LES SÉMAPHORES

```
type Semaphore is record
            E : Integer;
            F : File_de_Processus_Bloqués;
      end Semaphore;

procedure P(S : in out Semaphore) is
begin
   S.E := S.E -1;
   if S.E < 0 then
      -- EGO pid du processus élu, exécutant P(S)
      état(EGO)=bloqué ; EGO ∈ S.F ;
      l'allocateur d'UC élit un autre processus
   end if;
end P;

procedure V(S : in out Semaphore) is
begin
   S.E := S.E + 1;
   if S.E <= 0 then
      LUI = pid du processus réveillé dans S.F
      LUI ∉ S.F ; état(LUI) = prêt;
   end if;
end V;   -- LUI et EGO sont prêts tous deux;
   -- un seul est élu en monoprocesseur
   -- selon implantation de politique de choix

procedure E0(S : in out Semaphore; I in Natural) is
begin S.E := I; S.F := ∅; end E0; -- I ≥ 0
```

PROPRIÉTÉS DES SÉMAPHORES

(R1) $S.E = I - NP(S) + NV(S)$

soit $NBLOC(S) = NP(S) - NF(S)$

(R2) $NBLOC(S) = Max(0, - S.E)$

vrai initialement car $E0(S, I) \Rightarrow S.E \geq 0$
ensuite par récurrence, l'exécution conserve R2

$\{(R2)\}\ P(S)\ \{(R2)\}$
$\{(R2)\}\ V(S)\ \{(R2)\}$

(R3) $NF(S) = Min(NP(S), I + NV(S))$

$NBLOC(S) = NP(S) - NF(S)$
$-NF(S) = NBLOC(S) -NP(S)$
$= Max(-NP(S), -S.E - NP(S))$
ou
$NF(S) = Min(NP(S), S.E + NP(S))$
or d'après (R1) :
$S.E + NP(S) = I + NV(S)$ c.q.f.d.

notation :
NP(S) : nombre d'appels à la primitive P(S)
NV(S) : nombre d'appels à la primitive V(S)
NF(S) : nombre de sorties de la primitive P(S)

franchissement (la demande est comptée) :
P(S) when $S.E \geq 0$, soit when $NP(S) \leq I + NV(S)$
V(S) when True

EXCLUSION MUTUELLE MODULAIRE

avec un composant générique en Ada95

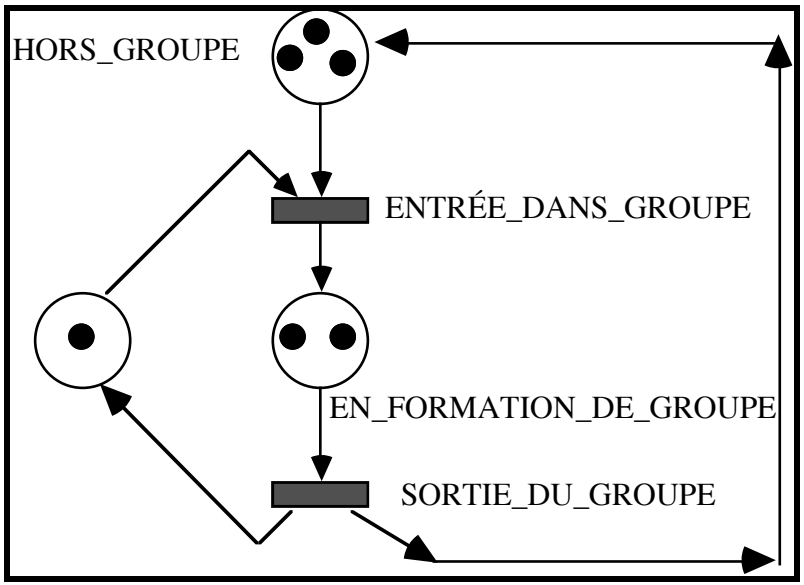
```
generic

   with procedure CodeSectionCritique;

package ExecEnSC is
            procedure AppelCodeSc;
end ExecEnSC;
```

```
with Semaphores; use Semaphores; --importation
package body ExecEnSC is
   MutexSC : Semaphore; -- d'exclusion mutuelle

   procedure AppelCodeSc is
   begin
      P(MutexSC); -- entrée en section critique
      CodeSectionCritique;
      V(MutexSC); -- sortie de section critique
   end AppelCodeSc;

begin
E0(MutexSC, 1); -- initialisation du paquetage
end ExecEnSC;
```

```
with Text_Io; with ExecEnSC;
procedure Main is

   CompteClient : Integer := 0;
   procedure CodeExemple is
      X :Integer;
   begin
      X := CompteClient;
      X := X + 1;
      delay(0.01);--delai pour forcer commutation
      CompteClient := X;
   end CodeExemple ;

   package SC is new ExecEnSC(CodeExemple);

 task type Un_P; task body Un_P is
 begin
  for I in 1 .. 16 loop
    delay(0.01); --Actions_hors _section_critique;
    SC.AppelCodeSc; --code en section critique
  end loop;
end Un_P;

 P, Q : Un_P; -- deux processus concurrents

begin
 delay(1.0); -- attendre la fin de P et Q
 -- on fera mieux quand on connaitra les  signaux
 Text_Io.Put(Integer'Image(CompteClient));
 --   on affiche la valeur finale qui doit être 32
end Main;
```

COHORTE

```
procedure Cohorte is
S_C : Semaphore ;
task type Processus;

task body processus is
begin loop
   Actions_hors_Groupe;
   P(S_C);  -- entrée contrôlée dans le groupe
   -- Actions en cohorte de 3 processus au plus
   V(S_C);  -- sortie annoncée du groupe
end loop end processus;

Application : array (1..5) of Processus;

begin E0(S_C, 3); end Cohorte;
```



COHORTE MODULAIRE

```
package Mon is procedure Service; end Mon ;

package body Mon is
   S_C : Semaphore ;
   procedure body Service is
   begin
      P(S_C);  -- entrée contrôlée dans le groupe
      -- Actions en cohorte de 3 processus au plus
      V(S_C);  -- sortie annoncée du groupe
   end Service;
begin E0(S_C, 3); end Mon ;

procedure Cohorte_Modulaire is

task type Processus;

task body processus is
begin loop
   Actions_hors_Groupe;
   Mon.Service;-- Actions en cohorte
end loop end processus;

Application : array (1..5) of Processus;

begin
   null;
end Cohorte_Modulaire;
```

LOT DE RESSOURCES BANALISÉES

Exemple

Chaque processus demande deux fois le droit d'utiliser une ressource. Puis quand il a les deux droits, il va rechercher dans Stock deux ressources disponibles ; cette recherche doit se faire en exclusion mutuelle

Stock contient 6 ressources, cela évite de tomber en interblocage. Si on avait un stock plus petit et toujours 5 processus, il pourrait y avoir un interblocage et il faudrait utiliser une méthode de prévention.

```
procedure Gestion_Cooperative is
S_C, Mutex : Semaphore;
Stock : array(1..6) of Integer := (others => 0);
task type Processus;

task body processus is
   I, J : Integer;
begin loop
   Actions_hors_Groupe;
   P(S_C); P(S_C); -- droits pour deux ressources

   P(Mutex); I := 1;
   while Stock(I) /= 0 loop I := I + 1; end loop;
   Stock(I) := 1; J := I +1;
   while Stock(J) /= 0 loop J := J + 1; end loop;
   Stock(J) := 1;
   V(Mutex);

   -- utilisation des ressources I et J acquises
   -- retour des ressources I et J

   P(Mutex); Stock(I):=0; Stock(J):=0; V(Mutex);

   V(S_C); V(S_C); -- retour des droits
end loop end processus;

Application : array (1..5) of Processus;

begin
E0(S_C, 6); E0(Mutex, 1);
end Gestion_Cooperative;
```

LOT DE RESSOURCES BANALISÉES
solution modulaire

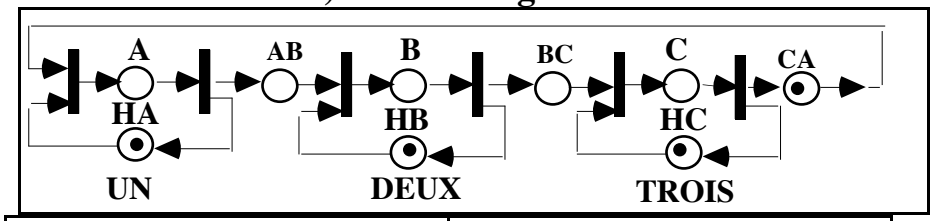
```
package Deux is
   procedure Demander(I, J : out Integer);
   procedure Rendre(I, J : in Integer);
end Deux ;

package body Deux is
S_C, Mutex : Semaphore;
Stock : array(1..6) of Integer := (others => 0);

procedure body Demander(I, J : out Integer) is
begin
   P(S_C); P(S_C); -- droits pour deux ressources
   P(Mutex); I := 1;
   while Stock(I) /= 0 loop I := I + 1; end loop;
   Stock(I) := 1; J := I +1;
   while Stock(J) /= 0 loop J := J + 1; end loop;
   Stock(J) := 1; V(Mutex);
end Demander;

procedure body Rendre(I, J : in Integer) is
begin
   P(Mutex); Stock(I):=0; Stock(J):=0; V(Mutex);
   V(S_C); V(S_C); -- retour des droits
end Rendre;

begin E0(S_C, 6); E0(Mutex, 1); end Deux ;
```

SOLUTION MODULAIRE
(suite)

```
procedure Gestion_Modulaire is

 task type Processus;
 Application : array (1..5) of Processus;

 task body processus is
    X, Y : Integer; -- Id des ressources
 begin
  loop
    Actions_hors_Groupe;
    Deux.Demander(X, Y);
    Utiliser_les_Ressources; -- deux ressources
    Deux.Rendre(X, Y);
  end loop
 end processus;

begin null; end Gestion_Modulaire;
```

PASSAGE DE TÉMOIN

1) envoi de signaux

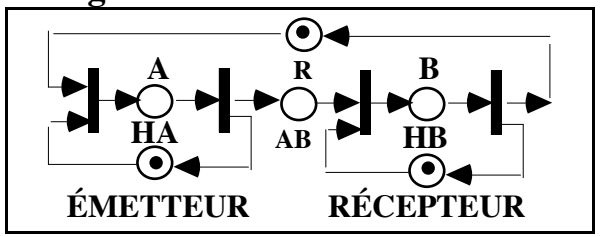



```
generic
package Un_Signal is
    procedure Envoyer;
    procedure Attendre;
end Un_Signal ;
```

```
generic
package Une_SC is
    procedure Entree ;
    procedure Sortie ;
end Une_SC ;
```

```
with Un_Signal ;
procedure Main is
 package AB is new Un_Signal;
 package BC is new Un_Signal;
 package CA is new Un_Signal;
 task UN is
    begin loop
        CA.Attendre; A; AB.Envoyer; HA;
    end loop; end UN;
 task DEUX is
    begin loop
        AB.Attendre; B; BC.Envoyer; HB;
    end loop; end DEUX;
 task TROIS is
    begin loop
        BC.Attendre; C; CA.Envoyer; HC;
    end loop; end TROIS;
begin CA.Envoyer; -- déclenche le processus UN
end Main;
```

2) Passage du droit d'accès à une ressource

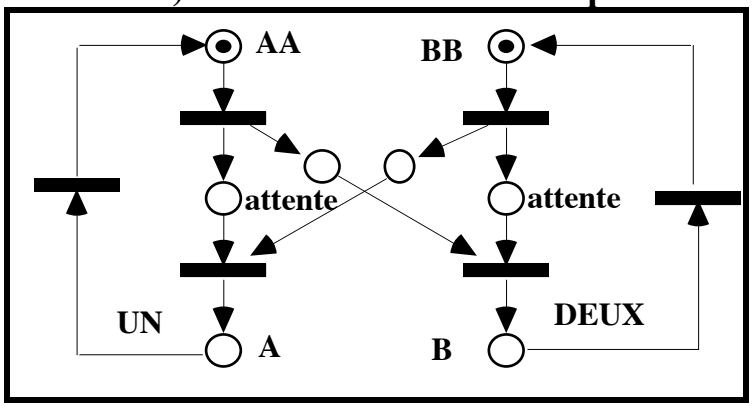



```
with Un_Signal; with Une_SC;
procedure Main is
 package AB is new Un_Signal;
 package R is new Une_SC;
 task Emetteur is
    begin loop
        HA; R.Entree; A; AB. Envoyer;
    end loop; end Emetteur;
 task Recepteur is
    begin loop
        HB; AB.Attendre; B; R.Sortie;
    end loop; end Recepteur;
begin null; end Main;
```

```
package body Un_Signal is
 S : Semaphore; -- initialisé à 0
 procedure Envoyer is begin V(S); end Envoyer;
 procedure Attendre is begin P(S); end Attendre;
begin E0(S, 0); end Un_Signal;
```

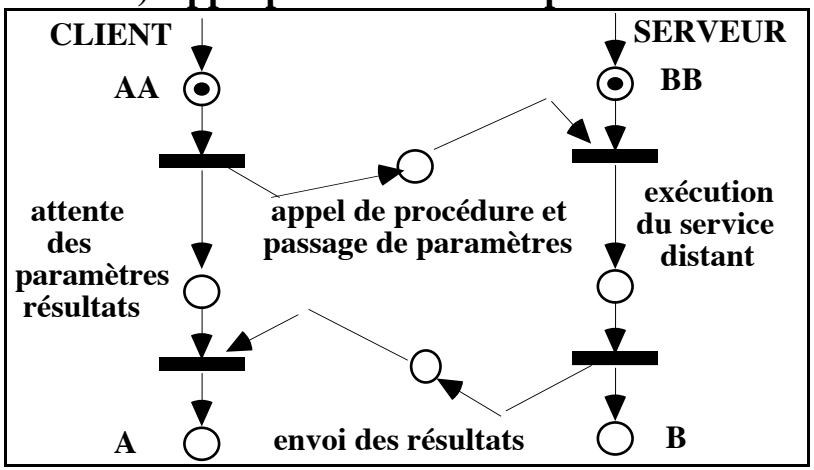
```
package body Une_SC is
 S : Semaphore; -- initialisé à 1
 procedure Entree is begin P(S); end Entree;
 procedure Sortie is begin V(S); end Sortie;
begin E0(S, 1); end Une_SC;
```

3) Rendez-vous entre deux processus




```
with Un_Signal ;
procedure Main is
 package AB is new Un_Signal;
 package BA is new Un_Signal;
 task UN is
    begin loop
        AA; AB.Envoyer; BA.Attendre; A;
    -- en décapsulant : AA; V(AB.S); P(BA.S); A;
    end loop; end UN;
 task DEUX is
    begin loop
        BB; BA.Envoyer; AB.Attendre; B;
    -- en décapsulant : BB; V(BA.S); P(AB.S); B;
    end loop; end DEUX;
begin null;
-- en décapsulant E0(AB.S, 0); E0(BA.S, 0);
end Main;
----------------------------
```

4) Appel procédural entre processus




```
with Un_Signal ;
procedure Main is
 package Appel is new Un_Signal;
 package Reponse is new Un_Signal;
 task CLIENT is
    begin loop
        AA; Ecrire_Message; Appel.Envoyer;
        Reponse.Attendre; Lire_Resultats; A;
    -- en décapsulant : Ecrire; V(Appel.S);
    -- P(Reponse.S); Lire_Resultats;
    end loop; end CLIENT;
 task SERVEUR is
    begin loop
      BB; Appel.Attendre; Lire_Resultats;
      Traiter_requete;Ecrire;Reponse.Envoyer; B;
    -- en décapsulant : BB; P(Appel.S); Lire;
    -- Traiter_requete; Ecrire; V(Reponse.S); B;
    end loop; end SERVEUR ;
begin null; end Main;
```

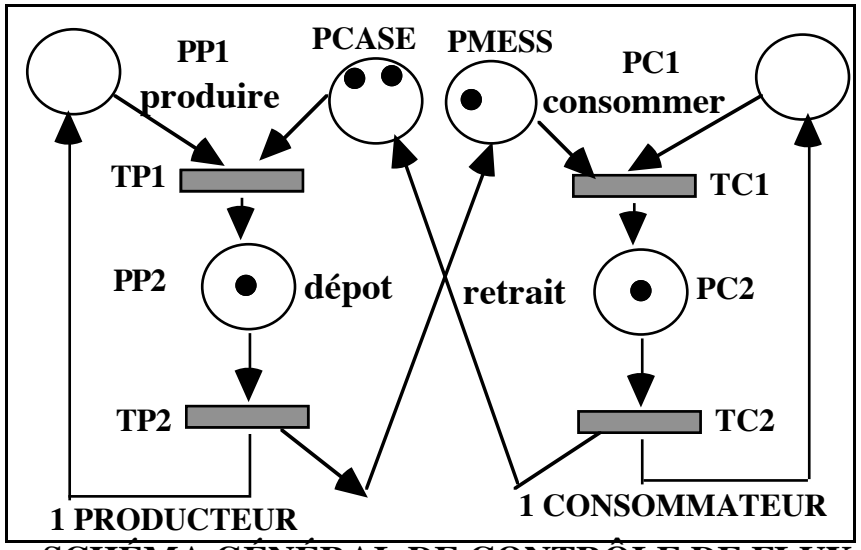


SCHÉMA GÉNÉRAL DE CONTRÔLE DE FLUX

Nplein, Nvide : Semaphore;
E0(Nplein, 0); E0(Nvide, N);

task Producteur is	•	task Consommateur is
X : Message;	•	Y : Message;
begin	•	begin
loop	•	loop
Produire (X);	•	P(Nplein);
P(Nvide);	•	Retrait(Y);
Depot(X);	•	V(Nvide);
V(Nplein);	•	Consommer(Y);
end loop;	•	end loop;
end Producteur;	•	end Consommateur;

PRODUCTEUR(S)- CONSOMMATEUR(S)

CONTRAINTES

(1) : contrôle de flux : #TP1 ≤ N + #TC2
#TC1 ≤ #TP2
(2) : respect de l'ancienneté pour déposer
(3) : respect de l'ancienneté pour retirer
(4) : cohérence des données du tampon
(#TP1 : nombre de franchissements de TP1)

SOLUTIONS

(1) : par allocation de ressources banalisées :
cases vides contrôlées par le sémaphore Nvide
messages contrôlés par le sémaphore Nplein
(2), (3) : par accès séquentiel
(4) : par exclusion mutuelle

GESTION DU TAMPON

• à l'ancienneté avec des index séparés
1 producteur et 1 consommateur :
schéma 1
p producteur et c consommateur (p + c > 2) :
schéma 2
• à l'ancienneté avec un compte commun
toute autre politique de service (priorité, ...)
toute autre gestion du tampon :
schéma 3 = schéma général

CONFLIT IMPOSSIBLE SUR UN MESSAGE
entre un producteur et un consommateur

soit #TP1 : nombre de franchissements de TP1

numérotons les messages à l'émission, à TP1
#(messages émis) = #TP1
comptons les messages en réception, à TC1
#(messages reçus) = #TC1

Raisonnons par l'absurde

(E1) : si accès concurrent en PP2 et PC2
prod. cyclique en PP2 #TP1 = #TP2 + 1
contrôle de flux après TC1 #TC1 ≤ #TP2
#TC1 < #TP1

(E2) : si accès au même message
=> #émis = #reçu
#TC1 = #TP1

conclusion : E1 et E2 => contradiction
=> impossibilité

IMPOSSIBILITÉ D'INTERBLOCAGE

soit M(PP1) : marquage de PP1, etc.

invariants du système
M(PP1) + M(PP2) = 1 -- évolution producteur
M(PC1) + M(PC2) = 1 --évolution consommateur
M(PCASE) + M(PP2)+ M(PMESS) + M(PC2) = N
-- évolution des cases selon 4 états

Il y aurait interblocage si on avait :
M(PP1) = 1 -- le producteur demande l'accès
M(PC1) = 1 -- le consommateur demande l'accès
M(PCASE) = 0 -- pas de case libre
M(PMESS) = 0 -- pas de message prêt

Alors, le dernier invariant :
M(PCASE) + M(PP2)+ M(PMESS) + M(PC2) = N
devient : 0+ 0+ 0 + 0= N

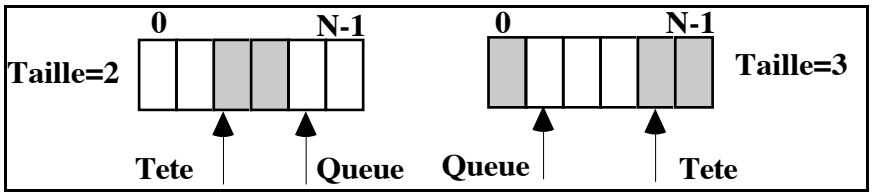
=> impossibilité car N ≠ 0 par construction

1 PRODUCTEUR - 1 CONSOMMATEUR
schéma 1

```
Nplein, Nvide : Semaphore;
E0(Nplein, 0); E0(Nvide, N);
type Tampon is array(0..N-1) of Message;
T : Tampon;
```

```
task Producteur is
  X : Message;
  Queue : Mod N := 0;
begin
 loop
   Produire (X);
   P(Nvide);
   T(Queue) := X;
   Queue:= Queue ✣1;
   V(Nplein);
 end loop;
end Producteur;
```

```
task Consommateur is
  Y : Message;
  Tete : Mod N := 0;
begin
 loop
   P(Nplein);
   Y := T(Tete);
   Tete := Tete ✣ 1;
   V(Nvide);
   Consommer(Y);
 end loop;
end Consommateur;
```



p PRODUCTEUR - c CONSOMMATEUR
schéma 2 : (p + c > 2)

```
Nplein, Nvide : Semaphore;
E0(Nplein, 0); E0(Nvide, N);
type Tampon is array(0..N-1) of Message;
T : Tampon; Tete, Queue : Mod N := 0;
Mutexprod, Mutexcons : Semaphore;
E0(Mutexprod, 1); E0(Mutexcons, 1);
```

```
task Producteur is
  X : Message;
begin
 loop
   Produire (X);
   P(Nplein);
   P(Mutexprod);
   T(Queue) := X;
   Queue := Queue ✣1;
   V(Mutexprod);
   V(Nplein);
 end loop;
end Producteur;
```

```
task Consommateur is
  Y : Message;
begin
 loop
   P(Nplein);
   P(Mutexcons);
   Y := T(Tete);
   Tete := Tete ✣ 1;
   (Mutexcons);
   V(Nvide);
   Consommer(Y);
 end loop;
end Consommateur;
```

==========

Notation : type Mod N est modulo N
a ✣ b signifie: (a + b) modulo N

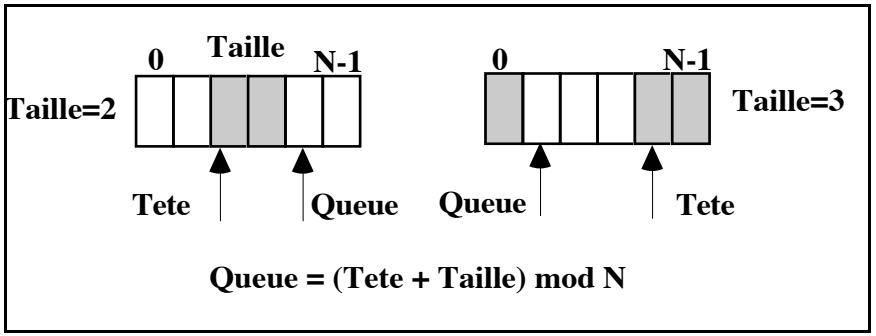
PRODUCTEURS - CONSOMMATEURS

schéma 3 : schéma sans concurrence d'accès

```
Nplein, Nvide : Semaphore;
E0(Nplein, 0); E0(Nvide, N);
type Tampon is array(0..N-1) of Message;
T : Tampon;
Tete: Mod N := 0; Taille : Integer := 0;
Mutex : Semaphore; E0(Mutex, 1);
```

```
task Producteur is
  X : Message;
begin
 loop
  Produire (X);
  P(Nvide);
  P(Mutex);
  T(Tete⨹Taille) := X;
  Taille := Taille + 1;
  V(Mutex);
  V(Nplein);
 end loop;
end Producteur;
```

```
task Consommateur is
  Y : Message;
begin
 loop
  P(Nplein);
  P(Mutex);
  Y := T(Tete);
  Tete := Tete ⨹ 1;
  Taille := Taille - 1;
  V(Mutex);
  V(Nvide);
  Consommer(Y);
 end loop;
end Consommateur;
```



Tete ⨹Taille = (Tete +Taille) mod N

TAMPON MODULAIRE ET GÉNÉRIQUE
-- corps

```
package body UnTamponDe is
 Nplein, Nvide, Mutex : Semaphore;
 type Tampon is array(0..N-1) of Message;
 T : Tampon; -- variables persistantes
 Tete: Mod N := 0; Taille : Integer := 0;

Procedure Deposer
   (X : in Message) is
begin
  P(Nvide);
  P(Mutex);
  T(Tete+Taille) := X;
  Taille := Taille +1;
  V(Mutex);
  V(Nplein);
end Deposer;

Procedure Retirer
   (Y : out Message) is
begin
   P(Nplein);
   P(Mutex);
   Y := T(Tete);
   Tete := Tete + 1;
   Taille := Taille - 1;
   V(Mutex);
   V(Nvide);
End Retirer;

begin
 E0(Nplein, 0); E0(Nvide, N); E0(Mutex, 1);
end UnTamponDe;
```

TAMPON MODULAIRE ET GÉNÉRIQUE
-- interface et utilisation

```
generic                  -- modèle de module
   N: Positive:= 5; type Message is private;
package UnTamponDe is
   procedure Deposer(X : in Message);
   Procedure Retirer(Y : out Message);
end UnTamponDe;      -- fin de l'interface

Procedure Main is
  package Requete is new UnTamponDe(6, String);
  package Reponse is new UnTamponDe(2, Integer);

  task Client is
    R : String; Val : Integer;
  begin loop
    Faire_Ailleurs_Preparation(R);
    Requete.Deposer(R); Reponse.Retirer(Val);
    end loop; end Client;

 task  Serveur is
    S : String; V : Integer;
 begin loop
    Requete.Retirer(S);
    Traiter_Requete(S, V); Reponse.Deposer(V);
 end loop; end Serveur;

begin null; end Main;
```

LECTEURS-RÉDACTEURS
schéma de base

```
Mutex_A, Mutex_L : Semaphore;
E0(Mutex_A,1);E0(Mutex_L, 1);
NL : Natural := 0;
```

```
task Lecteur is                    task Redacteur is
begin                              begin
  Faire_Ailleurs;                    Faire_Ailleurs;
  P(Mutex_L);
   NL := NL + 1;
   if NL = 1 then
     P(Mutex_A);                     P(Mutex_A);
   end if;
  V(Mutex_L);

  Suites_De_Lectures;                Ecritures_Lectures;

  P(Mutex_L);
   NL := NL - 1;
   if NL=0 then
     V(Mutex_A);                     V(Mutex_A);
   end if ;
  V(Mutex_L);
end Lecteur;                       end Redacteur;
```

Spécifications du comportement de base

- lectures et écritures forment une suite d'accès
- lectures par groupe de lecteurs concurrents
- écritures cohérentes en exclusion mutuelle
- exclusion entre groupe de lecteurs concurrents et tout rédacteur

Schéma de base acceptable car le rédacteur qui donne l'accès aux lecteurs par V(Mutex_A) n'a pas à entrer en section critique pour le faire

=> possibilité de famine pour des rédacteurs

spécifications additionnelles en cas de conflit

- pas famine de rédacteurs => l'arrivée d'un rédacteur arrête l'entrée de nouveaux lecteurs
- priorité aux lecteurs en attente avant nouvelle rédaction
- priorités égales entre lecteur et rédacteurs
- au plus N lecteurs concurrents consécutifs

LECTEURS-RÉDACTEURS (priorités égales)

```
Mutex_A, Mutex_L, Fifo : Semaphore;
E0(Mutex_A,1);E0(Mutex_L, 1);E0(Fifo, 1);
NL : Natural := 0;
```

```
task Lecteur is                    task Redacteur is
begin                              begin
  Faire_Ailleurs;                    Faire_Ailleurs;
    P(Fifo);
      P(Mutex_L);
       NL := NL + 1;
       if NL = 1 then
          P(Mutex_A);
       end if;
      V(Mutex_L);
    V(Fifo);
                                     P(Fifo);
                                       P(Mutex_A);
                                     V(Fifo);
  Suites_De_Lectures;                Ecritures_Lectures;
      P(Mutex_L);
       NL := NL - 1;
       if NL=0 then
          V(Mutex_A);
       end if ;
      V(Mutex_L);
                                     V(Mutex_A);
end Lecteur;                       end Redacteur;
```

- toutes les requêtes d'accès des processus sont mises en séquence sous le contrôle de Fifo

Une trace....

```
Lecteur1 : P(Fifo); P(Mutex_A);  -- E(Fifo) = 0
Lecteur1 : Debut_Lire;
Lecteur1 :  V(Fifo);                -- E(Fifo) = 1
Lecteur1 : Suites_De_Lectures;
Lecteur2 : P(Fifo);                 -- E(Fifo) = 0
Lecteur2 : Debut_Lire;
Lecteur2 : V(Fifo);                   -- E(Fifo) = 1
Lecteur1 et Lecteur2 :  Suites_De_Lectures;
   Redacteur3 : P(Fifo);              -- E(Fifo) = 0
   Redacteur3 : P(Mutex_A); -- bloquant
      Lecteur4 : P(Fifo); -- bloquant E(Fifo) = -1
         Redacteur5 : P(Fifo); -- bloquant (E= -2)
            Lecteur6 :  P(Fifo); --bloquant (E= -3)
Lecteur2 : Fin_Lire;
Lecteur1 : Fin_Lire; V(Mutex_A);
   Redacteur3 : V(Fifo);            -- E(Fifo) = -2
      Lecteur4 :P(Mutex_A);
   Redacteur3 : Ecritures_Lectures;
   Redacteur3 : V(Mutex_A);
      Lecteur4 :  V(Fifo);          -- E(Fifo) = -1
      Lecteur4 : Suites_De_Lectures;
      Lecteur4 : V(Mutex_A);
      Redacteur5 : Debut_Ecrire;
```

LECTEURS-RÉDACTEURS MODULAIRES

```
package body MaBase is
   Mutex_A, Mutex_L, Fifo : Semaphore;
   NL : Natural := 0; -- variable persistante

procedure Debut_Lire is
begin
  P(Fifo); P(Mutex_L);
       NL := NL + 1;
       if NL = 1 then
          P(Mutex_A);
       end if;
 V(Mutex_L); V(Fifo)
end Debut_Lire;

procedure
    Debut_Ecrire
  is
begin
   P(Fifo);
    P(Mutex_A);
   V(Fifo);
end Debut_Ecrire;

procedure Fin_Lire is
begin
  P(Mutex_L);
     NL := NL - 1;
     if NL=0 then
        V(Mutex_A);
     end if ;
  V(Mutex_L);
end Fin_Lire;

procedure
    Fin_Ecrire is
begin
    V(Mutex_A);
end Fin_Ecrire;

begin
   E0(Mutex_A,1);E0(Mutex_L, 1); E0(Fifo, 1);
end MaBase;
```

-- lecteurs rédacteurs modulaires (suite)

```
package MaBase is
   procedure Debut_Lire;
   procedure Fin_Lire;
   procedure Debut_Ecrire;
   procedure Fin_Ecrire;
end MaBase;

Procedure Main is
 task type Un_Client;
 Client : array(1..50) of Un_Client;

 task body Un_Client is
 begin loop
   Faire_Ailleurs_La_Preparation;
   MaBase.Debut_Ecrire;
   Acces_Exclusif_En_Ecriture;
   MaBase.Fin_Ecrire;
   Faire_Ailleurs_Un_Autre_Calcul;
   MaBase.Debut_Lire;
   Acces_Concurrent_Possible_En_Lecture;
   MaBase.Fin_Lire;
   end loop;
 end Un_Client ;
begin null; end Main;
```

LE REPAS DES PHILOSOPHES

repas assis avec chaise pour 4 seulement

```
procedure Repas_des_Philosophes is
        Baguette : array (0..4) of Semaphore;
    for I in 0..4 loop E0(Baguette(I), 1); end loop;
        Chaise : Semaphore; E0(Chaise, 4);
```

```
task Philosophe(I) is
begin loop
  Penser;
   P(Chaise);
   P(Baguette(I));
   P(Baguette(I ⊕ 1) ;
  Manger;
   V(Baguette(I));
   V(Baguette(I ⊕ 1) ;
   V(Chaise);
 end loop;
end Philosophe(I)
```

•

```
task Philosophe(J) is
begin loop
  Penser;
   P(Chaise);
   P(Baguette(J));
   P(Baguette(J ⊕ 1));
  Manger;
   V(Baguette(J));
   V(Baguette(J ⊕ 1));
   V(Chaise);
 end loop;
end Philosophe(J);
```

```
begin null; end Repas_des_Philosophes;
-- I et J prennent une valeur entre 0 et 4, et I≠ J
-- ⊕ : calcul modulo 5; par exemple : 4 ⊕ 1 = 0
-- ni interblocage, ni famine
```

VERSION MODULAIRE

```
package Repas is
   procedure Demander(X : in Id);
   procedure Conclure(X : in Id);
end Repas;
procedure Main is
      type Id is mod 5; -- d'où calculs modulo 5
```

```
task Philosophe(I) is
begin loop
  Penser;
  Repas.Demander(I);
  Manger;
  Repas.Conclure(I);
 end loop;
end Philosophe(I)
```

•

```
task Philosophe(J) is
begin loop
  Penser;
  Repas.Demander(J);
  Manger;
  Repas.Conclure(J);
 end loop;
end Philosophe(J);
```

```
begin null; end Main;
```

```
package body Repas is
   Chaise : Semaphore;
   Baguette : array(id) of Semaphore;
 procedure Demander(X : in Id) is
 begin
  P(Chaise); P(Baguette(X)); P(Baguette(X ⊕ 1);
 end Demander;
 procedure Conclure(X : in Id) is
 begin
  V(Baguette(X)); V(Baguette(X ⊕ 1); V(Chaise);
 end Conclure;
begin     E0(Chaise, 4);
   for x in id loop E0(Baguette(x), 1); end loop;
end Repas;
```

STRUCTURE TYPE DES COMPOSANTS DE CONTRÔLE DE SYNCHRONISATION À GROS GRAINS

mécanismes reposant sur de la mémoire partagée

BASE

Données persistantes de contrôle partagées
cohérence de ces données : => toute suite d'accès aux données de contrôle doit être une section critique
=> procédures d'accès en exclusion mutuelle

SYNCHRONISATION

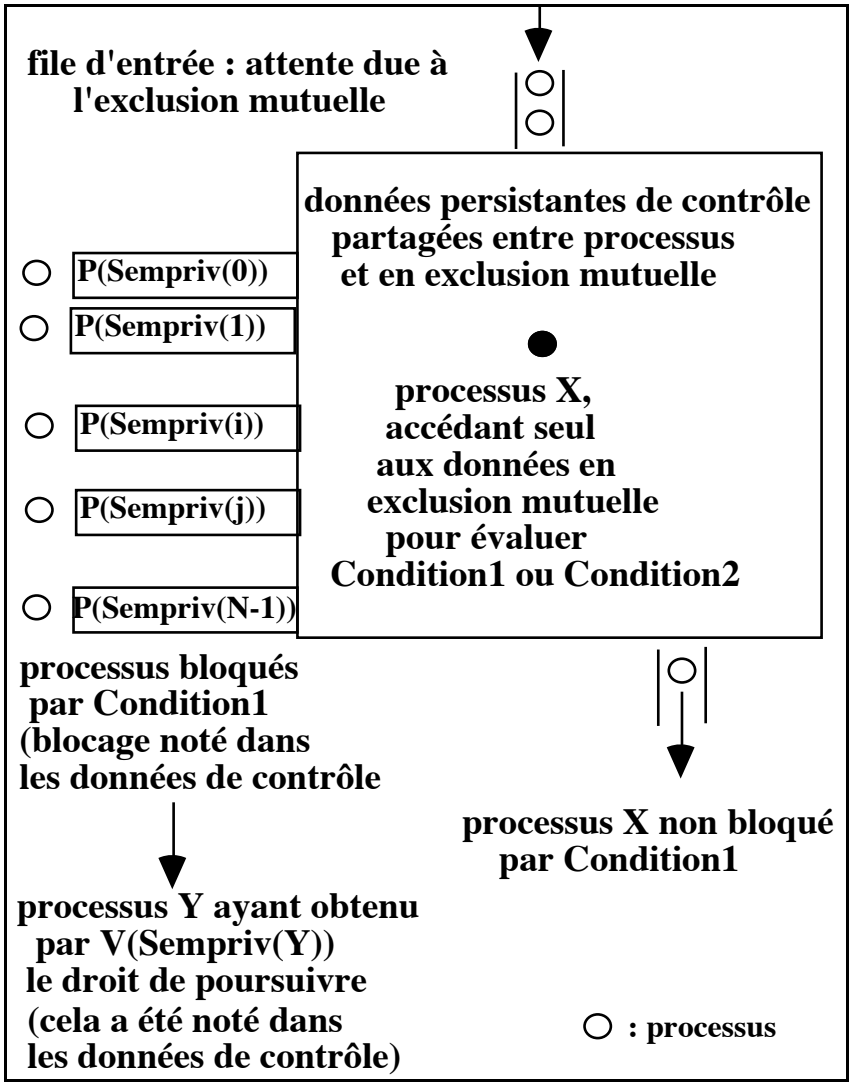
ATTENTE : Si Condition1 alors laisser continuer le processus appelant sinon le bloquer
SIGNAL : Si Condition2 alors alerter un processus quelconque (que ce soit le processus qui utilise le composant de contrôle, un processus bloqué ou un processus non bloqué).

CONTRAINTE : respect de l'exclusion mutuelle sur les données de contrôle, donc pas de blocage de processus en section critique (=> interblocage)

EXEMPLES D'OBJETS DE CONTRÔLE

MONITEUR : mis en place par le compilateur
synchronized method en java,
objet protégé en Ada
SÉMAPHORES: à programmer explicitement par la technique des sémaphores privés

SCHÉMA DES SÉMAPHORES PRIVÉS



COMPOSANT AVEC SÉMAPHORE PRIVÉ

Mutex : Semaphore; E0(Mutex, 1);
Sempriv:array() of Semaphore; E0(Sempriv(),0);
A, B, C, ... : Variables_Partagées

Demande de ressource avec éventuel blocage

```
P(Mutex) ; .....
-- le processus X a obtenu l'accès au composant
-- le booleen Ok est local à X, Ok est non partagé
if Cond1(A, B, C) then Ok := True; end if;
--Cond1 : condition de non blocage de X
V(Mutex);
if not Ok then P(Sempriv(X)); end if;

-- blocage (éventuel) hors section critique
-- X va continuer tout de suite ou plus tard
-- Il faut donc noter dans les données de contrôle
-- si X se poursuit ou s'il est bloqué
-- Le processus Z qui réveillera X devra noter,
-- avant de le réveiller, que X a changé d'état
```

Libération de ressource avec éventuel réveil

```
P(Mutex) ; .....
-- le processus Z a obtenu l'accès au composant
if Cond2(A, B, C) then V(Sempriv(Y)); end if;
--Cond2 : condition de réveil de processus bloqué
-- le processus Y est validé. Z doit le noter
-- dans les données de contrôle
-- car Y ne le fera pas après son réveil
V(Mutex);
```

COMPOSANT AVEC SÉMAPHORE PRIVÉ

Variante historique (Dijkstra)

Demande de ressource avec éventuel blocage

```
--Cond1 : condition de non blocage de X
--Cond2 : condition de réveil de processus bloqué

P(Mutex) ;
-- le processus X a obtenu l'accès au composant
-- le booleen Ok est local à X, Ok n'est pas partagé
if Cond1(A, B, C) then
    Ok := True; V(Sempriv(X));
else
    Ok := False;
end if;
V(Mutex);
P(Sempriv(X));
-- blocage (éventuel) hors section critique
```

Libération de ressource avec éventuel réveil

```
P(Mutex) ; .....
-- le processus Z a obtenu l'accès au composant
if Cond2(A, B, C) then
    V(Sempriv(Y)); -- après le choix d'un Y possible
-- Z doit aussi noter le nouvel état de Y
end if;
V(Mutex);
```

LE REPAS DES PHILOSOPHES

Un philosophe reçoit deux baguettes ou aucune
Allocation globale des baguettes
si et ssi les deux baguettes sont libres
i.e. si aucun des voisins du demandeur ne mange

```
task Philosophe(I : Id) is Ok : Boolean;
begin loop

 PENSER;

 P(Mutex); -- composant de contrôle
 Etat(I) := demande;
 if Etat(I + 1) /= mange and Etat(I - 1) /= mange
        then Etat(I) := mange; Ok := True;
 else Ok := false; end if;
 V(Mutex) ;
 if not Ok then P(Sempriv(I)); end if;

 MANGER;

 P(Mutex); -- composant de contrôle
 Etat(I) := pense;

 -- le philosophe I essaie de réveiller ses voisins
 if Etat(I+1) = demande and Etat(I+2) /= mange
 then Etat(I+1):=mange;V(Sempriv(I+1)); end if;

 if Etat(I-1) = demande and Etat(I-2) /= mange
 then Etat(I-1) :=mange;V(Sempriv(I-1)); end if;
 V(Mutex) ;
end loop; end Philosophe(I) ;
```

variables partagées utilisées pour le contrôle

```
type Id is mod 5; -- d'où calculs modulo 5
type pdm is (pense, demande, mange);
Etat : array(Id) of pdm := (others => pense);

task Philosophe(J : Id) is
        Ok : Boolean;
begin loop

 PENSER;

 P(Mutex); -- composant de contrôle
 Etat(J) := demande;
 if Etat(J + 1) /= mange and Etat(J - 1) /= mange
        then Etat(J) := mange; Ok := True;
 else Ok := false; end if;
 V(Mutex) ;
 if not Ok then P(Sempriv(J)); end if;

 MANGER;

 P(Mutex); -- composant de contrôle
 Etat(J) := pense;

 -- le philosophe J essaie de réveiller ses voisins
 if Etat(J+1) = demande and Etat(J+2) /= mange
 then Etat(J+1):=mange;V(Sempriv(J+1)); end if;

 if Etat(J-1) = demande and Etat(J-2) /= mange
 then Etat(J-1) :=mange;V(Sempriv(J-1)); end if;
 V(Mutex) ;
end loop; end Philosophe(J) ;
```

LE REPAS DES PHILOSOPHES
Allocation globale des baguettes
programmation modulaire

```
procedure Main is
      type Id is mod 5; -- d'où calculs modulo 5
```

task Philosophe(I:Id) is	•	task Philosophe(J:Id) is
begin		begin
loop		loop
Penser;	•	Penser;
Repas.Demander(I);	•	Repas.Demander(J);
Manger;	•	Manger;
Repas.Conclure(I);	•	Repas.Conclure(J);
end loop;	•	end loop;
end Philosophe(I)	•	end Philosophe(J);

```
begin null; end Main;
```

contrôle pour autorisation de manger

```
type pdm is (pense, demande, mange);
Etat : array(Id) of pdm := (others => pense);
function test (x : Id) return boolean is
begin
   return
      Etat(x) = demande
      and then Etat(x ⊕ 1) /= mange
      and then Etat(x ⊖ 1) /= mange;
end test; -- ⊕, ⊖, sont des opérations modulo 5
```

```
package body Repas is
 type pdm is (pense, demande, mange);
 Etat : array(Id) of pdm := (others => pense);
 Mutex : Semaphore;
 Sempriv : array(Id) of Semaphore;
 function test (X : Id) return boolean;-- ci-contre
 procedure Demander(X : in Id) is Ok : boolean;
   begin
      P(Mutex);
      Etat(X) := demande; Ok := test(X);
      if Ok then Etat(X) := mange; end if;
      V(Mutex);
      if not Ok then P(Sempriv(X)); end if;
      -- au réveil mangera sans prévenir
   end Demander;
 procedure Conclure(X : in Id) is
   begin
      P(Mutex); Etat(X) := pense;
      if test(X ⊕ 1) then -- voisin de droite
       Etat(X ⊕ 1) := mange; V(Sempriv(X ⊕ 1));
      end if; -- on a noté le nouvel Etat de X ⊕ 1
      if test(X ⊖ 1) then -- voisin de gauche
        Etat(X ⊖ 1) := mange; V(Sempriv(X ⊖ 1));
      end if; -- on a noté le nouvel Etat de X ⊖ 1
      V(Mutex);
   end Conclure;
begin E0(Mutex, 1);
  for Y in id loop E0(Sempriv(Y), 0); end loop;
end Repas;
```

LOT DE RESSOURCES BANALISÉES

```
package Lot is                                    --LOT
 procedure Prendre(I:Id; X:Integer; Y:out Liste);
 procedure Rendre(X: Integer; Y : Liste);
-- I : nom du processus demandeur
-- X : nombre de ressources demandées
-- Y : liste nominative des ressources reçues
end Lot ;                                         --LOT
```

```
procedure Avec_Ressources_Banalisees is

 type Id is Integer range 1..Nb_Processus;
 task type Processus (I : Id := Nom_Unique);
 Application : array(Id) of Processus;

 task body Processus is                    --PROCESSUS
       Plusieurs : Integer;
       Les_Ressources: Liste;
 begin loop
    Calculer(Plusieurs); -- Plusieurs est le résultat
    Lot.Prendre(I, Plusieurs, Les_Ressources);
    Utiliser(Les_Ressources);
    Lot.Rendre(Plusieurs, Les_Ressources);
end loop; end Processus;

begin null; end Avec_Ressources_Banalisees;
```

Lot de ressources banalisées

Les processus demandent plusieurs ressources qui leur sont allouées globalement sous forme d'une liste de ressources élémentaires

Allocation sous contrôle d'un composant réalisé par la méthode des sémaphores privés.

Les données du composant sont
Amas : tableau de ressources allouables
Amas(J) = 1 quand la ressource J est allouée
Stock : nombre de ressources non allouées
Initialement il y a Stock_Initial ressources

La liste L contient les processus en attente
La liste V indique les ressources qu'ils attendent
-- voir Annexe 1 pour la gestion de listes en Ada

on utilise les sémaphores
 Mutex , Mutex_Amas: Semaphore;
 Sempriv: array(Id) of Semaphore;

```
package body Lot is            --LOT BANALISÉ
 type R_Id is Integer range 1.. Stock_Initial;
 Mutex , Mutex_Amas : Semaphore;
 Sempriv : array(Id) of Semaphore;
 Amas : array(R_Id) of Integer := (others => 0);
 Stock : Integer:= Stock_Initial; L,V: Liste := Ø;
-- ce sont les données persistantes du module

-- PRENDRE
 procedure body Prendre
                  (I : Id; X: Integer; Y: out Liste) is
   Ok : Boolean; J : R_Id ; -- propres à  chaque appel
 begin          -- demander le droit d'en prendre X
   P(Mutex);
   if X <= Stock then
      Stock := Stock -X; Ok := True;
   else
      Ajouter(L,I); Ajouter(V,X); Ok := False;
   end if;
   V(Mutex);
   if not Ok then P(Sempriv(I)); end if;
-- I a obtenu le droit de prendre ses X ressources
   P(Mutex_Amas); J := 1; Y := Ø; -- liste vide
   for K in 1..X loop
     while Amas(J) /= 0 loop J := J + 1; end loop;
     Amas(J) := 1; Ajouter(Y,J); J := J + 1;
     end loop;
   V(Mutex_Amas);
 end Prendre;
```

```
-- RENDRE
 procedure body Rendre(X: Integer; Y: Liste) is
    Lui : Id; K : Integer;
begin                  -- le processus remet X ressources
   P(Mutex_Amas); -- restituer les ressources
   for J in 1..X
      loop Oter(Y, J); Amas(J) := 0; end loop;
   V(Mutex_Amas);
                              -- et le dit au contrôle
   P(Mutex); Stock := Stock + X;
   while not EstVide(L) loop
      Premier(L, Lui); Premier(V, K);
      exit when K > Stock;
      Oter(L, Lui); Oter(V, K);
      Stock := Stock - K;
      -- on doit noter que Lui peut se servir
      V(Sempriv(Lui));
   end loop;
   V(Mutex);
 end Rendre;

begin E0(Mutex_Amas,1);
E0(Mutex, 1);
  for I in Id loop E0(Sempriv(I),0) ; end loop;
 end Lot;
```

CONTRÔLE DE CONCURRENCE ET SYNCHRONISATION DES PROCESSUS

• l'exclusion mutuelle ne suffit pas pour traiter tous les aspects de la synchronisation et le contrôle entre les processus concurrents
• il faut aussi pouvoir bloquer un processus et réveiller un processus

SÉMAPHORES
On a vu qu'on peut traiter tous les cas avec le seul mécanisme des sémaphores

MONITEURS (ET JAVA)
• le moniteur ajoute le type condition et une file d'attente associée à chaque variable de type condition
ainsi que des primitives wait x, signal x, avec x : condition
Un processus se bloque par wait et libère le moniteur
Un processus réveille un autre processus par signal, mais un seul processus utilise le moniteur, l'autre doit attendre la libération du moniteur
• En java cela s'appelle wait(), notify(), notifyAll()
et il n'y a qu'une condition anonyme avec une seule file d'attente par moniteur

OBJETS PROTÉGÉS
• les conditions sont remplacées par des gardes sur les appels de procédure, transformées en entrées gardées par des expressions booléennes. Un processus appelant une procédure ou une entrée s'exécute sans préemption, en exclusion mutuelle. La fin d'une exécution d'entrée soit s'accompagne d'un retour du processus vers la procédure appelante, soit bloque à nouveau le processus si l'instruction requeue nom_d_entrée est programmée. L'objet protégé est libéré pour un autre processus. Avec les gardes et le requeue, on peut programmer l'utilisation d'un objet protégé comme un automate synchronisé.

```
//PRODUCTEUR CONSOMMATEUR EN JAVA//

class Buffer{
    protected final int max;
    //"protected" : accessible dans la classe
    // "final" : variable non mutable
    protected final Object[] data; // tableau d'Objet
    protected int nextIn=0, nextOut=0, count=0;

    public Buffer(int max){
        this.max = max;
        this.data = new Object[max];
    }

    public synchronized void put(Object item) {
        while (count == max)
            try {wait(); }
            catch (InterruptedException e){}
        data[nextIn] = item ;
        nextIn = (nextIn+1) % max;
        count++;
        notify();
    }

    public synchronized Object get() {
        while (count == 0) {
            try {wait(); }
            catch (InterruptedException e){}
        Object result = data(nextOut))) ;
        nextOut = (nextOut+1) % max;
        count--;
        notify();
        return result;
    }
}   // fin de la déclaration de la classe Buffer

// noter l'emploi de notify car il n'y a qu'une
// cause de blocage à un instant donné
// valable même si on a plusieurs producteurs ou
// consommateurs
// chaque moniteur n'a qu'une condition anonyme
```

```
class Producer implements Runnable{
    protected final Buffer buffer;
    Producer(Buffer buffer){this.buffer=buffer;}
    public void run(){
        try{
            for (int j=1; j<=100; j++){
                Thread.sleep(500);
                buffer.put( new Integer(j) );
            }  // fin du bloc où est levée l'exception
        } catch(InterruptedException e) {return}
    }
}                       // fin de la classe Producer

class Consumer extends Thread {
    protected final Buffer buffer;
    Consumer(Buffer buffer){this.buffer=buffer;}
    public void run(){
        try{
            for (int j=1; j<=100; j++){
                Integer p = (Integer) (buffer.get());
                System.out.println("consommé" + p) ;
                Thread.sleep(1000);
            }  // fin du bloc où est levée l'exception
        } catch(InterruptedException e) {return}
    }
}                       // fin de la classe Consumer
```

```
// voici le programme principal

public class ProducerConsumer{
    static Buffer buffer = new Buffer(20);
    public static void main (String[] args) {

    // on crée un producteur et un consommateur
        // on doit leur passer les objets partagés
        // c'est à dire ici l'objet buffer

        Producer p = new Producer(buffer);
        Thread pt = new Thread(p);
            // car le producteur est Runnable

        Consumer c = new Consumer(buffer);
        pt.start() ;
        c.start();
    }
}

 //FIN DU PRODUCTEUR CONSOMMATEUR //
                        // EN JAVA //
```

OBJETS PROTEGES DE ADA 95

♦ objets protégés et types protégés

• ce sont des objets partageables
• les accès sont en exclusion mutuelle
• les fonctions (accès lecture seule) peuvent être concurrentes (si le compilateur l'implante)
• l'exécution de procédure est contrôlable par des gardes ("barriers") avec la clause :
entry e when expression_booléenne is...
• indéterminisme si plusieurs entry et plusieurs gardes sont vraies
• peut ne pas exécuter de retour de procédure et aller attendre sur une autre entry :
instruction requeue
• permet par exemple d'examiner les paramètres effectifs d'un appel
• requeue renvoie à une entrée d'objet protégé et ne termine pas l'entry qui se termine de façon habituelle (sans libérer l'appelante)
• la partie privée peut contenir des données et des entry: clause private
• avec ces gardes et requeue, on peut programmer l'accès concurrent à un objet protégé comme un automate l'automate est sous contrôle des gardes;

♦ sémantique d'un objet protégé

• chaque accès (fonctions, procédures et entrées) est une section critique protégée par un verrou ("lock"); il y a un verrou par objet protégé; s'il y a plusieurs appels concurrents, un seul est pris, les autres sont en "attente externe", ainsi que les appels arrivant pendant un accès ;
• si une entrée est appelée, sa garde est évaluée;
•• l'évaluation de la garde est en section critique
•• si la garde est vraie, l'entrée est exécutée et l'exécution se fait en exclusion mutuelle;
•• si la garde est fausse, la tâche appelante est mise en "attente interne" et est placée dans une file d'attente associée à l'entrée appelée;
• quand une procédure ou une entrée se termine, toutes les gardes des entrées qui ont une tâche en attente interne sont évaluées;
•• si une garde au moins est vraie, l'une des tâches en attente interne sur cette entrée (et une seule) reçoit l'accès exclusif à l'objet protégé;
•• le choix d'une tâche parmi plusieurs possibles est non déterministe;
•• les tâches en attente interne ont priorité sur les tâches en attente externe; en particulier, un nouvel appel d'entrée ne peut pas évaluer de garde tant que l'appel en cours (et tous les appels qui sont en attente interne et dont les gardes seront vraies à la fin de l'appel en cours) n'est pas terminé.

```
generic    max : positive; type Item is private;
package Composant is
Item_Array is array(Integer range < >) of Item;

Protected type Canal is  -- partie spécification
    entry Deposer (X : In Item);
    entry Retirer (X : out Item);
private -- variables persistantes pour chaque objet
    A : Item_Array (1 .. max);
    I, J : Integer range 1 .. max := 1;
    Compte : Integer range 0 .. max := 0;
end Canal ;

Protected body Canal is  -- partie réalisation

    entry Deposer (X : In Item) when Compte < max is
    begin
        A(I) := X;
        I := I mod max + 1;
        Compte := Compte + 1;
    end Deposer ;

    entry Retirer (X : out Item) when Compte > 0 is
    begin
        X := A(J);
        J := J mod max + 1;
        Compte := Compte - 1;
    end Retirer ;
end Canal ;
end Composant ;
```

ADA : OBJET PROTÉGÉ

Producteurs-Consommateurs avec composant générique

```
Procedure Main is

 Package A is new Composant (6, String);
 Package B is new Composant (2, Integer);

 Requete : A.Canal
 Reponse : B.Canal;

 task Client is
    R : String; Val : Integer;
 begin loop
    Faire_Ailleurs_Et_Preparer(R);
    Requete.Deposer(R); Reponse1.Retirer(Val);
    end loop; end Client;

 task  Serveur is
    S : String; V : Integer;
 begin loop
    Requete.Retirer(S);
    Traiter_Requete(S, V); Reponse.Deposer(V);
 end loop; end Serveur;

begin null; end Main;
```

TYPE SEMAPHORE EN ADA95

```
                                --specification : ads
package Semaphores is
---------
-- ce paquetage implémente le type Semaphore
--       et les primitives classiques P, V and E0
-- chaque sémaphore déclaré est réalisé
--                          par un objet protégé
-- en Ada, un objet limité privé ne peut être
--     ni copié ni modifié en dehors du paquetage

  type Semaphore is limited private;
  procedure P (S : in out Semaphore);
  procedure V (S : in out Semaphore);
  procedure E0 (S : in out Semaphore; I : in Natural);

private

  protected type Semaphore is
    entry V;
    entry P;
    entry E0(X : in Natural);  -- X ≥ 0
    private  -- variables persistantes de chaque Semaph.
      E : Natural;  -- E ≥ 0 dans cette implantation
      INIT : Boolean := false; -- E0 fait avant P ou V
  end Semaphore ;
end Semaphores ;                    -- fin de l'ads
```

```
                                                -- corps : adb
package body Semaphores is

   protected body Semaphore is

      entry V when INIT is
         begin E := E + 1; end V;

      entry P when INIT and then E> 0 is
         begin E := E - 1; end P;

      entry E0(X : in natural) when not INIT is
         begin E := X; INIT := true; end E0;

      end Semaphore ;

   procedure P (S : in out Semaphore ) is
      begin S.P; end P;

   procedure V (S : in out Semaphore ) is
      begin S.V; end V;

   procedure E0
                  (S : in out Semaphore; I : in Natural) is
      begin S.E0(I); end E0;

end Semaphores ;                    -- fin de l'adb
```