
        Si condition2 alors
                instructionsA ;
        Sinon
                instructionsB ;
         Finsi
Sinon
        Si condition3 alors
                instructionsC ;
        Finsi
Finsi
```

Tests imbriqués: exemple (version 1)

```
Variable n : entier ;
Début
        Ecrire ("entrez un nombre : ") ;
        Lire (n) ;
        Si (n < 0) alors
                Ecrire ("Ce nombre est négatif ");
        Sinon
                Si (n = 0) alors
                        Ecrire ("Ce nombre est nul") ;
                Sinon
                        Ecrire ("Ce nombre est positif ") ;
                Finsi
        Finsi
Fin
```

Tests imbriqués: exemple (version 2)

```
Variable n : entier ;
 Début
        Ecrire ("entrez un nombre : ") ;
        Lire (n) ;
        Si (n < 0) alors    Ecrire ("Ce nombre est négatif") ;
        Finsi
        Si (n = 0) alors    Ecrire ("Ce nombre est nul") ;
        Finsi
        Si (n > 0) alors    Ecrire ("Ce nombre est positif") ;
        Finsi
 Fin
```

Remarque : dans la version 2 on fait trois tests systématiquement alors que dans la version 1, si le nombre est négatif on ne fait qu'un seul test

Conseil : utiliser les tests imbriqués pour limiter le nombre de tests et placer d'abord les conditions les plus probables

Tests imbriqués: exercice

Le prix de photocopies dans une reprographie varie selon le nombre demandé:

50 F la copie pour un nombre de copies inférieur à 10,

40 F pour un nombre compris entre 10 et 20 et 30 F au-delà.

Ecrivez un algorithme qui demande à l'utilisateur le nombre de photocopies effectuées, qui calcule et affiche le prix à payer

Tests imbriqués : corrigé de l'exercice

```
Variables copies : entier ;
          prix : réel ;
Début
    Ecrire ("Nombre de photocopies : ") ;
    Lire (copies) ;
    Si (copies < 10) Alors
        prix ← copies*50  ;
    Sinon Si (copies >= 10 ET copies <= 20) Alors
              prix ← copies*40 ;
          Sinon
              prix ← copies*30 ;
          Finsi
    Finsi
    Ecrire (“Le prix à payer est : ”, prix) ;
Fin
```

La structure SELON (Suivant....CAS)

- **Selon** choisit le traitement en fonction de la valeur d'une variable ou d'une expression.
- remplace avantageusement une structure **Si (choix multiples)**.
- Syntaxe

Selon (*expression*) **Faire**

CAS valeur1 : traitement1 ;
CAS valeur2 : traitement2 ;
…
CAS valeurN : traitementN ;

Sinon *traitement ;*
FinSelon

La structure SELON : REMARQUES

- expression est un type scalaire
  - *entier, caractère, booléen ou énuméré*
- expression est évaluée, puis sa valeur est successivement comparée à chacune des valeurs (cas).
- Si correspondance, arrêt comparaison et traitement associé exécuté.
- Si aucune correspondance le traitement associé au ***Sinon***, s'il existe, est exécuté

La structure SELON : EXEMPLE

```
...
Ecrire ("Donner le numéro du jour") ;
Lire (jour) ;
Selon (jour) Faire
        cas 1 : Ecrire("LUNDI") ;
        cas 2 : Ecrire("MARDI") ;
        cas 3 : Ecrire("MERCREDI") ;
        cas 4 : Ecrire("JEUDI") ;
        …
        cas 7: Ecrire("DIMANCHE") ;
        Sinon Ecrire("Un numéro de jour doit être compris entre 1 et 7") ;
FinSelon
...
```

La structure SELON : EXERCICE

Ecrire un algorithme qui réalise, avec deux entiers, les opérations d'une calculatrice simple.

- Addition
- Soustraction
- Multiplication
- Division

BOUCLES

Structures itératives

Instructions itératives: les boucles

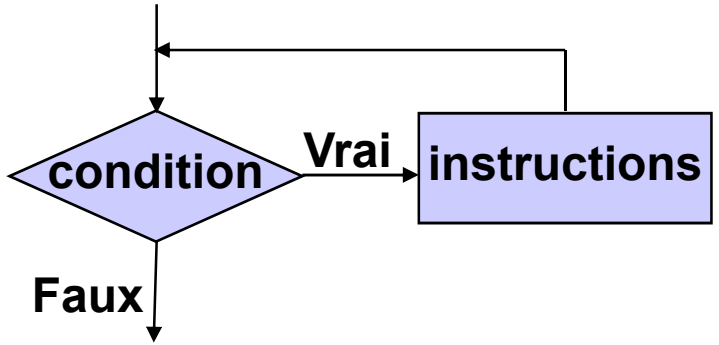
- Les boucles servent à répéter l'exécution d'un groupe d'instructions un certain nombre de fois
- On distingue trois sortes de boucles en langages de programmation :
  - Les **boucles tant que** : on y répète des instructions tant qu'une certaine condition est réalisée
  - Les **boucles jusqu'à** : on y répète des instructions jusqu'à ce qu'une certaine condition soit réalisée
  - Les **boucles pour** ou avec compteur : on y répète des instructions en faisant évoluer un compteur (variable particulière) entre une valeur initiale et une valeur finale (sentinelle)

Les boucles Tant que

TantQue (condition) **Faire**

instruction(s) ;

FinTantQue



- la condition (dite condition de contrôle de la boucle) est évaluée avant chaque itération
- si la condition est vraie, on exécute les instructions (corps de la boucle), puis, on retourne tester la condition. Si elle est encore vraie, on répète l'exécution, …
- si la condition est fausse, on sort de la boucle et on exécute l'instruction qui est après FinTantQue

Les boucles Tant que : remarques

- Le nombre d'itérations dans une boucle TantQue n'est pas connu au moment d'entrée dans la boucle. Il dépend de l'évolution de la valeur de condition

- Une des instructions du corps de la boucle doit absolument changer la valeur de condition de vrai à faux (après un certain nombre d'itérations), sinon le programme tourne indéfiniment

$\Rightarrow$ **Attention aux boucles infinies**

- Exemple de boucle infinie :

```
i ← 2 ;
TantQue   (i > 0) Faire
    i ←  i+1 ;  (attention aux erreurs de frappe : + au lieu de -)
FinTantQue
```

Boucle Tant que : exemple1

Contrôle de saisie d'une lettre majuscule jusqu'à ce que le caractère entré soit valable

```
Algo saisieMajuscule
Variable C : caractère ;
Debut
        Ecrire (" Entrez une lettre majuscule ") ;
        Lire (C) ;
        TantQue (C < 'A' ou C > 'Z') Faire
                Ecrire ("Saisie erronée. Recommencez") ;
                Lire (C) ;
        FinTantQue
        Ecrire ("Saisie valable") ;
Fin
```

Boucle Tant que : exemple2

Un algorithme qui détermine le premier nombre entier N tel que la somme de 1 à N dépasse strictement 100

version 1

```
Variables som, i : entier ;
Debut
        i ← 0 ;
        som ← 0 ;
        TantQue (som <=100)  Faire
                i ←  i+1 ;
                som ←  som + i ;
        FinTantQue
        Ecrire (" La valeur cherchée est N=  ", i) ;
Fin
```

Boucle Tant que : exemple2 (version2)

Un algorithme qui détermine le premier nombre entier N tel que la somme de 1 à N dépasse strictement 100

version 2: attention à l'ordre des instructions et aux valeurs initiales

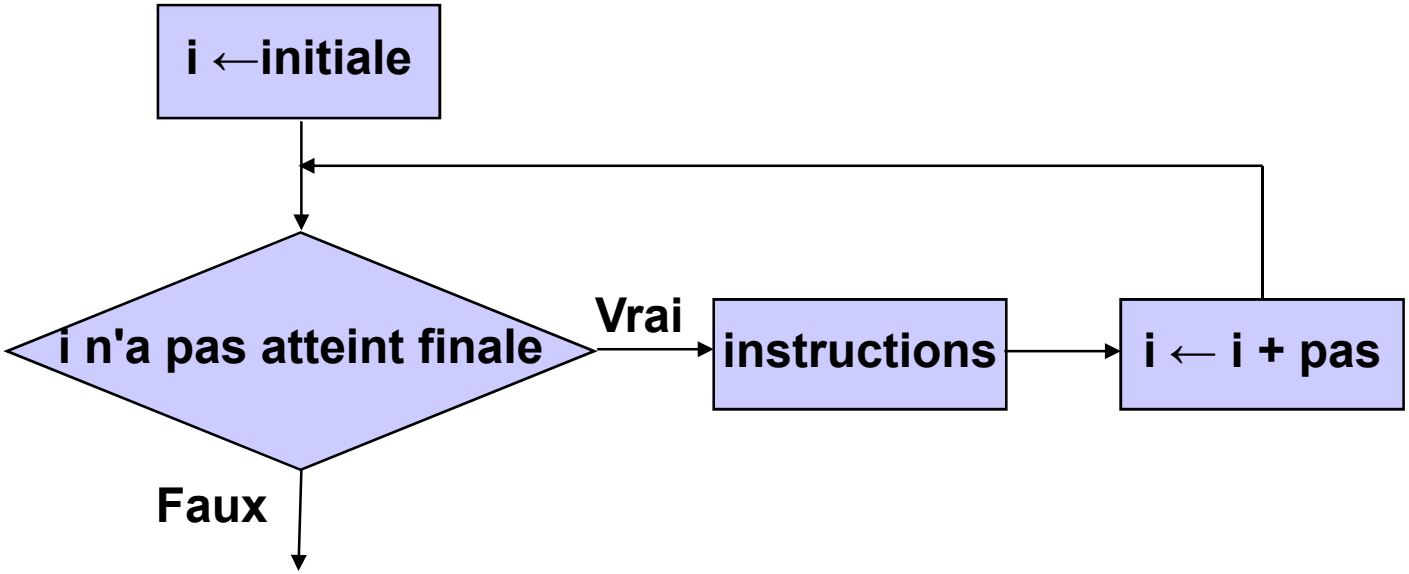
```
Variables som, i : entier ;
Debut
        som ← 0 ;
        i ← 1 ;
        TantQue (som <=100)  Faire
                som ← som + i ;
                i ←  i + 1 ;
        FinTantQue
        Ecrire (" La valeur cherchée est N=  ", i-1) ;
Fin
```

Les boucles Pour

Pour compteur **allant de** initiale **à** finale par **pas** valeur du pas **Faire**

instruction(s) ;

FinPour



Les boucles Pour

- Remarque : le nombre d'itérations dans une boucle Pour est connu avant le début de la boucle

- **Compteur** est une variable de type entier (ou caractère). Elle doit être déclarée

- **Pas** est un entier qui peut être positif ou négatif. **Pas** peut ne pas être mentionné, car par défaut sa valeur est égal à 1. Dans ce cas, le nombre d'itérations est égal à finale - initiale+ 1

- **Initiale et finale** peuvent être des valeurs, des variables définies avant le début de la boucle ou des expressions de même type que compteur

Déroulement des boucles Pour

1) La valeur initiale est affectée à la variable compteur

2) On compare la valeur du compteur et la valeur de finale :

   a) Si la valeur du compteur est > à la valeur finale dans le cas d'un pas positif (ou si compteur est < à finale pour un pas négatif), on sort de la boucle et on continue avec l'instruction qui suit FinPour

   b) Si compteur est <= à finale dans le cas d'un pas positif (ou si compteur est >= à finale pour un pas négatif), instructions seront exécutées

      i. Ensuite, la valeur de compteur est incrémentée de la valeur du pas si pas est positif (ou décrémenté si pas est négatif)

      ii. On recommence l'étape 2 : La comparaison entre compteur et finale est de nouveau effectuée, et ainsi de suite …

Boucle Pour : exemple1

Calcul de x à la puissance n où x est un réel non nul et n un entier positif ou nul

```
Variables x, puiss : réel ;
                  n, i : entier ;
Debut
      Ecrire (" Entrez la valeur de x ") ;
      Lire (x) ;
      Ecrire (" Entrez la valeur de n ") ;
      Lire (n) ;

      puiss ← 1 ;
      Pour i allant de 1 à n Faire
            puiss← puiss*x  ;
      FinPour
      Ecrire (x, " à la puissance  ", n, "  est égal à  ", puiss) ;
Fin
```

Boucle Pour : exemple1 (version 2)

Calcul de x à la puissance n où x est un réel non nul et n un entier positif ou nul (**version 2 avec un pas négatif**)

```
Variables x, puiss : réel ;
                  n, i : entier ;
Debut
      Ecrire (" Entrez respectivement les valeurs de x et n ") ;
      Lire (x, n) ;
      puiss ← 1 ;
      Pour i allant de n à 1 par pas -1 Faire
            puiss← puiss*x ;
      FinPour
      Ecrire (x, " à la puissance  ", n, "  est égal à  ", puiss) ;
Fin
```

Boucle Pour : remarque

- Il faut éviter de modifier la valeur du compteur (et de finale) à l'intérieur de la boucle. En effet, une telle action :
  - perturbe le nombre d'itérations prévu par la boucle Pour
  - rend difficile la lecture de l'algorithme
  - présente le risque d'aboutir à une boucle infinie

Exemple : **Pour** i **allant de** 1 **à** 5 **Faire**
i ← i -1 ;
écrire(" i = ", i) ;
FinPour

Lien entre Pour et TantQue

La boucle Pour est un cas particulier de Tant Que (cas où le nombre d'itérations est connu et fixé) . Tout ce qu'on peut écrire avec Pour peut être remplacé avec TantQue (la réciproque est fausse)

Pour compteur **allant de** initiale **à** finale par **pas** valeur du pas **Faire**

instruction(s) ;

FinPour

peut être remplacé par :

(cas d'un pas positif)

```
compteur ← initiale ;
TantQue   (compteur <= finale) Faire
        instruction(s) ;
        compteur ←  compteur+pas ;
FinTantQue
```

Lien entre Pour et TantQue: exemple

Calcul de x à la puissance n où x est un réel non nul et n un entier positif ou nul (**version avec TantQue**)

```
Variables x, puiss : réel ;
                  n, i : entier ;
Debut
        Ecrire (" Entrez la valeur de x ") ;
        Lire (x) ;
        Ecrire (" Entrez la valeur de n ") ;
        Lire (n) ;

        puiss ← 1 ;
        i ← 1 ;
        TantQue (i<=n) Faire
                  puiss← puiss*x ;
                  i ← i+1 ;
        FinTantQue
        Ecrire (x, " à la puissance  ", n, "  est égal à  ", puiss) ;
Fin
```

Boucles imbriquées

- Les instructions d'une boucle peuvent être des instructions itératives. Dans ce cas, on aboutit à des **boucles imbriquées**

- **Exemple:**

```
Pour i allant de 1 à 5 Faire
        Pour j allant de 1 à i Faire
          Ecrire("O") ;
        FinPour
      Ecrire("X")  ;
FinPour
```

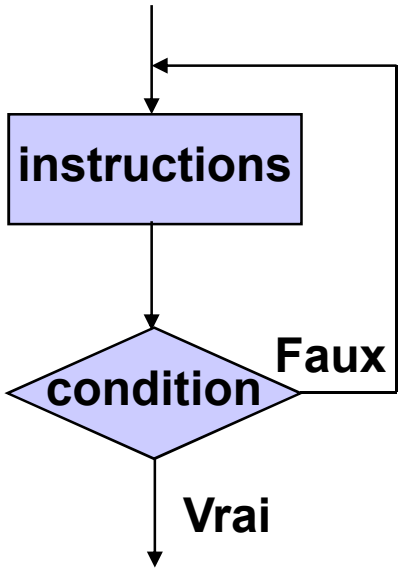
Exécution

Les boucles Répéter ... jusqu'à ...

Répéter

instruction(s) ;

Jusqu'à (condition) ;



- Condition est évaluée après chaque itération
- les instructions entre *Répéter* et *jusqu'à* sont exécutées au moins une fois et leur exécution est répétée jusqu'à ce que condition soit vraie (tant qu'elle est fausse)

Boucle Répéter jusqu'à : exemple

Un algorithme qui détermine le premier nombre entier N tel que la somme de 1 à N dépasse strictement 100 **(version avec répéter jusqu'à)**

```
Variables som, i : entier ;
Debut
        som ← 0 ;
        i ← 0 ;
        Répéter
                i ← i+1 ;
                som ← som+i ;
        Jusqu'à ( som > 100) ;
        Ecrire (" La valeur cherchée est N=  ", i) ;
Fin
```

Boucle Répéter jusqu'à : exemple

Contrôle de saisie d'une lettre majuscule jusqu'à ce que le caractère entré soit valable (**déjà vu avec TantQue**)

```
Algo saisieMajuscule
Variable C : caractère ;
Debut

        Répéter
                Ecrire ("Entrez une lettre majuscule") ;
                Lire (C) ;
                Si (C < 'A' ou C > 'Z') Alors Ecrire ("Saisie erronée");
        Jusqu'à (C >= 'A' et C <= 'Z') ;
         Ecrire ("Saisie valide") ;
Fin
```

Choix d'un type de boucle

- Si on peut déterminer le nombre d'itérations avant l'exécution de la boucle, il est plus naturel d'utiliser *la boucle Pour*
- S'il n'est pas possible de connaître le nombre d'itérations avant l'exécution de la boucle, on fera appel à l'une des *boucles TantQue ou répéter jusqu'à*
- Pour le choix entre *TantQue* et *jusqu'à :*
  - Si on doit tester la condition de contrôle avant de commencer les instructions de la boucle, on utilisera *TantQue*
  - Si la valeur de la condition de contrôle dépend d'une première exécution des instructions de la boucle, on utilisera *répéter jusqu'à*

Instructions de rupture

ARRETER et CONTINUER

Permettent de raffiner voire optimiser un algorithme. Autrement dit, aller directement vers l'essentiel pour ne pas trop fatiguer le processeur.

L'instruction ARRETER

Elle permet un arrêt des instructions et la sortie définitive de la boucle

```
Algorithme   NombrePremier
Variable     i, n : entier ;
                A : booléen ;
Debut    A ← VRAI ;
         Répeter
           Ecrire (" Saisir un entier positif " ) ; Lire(n);
         jusqu'à (n>0) ;
         Pour i allant de 1 à n Faire
           Si (n mod i = 0 et (i<>1 et i<>n)) Alors
              A ← FAUX ;
              Arrêter ;
            FinSi
         FinPour
 Fin
```

L'instruction CONTINUER

Elle permet un arrêt des instructions et la sortie prématurée de la boucle pour passer au tour suivant (branchement direct à l'itération suivante de la boucle).

```
Algorithme   EntierImpair
Variable    i : entier ;
Debut
    Pour i allant de 1 à 10 Faire
        Ecrire (" ETAPE " , i) ;
          Si ( i mod 2 = 0) Alors Continuer ;
          FinSi
        Ecrire ( i ) ;
    FinPour
Fin
```

Algorithme modulaire

FONCTIONS ET PROCEDURES

Fonctions et procédures

- Certains problèmes conduisent à des programmes longs, difficiles à écrire et à comprendre. On les découpe en des parties appelées **sous-programmes** ou **modules**
- Les **fonctions** et les **procédures** sont des modules (groupe d'instructions) indépendants désignés par un nom. Elles ont plusieurs **intérêts** :
  - permettent de **"factoriser" les programmes**, càd de mettre en commun les parties qui se répètent
  - permettent une **structuration** et une **meilleure lisibilité** des programmes
  - **facilitent la maintenance** du code (il suffit de modifier une seule fois)
  - ces procédures et fonctions peuvent éventuellement être **réutilisées** dans d'autres programmes

Fonctions

- Le **rôle** d'une fonction en programmation est similaire à celui d'une fonction en mathématique : elle **retourne un résultat à partir des valeurs des paramètres**
- Une fonction s'écrit en dehors du programme principal sous la forme :

Fonction nom_fonction (paramètres et leurs types) : type_fonction

    Instructions constituant le corps de la fonction

    retourne …

FinFonction

- Pour le choix d'un nom de fonction il faut respecter les mêmes règles que celles pour les noms de variables
- type_fonction est le type du résultat retourné
- L'instruction **retourne** sert à retourner la valeur du résultat

Fonctions : exemples

- La fonction SommeCarre suivante calcule la somme des carrées de deux réels x et y :

```
Fonction SommeCarre (x : réel, y: réel ) : réel
        variable z : réel ;
        z ←x^2+y^2 ;
        retourne (z) ;
FinFonction
```

- La fonction Pair suivante détermine si un nombre est pair :

```
Fonction  Pair (n : entier ) : booléen
        retourne (n%2=0) ;
FinFonction
```

Utilisation des fonctions

- L'utilisation d'une fonction se fera par simple écriture de son nom dans le programme principale. Le résultat étant une valeur, devra être affecté ou être utilisé dans une expression, une écriture, ...

- **Exepmle :** **Algorithme exepmleAppelFonction**

```
variables     z : réel,  b : booléen ;
Début
    b ←Pair(3) ;
    z ←5*SommeCarre(7,2)+1 ;
    écrire("SommeCarre(3,5)= ", SommeCarre(3,5));
Fin
```

- Lors de l'appel Pair(3) le **paramètre formel** n est remplacé par le **paramètre effectif** 3

Procèdures

- Dans certains cas, on peut avoir besoin de répéter une tache dans plusieurs endroits du programme, mais que dans cette tache on ne calcule pas de résultats ou qu'on calcule plusieurs résultats à la fois
- Dans ces cas on ne peut pas utiliser une fonction, on utilise une **procédure**
- Une **procédure** est un sous-programme semblable à une fonction mais qui **ne retourne rien**
- Une procédure s'écrit en dehors du programme principal sous la forme :

  Procédure nom_procédure (paramètres et leurs types)

  Instructions constituant le corps de la procédure

  FinProcédure
- Remarque : une procédure peut ne pas avoir de paramètres

Appel d'une procédure

- L'appel d'une procédure, se fait dans le programme principale ou dans une autre procédure par une instruction indiquant le nom de la procédure :

```
Procédure exemple_proc (…)
        …
FinProcédure

Algorithme exepmleAppelProcédure
Début
        exemple_proc (…) ;
        …
Fin
```

- Remarque : contrairement à l'appel d'une fonction, on ne peut pas affecter la procédure appelée ou l'utiliser dans une expression. L'appel d'une procédure est une instruction autonome

Paramètres d'une procédure

- Les paramètres servent à échanger des données entre le programme principale (ou la procédure appelante) et la procédure appelée
- Les paramètres placés dans la déclaration d'une procédure sont appelés **paramètres formels**. Ces paramètres peuvent prendre toutes les valeurs possibles mais ils sont abstraits (n'existent pas réellement)
- Les paramètres placés dans l'appel d'une procédure sont appelés **paramètres effectifs**. ils contiennent les valeurs pour effectuer le traitement
- Le nombre de paramètres effectifs doit être égal au nombre de paramètres formels. L'ordre et le type des paramètres doivent correspondre

Transmission des paramètres

Il existe deux modes de transmission de paramètres dans les langages de programmation :

- **La transmission par valeur** : les valeurs des paramètres effectifs sont affectées aux paramètres formels correspondants au moment de l'appel de la procédure. Dans ce mode le paramètre effectif ne subit aucune modification
- **La transmission par adresse (ou par référence)** : les adresses des paramètres effectifs sont transmises à la procédure appelante. Dans ce mode, le paramètre effectif subit les mêmes modifications que le paramètre formel lors de l'exécution de la procédure
  - **Remarque :** le paramètre effectif doit être une variable (et non une valeur) lorsqu'il s'agit d'une transmission par adresse
- En pseudo-code, on va préciser explicitement le mode de transmission dans la déclaration de la procédure

Transmission des paramètres : exemples

Procédure incrementer1 (**x** : entier **par valeur, y** : entier **par adresse**)

```
        x ← x+1 ;
        y ← y+1 ;
FinProcédure

Algorithme Test_incrementer1
variables     n, m : entier  ;
Début
    n ← 3 ;
    m ← 3 ;
    incrementer1(n, m) ;
    écrire (" n= ", n, " et m= ", m) ;
Fin
```

résultat : n=3 et m=4

Remarque : l'instruction x ← x+1 n'a pas de sens avec un passage par valeur

Transmission par valeur, par adresse : exemples

Procédure qui calcule la somme et le produit de deux entiers :

Procédure SommeProduit (x,y: entier **par valeur,** som, prod : entier **par adresse**)

som ← x+y ;

prod ← x*y ;

FinProcédure

Procédure qui échange le contenu de deux variabales :

Procédure Echange (**x** : réel **par adresse,** **y** : réel **par adresse**)

variables z : réel ;

z ← x ;

x ← y ;

y ← z ;

FinProcédure

Variables locales et globales (1)

- On peut manipuler 2 types de variables dans un module (procédure ou fonction) : des **variables locales** et des **variables globales**. Elles se distinguent par ce qu'on appelle leur **portée** (leur "champ de définition", leur "durée de vie")

- Une **variable locale** n'est connue qu'à l'intérieur du module ou elle a été définie. Elle est créée à l'appel du module et détruite à la fin de son exécution

- Une **variable globale** est connue par l'ensemble des modules et le programme principale. Elle est définie durant toute l'application et peut être utilisée et modifiée par les différents modules du programme

Variables locales et globales (2)

- La manière de distinguer la déclaration des variables locales et globales diffère selon le langage
  - En général, les variables déclarées à l'intérieur d'une fonction ou procédure sont considérées comme variables locales
- En pseudo-code, on va adopter cette règle pour les variables locales et on déclarera les variables globales dans le programme principale
- **Conseil :** Il faut utiliser autant que possible des variables locales plutôt que des variables globales. Ceci permet d'économiser la mémoire et d'assurer l'indépendance de la procédure ou de la fonction

Récursivité

- Un module (fonction ou procédure) peut s'appeler lui-même: on dit que c'est un module **récursif**
- Tout module récursif doit posséder un cas limite (cas trivial) qui arrête la récursivité
- Exemple : Calcul du factorielle

```
Fonction  fact (n : entier ) : entier
        Si (n=0 ou n=1)  alors
                retourne (1) ;
        Sinon
                retourne (n*fact(n-1)) ;
        Finsi
FinFonction
```

Fonctions récursives : exercice

- Ecrivez une fonction récursive (puis itérative) qui calcule le terme n de la suite de Fibonacci définie par : U(0)=U(1)=1
  U(n)=U(n-1)+U(n-2)

```
Fonction  Fib (n : entier ) : entier
        Variable res : entier ;
        Si (n=1 OU n=0)  alors
                res ←1 ;
        Sinon
                res ← Fib(n-1)+Fib(n-2) ;
        Finsi
        retourne (res) ;
FinFonction
```

Fonctions récursives : exercice (suite)

- Une fonction itérative pour le calcul de la suite de Fibonacci :

```
Fonction Fib (n : entier ) : entier
   Variables i, AvantDernier, Dernier, Nouveau : entier ;
        Si (n=1 OU n=0) alors      retourne (1) ;
        Finsi
        AvantDernier ←1, Dernier ←1 ;
         Pour i allant de 2 à n
                Nouveau← Dernier+ AvantDernier ;
                AvantDernier ←Dernier ;
                Dernier ←Nouveau ;
        FinPour
        retourne (Nouveau) ;
FinFonction
```

Remarque: la solution récursive est plus facile à écrire

Procédures récursives : exemple

- Une procédure récursive qui permet d'afficher la valeur binaire d'un entier n

```
Procédure  binaire (n : entier )
        Si (n<>0)  alors
                binaire (n/2) ;
                écrire (n mod 2) ;
        Finsi
FinProcédure
```

Types de données composées (1/3)

Les énumérations

Propos introductif

- **Une énumération** est un type permettant de définir un ensemble de constantes, parmi lesquelles les variables de ce type prendront leur valeur.
- Pour déclarer une variable de type énuméré, il faut d'abord définir le type.

- **Définition d'un type énuméré**
- La syntaxe de définition d'un type énuméré est la suivante :

Type

***nom_type* = { *constante1*, *constante2*, …, *constanteN* } ;**

où ***nom_type*** est l'identificateur du nouveau type

constante1*, *constante2*, …, *constanteN est une liste d'identificateurs donnant l'ensemble des valeurs de ce type.

Définition d'une énumération

- **EXEMPLES**

Type

// définition du type couleur

couleur = {bleu, blanc, rouge, vert, jaune, noir};

// définition du type fruit

fruit = {orange, banane, pomme, ananas};

Déclaration d'une énumération

Après avoir défini un type énuméré, on peut l'utiliser comme un type normal pour déclarer une ou plusieurs variables de ce type.

- **Exemple :**

…

Variable

c : couleur ; // déclaration de la variable c de type couleur

Début

…

c ← bleu ; // utilisation de la variable c

…

Fin

Types de données composées (2/3)

Les tableaux

Exemple introductif

- Supposons qu'on veut conserver les notes d'une classe de 30 étudiants pour extraire quelques informations. Par exemple : calcul du nombre d'étudiants ayant une note supérieure à 10
- Le seul moyen dont nous disposons actuellement consiste à déclarer 30 variables, par exemple **N1, …, N30**. Après 30 instructions lire, on doit écrire 30 instructions Si pour faire le calcul

  nbre ← 0 ;

  Si (N1 >10) alors nbre ←nbre+1; FinSi

  ….

  Si (N30>10) alors nbre ←nbre+1 ; FinSi

  c'est lourd à écrire
- Heureusement, les langages de programmation offrent la possibilité de rassembler toutes ces variables dans **une seule structure de donnée** appelée **tableau**

Tableaux

- Un **tableau** est un ensemble d'éléments de même type désignés par un identificateur unique
- Une variable entière nommée **indice** permet d'indiquer la position d'un élément donné au sein du tableau et de déterminer sa valeur
- La **déclaration** d'un tableau s'effectue en précisant le **type** de ses éléments et sa **dimension** (le nombre de ses éléments)
  - En pseudo code :

    variable identificateur **: tableau [dimension] de type ;**
  - Exemple :

    variable notes**: tableau[30] de réel ;**
- On peut définir des tableaux de tous types : tableaux d'entiers, de réels, de caractères, de booléens, de chaînes de caractères, …

Tableaux : remarques

- L'accès à un élément du tableau se fait au moyen de l'indice. Par exemple, **notes[i]** donne la valeur de l'élément **i** du tableau notes
- Selon les langages, le premier indice du tableau est soit 0, soit 1. Le plus souvent c'est 0 (c'est ce qu'on va adopter en pseudo-code). Dans ce cas, **notes[i]** désigne l'élément **i+1** du tableau notes
- Il est possible de déclarer un tableau sans préciser au départ sa dimension. Cette précision est faite ultérieurement
  - Par exemple, quand on déclare un tableau comme paramètre d'une procédure, on peut ne préciser sa dimension qu'au moment de l'appel
  - En tous cas, un tableau est inutilisable tant qu'on n'a pas précisé le nombre de ses éléments
- Un grand avantage des tableaux est qu'on peut traiter les données qui y sont stockées de façon simple en utilisant des boucles

Tableaux : exemples (1)

- Pour le calcul du nombre d'étudiants ayant une note supérieure à 10 avec les tableaux, on peut écrire :

```
Variables       i ,nbre : entier  ;
                 notes: tableau[30]  de réel ;
Début
        nbre ← 0 ;
        Pour i allant de 0 à 29
                Si (notes[i]  >10) alors
                    nbre ←nbre+1 ;
                FinSi
        FinPour
        écrire ("le nombre de notes supérieures à 10 est : ", nbre) ;
Fin
```

Tableaux : saisie et affichage

- Procédures qui permettent de saisir et d'afficher les éléments d'un tableau :

```
Procédure SaisieTab(n : entier par valeur, tableau T : réel par référence )
 variable i : entier ;
   Pour i allant de 0 à n-1
      écrire ("Saisie de l'élément ",  i + 1) ;
      lire (T[i] ) ;
   FinPour
Fin Procédure

Procédure AfficheTab(n : entier par valeur, tableau T : réel par valeur )
 variable i : entier ;
   Pour i allant de 0 à n-1
      écrire ("T[",i, "] =", T[i]) ;
   FinPour
Fin Procédure
```

Tableaux : exemples d'appel

- Algorithme principale où on fait l'appel des procédures SaisieTab et AfficheTab :

Algorithme Tableaux
variable p : entier ;
A: **tableau**[10] de réel ;
Début
p ← 10 ;
SaisieTab(p, A) ;
AfficheTab(10,A) ;
Fin

Tableaux : fonction longueur

La plus part des langages offrent une fonction **longueur** qui donne la dimension du tableau. Les procédures Saisie et Affiche peuvent être réécrites comme suit :

```
Procédure SaisieTab( tableau T : réel par référence )
 variable i: entier
   Pour i allant de 0 à longueur(T)-1
      écrire ("Saisie de l'élément ",  i + 1) ;
      lire (T[i] ) ;
   FinPour
Fin Procédure
Procédure AfficheTab(tableau T : réel par valeur )
 variable i: entier ;
   Pour i allant de 0 à longueur(T)-1
      écrire ("T[",i, "] =", T[i]) ;
   FinPour
Fin Procédure
```

Tableaux à deux dimensions

- Les langages de programmation permettent de déclarer des tableaux dans lesquels les valeurs sont repérées par **deux indices**. Ceci est utile par exemple pour représenter des matrices

- En pseudo code, un tableau à deux dimensions se **déclare** ainsi :

variable identificateur**: tableau[dimension1] [dimension2] de type ;**

  - Exemple : une matrice A de 3 lignes et 4 colonnes dont les éléments sont réels

variable A**: tableau [3][4] de réel ;**

- **A[i][j]** permet d'accéder à l'élément de la matrice qui se trouve à l'intersection de la ligne **i** et de la colonne **j** ;

Exemples : lecture d'une matrice

- Procédure qui permet de saisir les éléments d'une matrice :

```
Procédure SaisieMatrice(n : entier par valeur, m : entier par valeur ,
                                                tableau A : réel par référence )
Début
 variables i,j : entier ;
   Pour i allant de 0 à n-1
        écrire ("saisie de la ligne ",  i + 1) ;
        Pour j allant de 0 à m-1
            écrire ("Entrez l'élément de la ligne ",  i + 1, " et de la colonne ", j+1);
            lire (A[i][j]) ;
        FinPour
   FinPour
Fin Procédure
```

Exemples : affichage d'une matrice

- Procédure qui permet d'afficher les éléments d'une matrice :

```
Procédure AfficheMatrice(n : entier par valeur, m : entier par valeur
                                          ,tableau A : réel par valeur )
Début
 variables i,j : entier ;
   Pour i allant de 0 à n-1
       Pour j allant de 0 à m-1
            écrire ("A[",i, "] [",j,"]=", A[i][j]) ;
       FinPour
   FinPour
Fin Procédure
```

Exemples : somme de deux matrices

- Procédure qui calcule la somme de deux matrices :

```
Procédure SommeMatrices(n, m : entier par valeur,
          tableau A, B : réel par valeur , tableau C : réel par référence )
Début
 variables i, j : entier ;
   Pour i allant de 0 à n-1
       Pour j allant de 0 à m-1
           C[i][j] ← A[i][j]+B[i][j] ;
       FinPour
   FinPour
Fin Procédure
```

Appel des procédures définies sur les matrices

Exemple d'algorithme principale où on fait l'appel des procédures définies précédemment pour la saisie, l'affichage et la somme des matrices :

```
Algorithme Matrices
variables M1,M2,M3 : tableau[3][4] de réel ;
Début
        SaisieMatrice(3, 4, M1) ;
        SaisieMatrice(3, 4, M2) ;
        AfficheMatrice(3,4, M1)  ;
        AfficheMatrice(3,4, M2)  ;
        SommeMatrice(3, 4, M1,M2,M3) ;
        AfficheMatrice(3,4, M3)  ;
Fin
```

Types de données composées (3/3)

LES STRUCTURES

Préliminaires sur les structures

- Une structure permet de désigner sous un seul nom un ensemble d'éléments pouvant être de types différents. Autrement dit, les structures sont des agrégats de données de types plus simples. Les structures permettent de construire des types complexes à partir des types de base ou d'autres types complexes.

Préliminaires sur les structures

- Chaque élément de la structure, appelé champ ou membre, est désigné par un identificateur. Leurs types sont donnés dans la déclaration de la structure. Ces types peuvent être n'importe quel autre type, même une structure.
- Les variables de type structure sont aussi appelées structures.

Déclaration d'un type structure

- La syntaxe de déclaration d'un type énuméré est la suivante :

type

nom_type = **Structure**

champ1 : type1;

...

champN : typeN ;

FinStructure;

Déclaration d'un type structure

OU ENCORE

- *nom_type* est l'identificateur du nouveau type
- *type1*, …, typeN sont les types respectifs des champs champ1, …, champN

EXEMPLE (1)

- Le type correspondant à une date peut être défini ainsi :

type

date = **Structure**

jour : **entier ;**

mois : **chaîne ;**

an : **entier ;**

FinStructure;

EXEMPLE (2)

- Le type correspondant à un nombre complexe peut être défini ainsi :

```
type
    complexe = Structure
            re : réel ;
            im : réel ;
FinStructure;
```

Déclaration d'une variable de type structure

- Après avoir défini un type structure, on peut l'utiliser comme un type normal pour déclarer une ou plusieurs variables de ce type.

- **Exemple :**

variable

d : date ; // d est une variable de type date.

z : complexe ; // z est une variable de type complexe

Opérations sur les structures

- - On accède aux différents champs d'une structure grâce à l'opérateur ***point*** , noté "**.**".
- Par exemple, le champ appelé champ1 d'une variable structure x est désigné par l'expression ***x.champ1***

- - On peut effectuer sur le champ d'une structure toutes les opérations valides sur des variables de même type que ce champ.

- - On peut appliquer l'opérateur d'affectation à une structure (à la différence d'un tableau). Cela permet de copier tous les champs de la structure.

Exemple

```
Algo DATE
Type
     date  =   Structure
              jour : entier ;
             mois : chaîne ;
            annee : entier ;
FinStructure;

Variable
   d1, d2 : date ;
  annee : entier ;
```

```
Début
// initialiser la date d1
        d1.jour ← 23 ;
        d1.mois ← "Novembre" ;
        d1.année ← 2000  ;
//  initialiser la date d2 à partir de d1
        d2 ← d1 ;
//  afficher la date d2
    Ecrire (d2.jour, "/ ", d2.mois,"/ ", d2.année) ;
// copier  le champ année de d2 dans la
variable année
       annee ← d2.annee ;
// saisir le champ année de d2
   Lire(d2.annee) ;
Fin
```

Algorithme de recherche

Tri et Ordre

Tableaux : 2 problèmes classiques

- **Recherche d'un élément dans un tableau**
  - Recherche séquentielle
  - Recherche dichotomique
- **Tri d'un tableau**
  - Tri par sélection
  - Tri rapide

Recherche séquentielle

- Recherche de la valeur x dans un tableau T de N éléments :

```
Variables i : entier ;
          Trouvé : booléen ;
....
 i←0 ; Trouvé ← Faux ;
TantQue ( (i < N)  ET (Trouvé=Faux) )
      Si (T[i]=x) alors Trouvé ← Vrai ;
      Sinon  i←i+1 ;
      FinSi
FinTantQue
Si Trouvé alors          // c'est équivalent à écrire Si Trouvé=Vrai alors
                écrire ("x appartient au tableau") ;
Sinon           écrire ("x n'appartient pas au tableau") ;
FinSi
```

Recherche séquentielle (version 2)

- Une fonction Recherche qui retourne un booléen pour indiquer si une valeur x appartient à un tableau T de dimension N.

  x , N et T sont des paramètres de la fonction

```
Fonction Recherche(x : réel, N: entier, tableau T : réel ) : booléen
    Variable   i : entier ;
                  Trouvé : booléen ;
                  Trouvé ← FAUX ;
          Pour i allant de 0 à N-1
              Si (T[i]=x) alors Trouvé ← VRAI ;
              FinSi
          FinPour
    retourne (Trouvé ) ;
FinFonction
```

Notion de complexité d'un algorithme

- Pour évaluer l'**efficacité** d'un algorithme, on calcule sa **complexité**
- Mesurer la **complexité** revient à quantifier le **temps** d'exécution et l'espace **mémoire** nécessaire
- Le temps d'exécution est proportionnel au **nombre des opérations** effectuées. Pour mesurer la complexité en temps, on met en évidence certaines opérations fondamentales, puis on les compte
- Le nombre d'opérations dépend généralement du **nombre de données** à traiter. Ainsi, la complexité est une fonction de la taille des données. On s'intéresse souvent à son **ordre de grandeur** asymptotique
- En général, on s'intéresse à la **complexité** dans **le pire des cas** et à la **complexité moyenne**

Recherche séquentielle : complexité

- Pour évaluer l'efficacité de l'algorithme de recherche séquentielle, on va calculer sa complexité dans le pire des cas. Pour cela on va compter le nombre de tests effectués
- Le pire des cas pour cet algorithme correspond au cas où x n'est pas dans le tableau T
- Si x n'est pas dans le tableau, on effectue 3N tests : on répète N fois les tests (i < N), (Trouvé=Faux) et (T[i]=x)
- La **complexité** dans le pire des cas est **d'ordre N**, (on note **O(N)**)
- Pour un ordinateur qui effectue 10^6 tests par seconde on a :

N	10^3	10^6	10^9
temps	1ms	1s	16mn40s

Recherche dichotomique

- Dans le cas où le tableau est ordonné, on peut améliorer l'efficacité de la recherche en utilisant la méthode de recherche dichotomique

- **Principe :** diviser par 2 le nombre d'éléments dans lesquels on cherche la valeur x à chaque étape de la recherche. Pour cela on compare x avec T[milieu] :

  - Si x < T[milieu], il suffit de chercher x dans la 1ère moitié du tableau entre (T[0] et T[milieu-1])

  - Si x > T[milieu], il suffit de chercher x dans la 2ème moitié du tableau entre (T[milieu+1] et T[N-1])

Recherche dichotomique : algorithme

```
inf←0 ; sup←N-1; Trouvé ← Faux ;
TantQue ((inf <=sup)  ET (Trouvé=Faux) )
    milieu←(inf+sup)div2 ;
    Si (x=T[milieu]) alors
                    Trouvé ← Vrai ;
    SinonSi (x>T[milieu]) alors
                    inf←milieu+1 ;
          Sinon sup←milieu-1 ;
          FinSi
   FinSi
FinTantQue
Si Trouvé alors   écrire ("x appartient au tableau") ;
Sinon             écrire ("x n'appartient pas au tableau") ;
FinSi
```

Exemple d'exécution

- Considérons le tableau T :

4	6	10	15	17	18	24	27	30

- Si la valeur cherché est 20 alors les indices inf, sup et milieu vont évoluer comme suit :

inf	0	5	5	6
sup	8	8	5	5
milieu	4	6	5	

- Si la valeur cherché est 10 alors les indices inf, sup et milieu vont évoluer comme suit :

inf	0	0	2
sup	8	3	3
milieu	4	1	2

Recherche dichotomique : complexité

- La complexité dans le pire des cas est d'ordre $\log_2 N$
- L'écart de performances entre la recherche séquentielle et la recherche dichotomique est considérable pour les grandes valeurs de N
  - Exemple: au lieu de N=1milion ≈2^{20} opérations à effectuer avec une recherche séquentielle il suffit de 20 opérations avec une recherche dichotomique

Tri d'un tableau

- Le tri consiste à ordonner les éléments du tableau dans l'ordre croissant ou décroissant

- Il existe plusieurs algorithmes connus pour trier les éléments d'un tableau :

  - Le tri par sélection
  - Le tri par insertion
  - Le tri rapide
  - …

- Nous verrons dans la suite l'algorithme de tri par sélection et l'algorithme de tri rapide. Le tri sera effectué dans l'ordre croissant

Tri par sélection

- **Principe** : à l'étape i, on sélectionne le plus petit élément parmi les (n - i +1) éléments du tableau les plus à droite. On l'échange ensuite avec l'élément i du tableau
- **Exemple :**

9	4	1	7	3

  - **Étape 1:** on cherche le plus petit parmi les 5 éléments du tableau. On l'identifie en troisième position, et on l'échange alors avec l'élément 1 :

1	4	9	7	3

  - **Étape 2:** on cherche le plus petit élément, mais cette fois à partir du deuxième élément. On le trouve en dernière position, on l'échange avec le deuxième:

1	3	9	7	4

  - **Étape 3:**

1	3	4	7	9

Tri par sélection : algorithme

- Supposons que le tableau est noté T et sa taille N

```
Pour i  allant de 0 à N-2
        indice_ppe ← i ;
        Pour j allant de i + 1 à N-1
              Si (T[j] <T[indice_ppe] ) alors
                    indice_ppe  ← j ;
               Finsi
         FinPour

        temp ← T[indice_ppe] ;
        T[indice_ppe] ← T[i] ;
        T[i] ← temp ;
FinPour
```

Tri par sélection : complexité

- Quel que soit l'ordre du tableau initial, le nombre de tests et d'échanges reste le même

- On effectue N-1 tests pour trouver le premier élément du tableau trié, N-2 tests pour le deuxième, et ainsi de suite. Soit : (N-1)+(N-2)+…+1 = N(N-1)/2
  On effectue en plus (N-1) échanges.

- La **complexité** du tri par sélection est **d'ordre N²** à la fois dans le meilleur des cas, en moyenne et dans le pire des cas

- Pour un ordinateur qui effectue 10^6 tests par seconde on a :

N	10^3	10^6	10^9
temps	1s	11,5 jours	32000 ans

Tri rapide

- Le tri rapide est un tri récursif basé sur l'approche "diviser pour régner" (consiste à décomposer un problème d'une taille donnée à des sous problèmes similaires mais de taille inférieure faciles à résoudre)

- **Description du tri rapide :**

  - **1)** on considère un élément du tableau qu'on appelle pivot

  - **2)** on partitionne le tableau en 2 sous tableaux : les éléments inférieurs ou égaux à pivot et les éléments supérieurs à pivot. on peut placer ainsi la valeur du pivot à sa place définitive entre les deux sous tableaux

  - **3)** on répète récursivement ce partitionnement sur chacun des sous tableaux crées jusqu'à ce qu'ils soient réduits à un à un seul élément

Procédure Tri rapide

Procédure TriRapide(tableau **T** : réel par adresse, **p,r**: entier par valeur)

```
variable q: entier
  Si  p <r  alors
      Partition(T,p,r,q) ;
      TriRapide(T,p,q-1) ;
      TriRapide(T,q+1,r) ;
  FinSi
```

Fin Procédure

A chaque étape de récursivité on partitionne un tableau T[p..r] en deux sous tableaux T[p..q-1] et T[q+1..r] tel que chaque élément de T[p..q-1] soit inférieur ou égal à chaque élément de A[q+1..r] . L'indice q est calculé pendant la procédure de partitionnement

Procédure de partition

```
Procédure Partition(tableau T : réel par adresse, p,r: entier par valeur,  q: entier  par adresse )
  Variables  i, j: entier  ;
             pivot: réel ;
    pivot← T[p] ; i←p+1;  j ← r ;
    TantQue (i<=j)
          TantQue (i<=r et T[i] <=pivot)     i ← i+1;  FinTantQue
          TantQue (j>=p et T[j] >pivot )  j ← j-1;    FinTantQue
          Si  i <j  alors
                    Echanger(T[i], T[j]); i ← i+1; j ← j-1;
          FinSi
    FinTantQue
     Echanger(T[j], T[p]) ;
    q ← j ;
Fin Procédure
```

Tri rapide : complexité et remarques

- La complexité du tri rapide dans le pire des cas est en $O(N^2)$
- La complexité du tri rapide en moyenne est en O(N log N)
- Le choix du pivot influence largement les performances du tri rapide
- Le pire des cas correspond au cas où le pivot est à chaque choix le plus petit élément du tableau (tableau déjà trié)
- différentes versions du tri rapide sont proposés dans la littérature pour rendre le pire des cas le plus improbable possible, ce qui rend cette méthode la plus rapide en moyenne parmi toutes celles utilisées