TD 7 Esterel

Exercice 1 – Producteur-consommateurs : signaux valués multiples

Le problème assemble un producteur, deux consommateurs et le gérant du stock de l'unique produit : il met à jour le nombre de produits disponibles.

Les signaux d'entrée sont : C1 et C2 pour indiquer la demande d'un des deux consommateurs, arrivant aléatoirement de l'extérieur et FIN qui arrête le travail de la journée.

Dans un premier temps on accepte une seule demande par instant : écrire déclaration et relation.

On impose le comptage des produits reçus par chaque consommateur, le comptage des produits fabriqués par le producteur et évidemment le stock. Les variables `stock`, `nbprod`, `nbconso1` et `nbconso2` sont sorties en fin de programme grâce respectivement aux signaux de sortie valués `FS`, `FP`, `FC1` et `FC2`.

Question 1

Donner la structure générale du programme.

Question 2

Ecrire le producteur : il produit dès le départ, émettant le signal de sortie `P` après 3 tick (destiné au gérant), incrémente sa production et attend pour recommencer à produire le signal P_S (produit stocké) émis par le gérant.

Solution:

```
% $ESTEREL/bin/esterel -simul prod_conso_gerant.strl gerant.strl \
%      producteur.strl consommateur.strl -B prod_conso_gerant
%
%
% gcc -o prod_conso_gerant prod_conso_gerant.c -L $ESTEREL/lib/ -lcsimul
%



module producteur :

input  FIN;
output P, FP    : integer;
output P_S;

var nbprod := 0 : integer in
   abort
      loop
         await 3 tick;          %duree fabrication
         nbprod := nbprod + 1;
         emit P;
         await immediate P_S
      end loop
   when FIN;
   emit FP(nbprod)
end var

end module
```

Question 3

Un consommateur recevant l'entrée qui lui est associée (C1 ou C2) envoie un signal C valué par son numéro : il demande ainsi un produit au gérant et attend C_S(num) (consommateur servi) avant de reprendre toute commande. Lorsque le signal C_S(num) le concerne, il incrémente le nombre de produits reçus. Une demande C1 n'est pas nécessairement satisfaite, le gérant répond alors par C_S(0).Ecrire le consommateur 1.

Solution:

```
% $ESTEREL/bin/esterel -simul prod_conso_gerant.strl gerant.strl \
%      producteur.strl consommateur.strl -B prod_conso_gerant
%
%
% gcc -o prod_conso_gerant prod_conso_gerant.c -L $ESTEREL/lib/ -lcsimul
%
```

```
module consommateur :

input  FIN;
input  Ci, C_S   : integer;
output C         : integer;
output FC        : integer;
constant numero  : integer;

var nbconso := 0 : integer in
   abort
      loop
         await Ci;
         emit C(numero);
         await immediate C_S;
         if ?C_S = numero
             then nbconso := nbconso + 1
         end if
      end loop
   when FIN;
   emit FC(nbconso)
end var

end module
```

Question 4

Le gérant est plus complexe. On impose que le traitement des signaux du producteur et du consommateur soit réalisé par des branches parallèles : `stock` ne peut être partagée -même en lectuire seule- et doit être consultée et modifiée dans un traitement unique. Pour cela, le signal multiple valué `S` peut être émis plusieurs fois pour indiquer les modifications souhaitées par les branches (+1 pour accepter un produit et -1 pour livrer un produit) ; il présente le bilan de traitement des branches et permet la mise à jour du stock en fin d'instant. De la même manière, des signaux internes, locaux au gérant, `MAX_L` et `VIDE_L` émis permettent d'avertir les branches des conditions de blocage temporaire de leur activité.

Le point délicat concerne la reprise de la production lorsque le stock est plein. Rappel : sauf pour les signaux multiples, un *signal d'entrée* deja présent dans l'instant ne peut y être émis de nouveau.

Solution:

```
% $ESTEREL/bin/esterel -simul prod_conso_gerant.strl gerant.strl \
%      producteur.strl consommateur.strl -B prod_conso_gerant
%
%
% gcc -o prod_conso_gerant prod_conso_gerant.c -L $ESTEREL/lib/ -lcsimul
%



module gerant :

input    FIN;
constant max : integer;
input    C : integer;           %val 1 ou 2, commande d'un client
output   P;                     %emis par le producteur
output   MAX, VIDE;
output   C_S : integer; % gerant pour signaler que l'operation demandee est
output   P_S;           %  prise en compte.
output   ST : integer, FS : integer;

var stock := 0 : integer in
   abort
      %gerant du stock
      var attend := false : boolean in
         signal MAX_L, VIDE_L, S : combine integer with + in
            % L pour local au traitement d'un pas de boucle
            % introduit pour eviter que VIDE en 'debut'
            % d'instant cohabite avec ST(1) en 'fin'
            % du traitement de l'instant dans le gerant
            loop
               if stock = max
                   then emit MAX_L
               else if stock = 0 then emit VIDE_L end if
               end if;

               [
                  %on autorise un seul retrait a la fois
                  present C then
                     present VIDE_L
                     else emit S(-1);
                          emit C_S(?C)
                     end present
                  end present
               ||
                  %partie gerant le producteur
                  present P then
                     present MAX_L then
                        attend := true;
                     else emit S(1);
                          emit P_S;
                          present VIDE_L then
```

```
                              emit C_S(0)    %pour accepter une
                                             % nouvelle demande client
                           end present
                        end present
                     else
                        % relancer la production si necessaire des
                        % qu'on descend sous le max
                        present MAX_L
                        else if attend then
                                emit S(1);
                                attend := false;
                                emit P_S
                           end if
                        end present
                     end present
                  ];

                  %obligatoire !!!
                  present S then  stock := stock + ?S end present;
                  emit ST(stock);
                  % facultatif : informer l'observateur des cas de
                  % blocage temporaire
                  if stock = max  then emit MAX
                  else if stock = 0 then emit VIDE end if
                  end if;
                  pause
               end loop
            end signal
         end var
      when FIN;
      emit FS(stock)
end var

end module
```

Solution:

```
% $ESTEREL/bin/esterel -simul prod_conso_gerant.strl gerant.strl \
%      producteur.strl consommateur.strl -B prod_conso_gerant
%
%
% gcc -o prod_conso_gerant prod_conso_gerant.c -L $ESTEREL/lib/ -lcsimul
%



module prod_conso_gerant :

constant max = 5 : integer;

input FIN;
```

```
%%%%%%%%%% consommateur
input C1, C2;
relation C1 # C2;

%%%%%%%%%% producteur
output P;               % emis par le producteur a intervalle regulier

output C_S : integer;   % gerant pour signaler que l'operation demandee est
output P_S;             %  prise en compte.
output MAX, VIDE;
output FP : integer,    % emttre a la fin les quantites du producteur
       FS : integer,    %   du stock du gerant
       FC2 : integer,   %   du consommateur 1
       FC1 : integer;   %   du consommateur 2
output ST : integer;

signal C_L : integer in % emis par les consommateurs 1 ou 2, producteur
      % gerant
      run gerant [constant 5/max; signal C_L/C]
   ||
      % producteur
      run producteur
   ||
      % consommateur 1
      run consommateur [constant 1/numero; signal C_L/C, C1/Ci, FC1/FC]
   ||
      % consommateur 2
      run consommateur [constant 2/numero; signal C_L/C, C2/Ci, FC2/FC]
end signal

end module
```

Exercice 2 – Calculs en C appelés dans esterel

Esterel n'est pas limite à l'émisson de signaux : par exemple, des valeurs de régulation à transmettre peuvent faire appel à des calculs complexes, appelant des bibliothèques de calcul scientifique C. L'appel d'une fonction C se fait par l'instruction call fonction(liste param résultat)(liste param d'entrée). La liaison est évidemment facilitée par le fait que le traducteur esterel produit du C et l'incorporation de procédures se fait facilement lors de l'édition de lien. Cependant, cette étape doit être soigneusement préparée, d'une part par une déclaration dans le code esterel séparant en deux listes distinctes les paramètres de retour et les paramètres d'entrée (dans cet ordre) et d'autre part dans un fichier nom.h (syntaxe C) portant le même nom que le programme esterel nom.strl. Les paramètres ont des valeurs simples (entiers, flottants, chaines, booléens) ; dans la fonctions C associée, les données d'entrée sont des valeurs et les résultats sont des pointeurs sur les types correspondant. Le premier exercice émet simplement des signaux à valeurs aléatoires entre 1 et une valeur maximum. Voici le programme C permettant l'initialisation du generateur et la production d'une nouvelle valeur entre 0 et borne - 1 :

```
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <time.h>
#include <limits.h>
#include <stdlib.h>
```

```
void init (int *sortieinutile, int entreeinutile) {
  time_t t1;

  (void) time(&t1);
  srand((long) t1);
}

void alea (int *resalea, int borne) {
  int rd;

  rd = rand();
  *resalea = (((double) rd) / RAND_MAX) * borne;
}
```

Question 1

Ecrire le programme `delaialea.strl` comportant une boucle qui, lors de chaque pas :

- demande le calcul d'un nouveau nombre entre 0 et une borne (- 1) donnée,
- émet la valeur obtenue dans un signal de sortie valué S,
- utilise ce nombre pour faire une attente de 1 à borne `tick`.

Solution:

```
% $ESTEREL/bin/esterel -simul prod_conso_gerant.strl gerant.strl \
%      producteur.strl consommateur.strl -B prod_conso_gerant
%
%
% gcc -o prod_conso_gerant prod_conso_gerant.c -L $ESTEREL/lib/ -lcsimul
%



module consommateur :

input  FIN;
input  Ci, C_S   : integer;
output C         : integer;
output FC        : integer;
constant numero  : integer;

var nbconso := 0 : integer in
   abort
      loop
         await Ci;
         emit C(numero);
         await immediate C_S;
         if ?C_S = numero
             then nbconso := nbconso + 1
         end if
      end loop
   when FIN;
   emit FC(nbconso)
end var
```

```
end module
```

Deuxième exemple : On veut simuler avec cette technique l'arrivée aléatoire de 3 clients numérotés de 1 à 3 : une branche demande le calcul d'un nombre et émet la valeur obtenue vers les autres branches au travers d'un signal valué. Trois autres branches comptent simplement le nombre d'arrivée de chacun des clients. Un signal `FIN` arrête le processus et provoque l'affichage des trois compteurs.

Question 2

Ecrire une version formée de 4 boucles se déroulant en parallèle.

Solution:

```
module clientalea :

output S := 0 : integer;
input FIN;
output F1 : integer, F2 : integer,F3 : integer;

procedure init (integer) (integer);
procedure alea (integer) (integer);

var res:=1 :integer, donnee:=0 : integer, n1:=0 : integer,
    n2:=0 : integer, n3:=0: integer in

   call init(res)(donnee);

   abort
      [
         loop
            call alea(res)(3);
            emit S(res +1);
            %await (res + 1) tick;
             pause;
         end loop;
      ||
         loop
            await immediate S;
            if ?S = 1 then n1 := n1+1;
            end if;
            pause;
         end loop;
      ||
         loop
            await immediate S;
            if ?S = 2 then
               n2 := n2+1;
            end if;
            pause;
         end loop;
      ||
         loop
            await immediate S;
            if ?S = 3 then
```

```
               n3 := n3+1;
            end if;
            pause;
         end loop;
      ]
   when FIN do
      emit F1(n1);
      emit F2(n2);
      emit F3(n3);
   end abort;
end var

end module


% clientalea.h doit contenir les declarations c des fonctions init et alea
% esterel -simul clientalea.strl
% gcc -o clientalea clientalea.c alea.o \
%      -I \$ESTEREL/include -L $ESTEREL/lib -lcsimul
```

`alea.c` contient les definitions de alea et init
clientalea.h doit contenir les declarations c des fonctions init et alea
gcc -ansi -Wall -c alea.c ,pour creer alea.o
esterel -simul clientalea.strl cree clientalea.c comme d'habitude
gcc -o clientalea clientalea.c alea.o ../libcsimul.a cree clientalea, pret a executer ...
avec sequence `;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;...;;FIN;`

exemple de sortie : F1(446) F2(454) F3(467)

Question 3

On peut remarquer que chaque boucle exécute exactement un pas lors de chaque instant ; on peut donc écrire une seule boucle contenat des braches parallèles. Modifier le programme précédent pour mettre en uvre cette solution.

Solution:

```
module clientaleabis:

%{
  variante : comme chaque branche avance exactement d'un pas de boucle pendant
  un instant, la boucle peut etre sequentielle et contenir les branches.
  On deplace aussi l'amorce du travail de l'instant (emission de S).
  Un sequentiel avec if imbriques pourrait faire l'affaire mais ...
  l'interet est d'avoir des taches tres simples faciles a
  concevoir/ecrire/mettre en circuits
}%

output S := 0 :integer;
input FIN;
output F1 : integer, F2 : integer, F3 : integer;

procedure init (integer) (integer);
procedure alea (integer) (integer);
```

```
var res := 1 : integer, donnee := 0 : integer,
    n1 := 0 : integer, n2 := 0 : integer,
    n3:= 0: integer in
   call init(res)(donnee);
   abort
      loop
         [
            await immediate S;
            if ?S = 1 then n1 := n1+1;
            end if;
         ||
            await immediate S;
            if ?S = 2 then n2 := n2+1;  end if;
         ||
            await immediate S;
            if ?S = 3 then n3 := n3+1;   end if;
         ||
            call alea(res)(3);
            emit S(res + 1);
         ];
         pause;
      end loop;
   when FIN do
      emit F1(n1);
      emit F2(n2);
      emit F3(n3);
   end abort;
end var

end module


% clientaleabis.h doit contenir les declarations c des fonctions init et alea
% esterel -simul clientaleabis.strl
% gcc -o clientaleabis clientaleabis.c alea.o \
%      -I \$ESTEREL/include -L $ESTEREL/lib -lcsimul
```

Exercice 3 – Une machine à café modulaire

On veut écrire un module attend_prix réutilisable dans de mutiples distributeurs pour recevoir une certaine somme fixée par une constante prix_produit, 4 par exemple. Dans un premier temps on accepte uniquement des pièces de 1, 2 unités monétaires (signal valué d'entrée PIECE, de sortie PIECE_REJETEE pour une autre pièce). Le module cumule les entrées jusqu'à ce que le prix soit atteint ou dépassé, tout en surveillant l'annulation (signal d'entrée ANNULER) qui renvoie les pièces déjà émises (signal de sortie valué RETOUR).
Lorsque la somme cumulée atteint -ou dépasse le prix de la boisson, le module émet PRIX_ATTEINT ; si la somme cumulée dépasse le prix le module rend la monnaie (signal de sortie valué MONNAIE).
Il attend que la boisson soit prise (signal PRODUIT_SERVI) ou pour reprendre au début, attendre de nouvelles pièces.

L'instruction trap (condition portant sur des variables) permet de sortir de la phase d'acquisition des pièces et de rendre la monnaie (signal de sortie valué MONNAIE) si nécessaire ; l'instruction abort (portant sur les signaux) permet de traiter le retour de la somme déjà acquise (signal de sortie valué RETOUR).

Question 1

Ecrire l'ensemble du module.

Solution:

```
% verification de prix; tout est au meme prix

module attend_prix_annul :

constant Prix_Produit : integer;
input    PIECE : integer, ANNULER;
output   PIECE_REJETEE, RETOUR : integer;
output   TEST_PRIX : integer;
output   MONNAIE : integer;
output   PRIX_ATTEINT;
input    PRODUIT_SERVI;

loop
   var prix_total := 0 : integer in
      abort
         % pour quitter every par condition EXTERNE (l'entree ANNULER)
         trap paye in
            % pour quitter la   boucle every par condition INTERNE
            every PIECE do
               if (?PIECE < 3)
                   then prix_total := prix_total + ?PIECE
               else
                  emit PIECE_REJETEE
               end if;
               if (prix_total >= Prix_Produit)
                   then exit paye
               end if;
               emit TEST_PRIX(prix_total)
            end every
         handle paye do
            if prix_total > 4
                then emit MONNAIE(prix_total - Prix_Produit);
            end if;
            emit PRIX_ATTEINT
         end trap
      when ANNULER do
         if prix_total > 0
             then emit RETOUR(prix_total)
         end if
      end abort
end var;
await immediate [PRODUIT_SERVI or RETOUR];
pause
end loop
```

```
end module
```

Question 2

Le second module servir_produit est plus simple : il reçoit PRIX_ATTEINT, NUM_PRODUIT et émet SERVIR avec ce numéro du produit (signal de sortie valué NUM_PRODUIT) ; une pause de durée déterminée par la constante durée simule la préparation/livraison paramétrable et émet PRODUIT_SERVI.

Solution:

```
% Variante : plutot que n boutons, cette solution utilise un signal value

module service_produit :
input PRIX_ATTEINT, NUM_PRODUIT : integer;
output SERVIR : integer;
output PRODUIT_SERVI;
constant duree : integer;

every PRIX_ATTEINT do
   await NUM_PRODUIT;
   emit SERVIR(?NUM_PRODUIT);
   await duree tick;
   emit PRODUIT_SERVI;
end every

end module
```

Les signaux de communication entre les deux modules sont donc PRIX_ATTEINT et PRODUIT_SERVI.

Question 3

Ecrire une machine à boissons chaudes mach_boisson_run (on peut supposer que le numéro 1 est associé à un café, 2 à un thé, 3 à un chocolat) qui utilise ces modules. Veiller à ce que les signaux circulant (émis par l'un utilisé par l'autre) entre les modules soient internes au module de la machine. Les signaux entrants et sortants doivent être redéclarés dans la machine avec une correspondance assurée dans l'instruction run.Donner une séquence de signaux d'entrée pour tester le fonctionnement. **Solution**:

```
module mach_boisson_run :

% entree-sorties utilisees par le module attend_prix_annul
input  PIECE : integer, ANNULER;
output PIECE_REJETEE, RETOUR : integer ;
output TEST_PRIX : integer;
output MONNAIE : integer;

%entree-sorties utilisees par le module service_produit
input  NUM_BOISSON : integer;
output SERVIR : integer;

%entree-sorties propres a ce module
input INC;
```

```
output HS;

relation PIECE # NUM_BOISSON # ANNULER;

% PRIX_ATTEINT est sortie d'un sous-module, entree d'un autre
% ==> il est interne

signal PRIX_ATTEINT, PRODUIT_SERVI in
   trap horsService in
      loop
         await INC;
         %incident
         emit HS;
         exit horsService;
      end loop
   ||
      [
         run attend_prix_annul [constant 4 / Prix_Produit]
      ||
         run service_produit [constant 2 / duree;
                              signal NUM_BOISSON / NUM_PRODUIT]
      ]
   end trap
end signal

end module

% esterel -simul attend_prix_annul.strl service_boisson.strl \
%   mach\_boisson_run.strl -B mach_boisson_run
   % gcc -c mach_boisson_run mach_boisson_run.c -lcsimul.a
   %;PIECE(1);
   %   PIECE(2);PIECE(1);NUM\_BOISSON(1);;
   % ;;;;;;;PIECE(1);; PIECE(2);
   %   PIECE(2);NUM\_BOISSON(2); ;;;;;
   %   PIECE(1); PIECE(1); ANNULER;NUM\_BOISSON(1); PIECE(1); PIECE(3);
   %   PIECE(2);
   % PIECE(2);NUM\_BOISSON(2);;;;;PIECE(1);;
   %   PIECE(2);
   % PIECE(1) NUM\_BOISSON(2);->interdit par
   %   relation  PIECE(1) PIECE(2); ->erreur
   %   signal unique  PIECE(1)
   %   ANNULER;->interdit par relation \\%
```

Exercice 4 – Lecteur de CD lectcd lectcdpar

On veut simuler un lecteur de CD, sans fonction pause : on arrête la musique soit en ouvrant le tiroir, soit parce que le signal FIN_CD arrive de l'extérieur.*Dans cette première version, on impose un mouvement du tiroir entre le retrait d'un disque et le positionnement d'un nouveau disque.*Les signaux d'entrée :TIROIR (bascule ouvrant et fermant le tiroir), prioritaire arrête le sonPLAY démarre le sonMCD et PCD indiquent la mise (ou prise) d'un CD par l'utilisateur. FIN_CD indique la fin normale du disqueLes signaux de sortie :Musique, émis lors de chaque instant lorsque PLAY

est appuyé dans l'état 'tiroir fermé et plein' SansDisque, lorsque PLAY est appuyé dans l'état 'tiroir fermé et vide', auxquels s'ajoutent des signaux échos destinés à la période de test :OUV_S, FERM_S (pour les deux changements d'état de TIROIR), MCD_S, PCD_S, FIN_S, CD_S(boolean) informe également sur la présence d'un disque dans le tiroir lors de chaque mouvement.Deux variables booléennes disque et ouvert conservent les informations d'état nécessaires entre les signaux.

Question 1

Quel est le signal principal, prenant le pas sur tous les autres ? Quels sont les états important (le mot état est pris ici au sens usuel : situation stable changée par certains signaux) ? **Solution**:

TIROIR : toute émission de ce signal interrompt les actions des autres signaux. On doit savoir à chaque instant si le tiroir est ouvert ou fermé, si un disque est présent ou non : les variables sont basculées lors de l'arrivée de certains signaux et sont utilisées pour que cet état soit conssultable pendant tous les instants intermédiaires. En période de test, pour l'observateur on émet un signal de indiquant le sens du mouvement du tiroir, aux instants où il change d'état. On simule ici le son par le signal musique, interrompu par FIN_CD ou TIROIR (priorité à l'abort le plus externe)

Schéamtiquement :

tout mouvement du tiroir bascule la varaible disque si ouvert, on attend un signal concernant la mise ou prise de CD M_CD,P_CD qui basculent la variable disquesi non ouvert, on attend le signal PLAY - valide seulement si disque en place

Question 2

Ecrire un programme séquentiel décrivant un lecteur de CD.

every Send every ***équivaut à (mieux vaut utiliser la 2eme forme déjà vue)****loopabortwhen Send loop*

Solution:

```
module lectcd :

input TIROIR, MCD, PCD, PLAY, FIN_CD;
output TIR_S, OUV_S, FERM_S, MCD_S, PCD_S, Musique,
       SansDisque, FIN_S;
output IGNORE;

var disque := false : boolean,
    ouvert := false : boolean in
   every TIROIR do
      ouvert := not ouvert;
      if ouvert then
         emit OUV_S
      else
         emit FERM_S
      end if;
      % pour test
      if ouvert then
         await [PCD or MCD];
         present PCD then
            if disque then
               emit PCD_S;
               disque:= false;
            else emit IGNORE
            end if
         end present;
```

```
         present MCD then
            if not disque then
               emit MCD_S;
               disque:=true;
            else
               emit IGNORE
            end if;
         end present
      else
         await PLAY;
         if disque then
            abort
               sustain Musique
            when FIN_CD
                do  emit FIN_S
            end abort
         else
            emit SansDisque
         end if
      end if
   end every
end var

end module

%{
    ;TIROIR;MCD;PLAY;;;;;;;;;;TIROIR
    ;PLAY;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;TIROIR;PCD;

  ;;;TIROIR;MCD;TIROIR;PCD;TIROIR;PLAY;;;;;;;;;;;;;FIN_CD;;;;
}%
```

;TIROIR ;MCD ;PLAY ;;;;;;;;;;TIROIR ;PLAY ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;TIROIR ;PCD ;
;;;TIROIR ;MCD ;TIROIR ;PCD ;TIROIR ;PLAY ;;;;;;;;;;;;;FIN_CD ;;;;

Question 3

On veut écrire une version parallèle séparant :

- la gestion spécifique du signal des mouvements du tiroir
- la gestion des signaux MCD / PCD
- la gestion du son par PLAY / FIN_CD

Les portions de code de la version séquentielle concernant ces parties ne peuvent être mises en parallèle puisqu'elles partagent les variables.Deux solutions classiques peuvent être mises en oeuvre :

- un changement d'état déclenche un signal 'continu' (émis à chaque instant d'un état stable hors abandon) pour informer les autres branches ;
- une variable partagée dont la valeur ne change pas à chaque instant est dupliquée à un point de synchronisation sans parallèlisme ; les branches travaillent alors sur l'état connu en fin d'instant précédent encore valide (puisque que le signal provoquant le changement de valeur est prioritaire).

On utilise la première technique pour la variable ouvert, la seconde pour la variable disque dupliquée en une variable cd utilisée par la branche traitant PLAY. Ecrire le module correspondant.

Exercice 5 – Threads concurrents et synchronisation en Esterel

On veut simuler le rayon `fruits` d'une supérette : on suppose qu'il y a trois étalages de fruits (Bananes, Pommes, Oranges), initialement fournis chacun avec 10 kilos de fruits et au plus deux clients qui se servent simultanément dans le même bac. Un gérant automatique de chaque étalage connaît à chaque instant la quantité disponible de chaque fruit, il doit prévenir un employé lorsqu'il reste moins de 2 kilos d'un fruit pour qu'un cageot soit ajouté et éviter ainsi la rupture de stock. Le signal d'entrée `B1, O1`, ou `P1` (resp. `B2, O2`, ou `P2`) indique que le client 1 (resp client 2) souhaite se servir un kilo du fruit B, O ou P. Bien sur, un client ne peut se servir que d'une sorte de fruit à la fois. Un instant plus tard, le client dispose de son kilo de fruit, chaque balance intelligente émet l'un des signaux valués `B(1), O(1), P(1)` (destiné au gérant automatique) ; bien sûr, plusieurs clients peuvent émettre ce signal au même instant. Le gérant des bananes émet le signal `MB` pour indiquer qu'il risque de manquer de bananes lorsqu'il en reste 2 kilos ou moins, celui des oranges émet `MO`, celui des pommes `MP` dans les mêmes circonstances. Plusieurs de ces signaux peuvent être émis au même instant. Il reçoit un signal interne (ou déclaré output pour être observable en phase de test) AB (resp. AO ou AP) lorsque 10 kilos de bananes (resp. oranges, pommes) ont été ajoutés à l'étalage. Ces signaux sont émis par l'employé lorsqu'il a rechargé l'étalage.

Question 1 – Déclarations et structure générale

Déclarer les signaux nécessaires. Indiquer l'organisation générale du programme : montrer tous les blocs parallèles (en indiquant leur rôle par une ligne de commentaire).

Question 2 – Les clients (en supposant qu'un étalage n'est jamais vide)

Ecrire les deux clients. Quelles sorties obtient-on avec la séquence d'ensembles d'entrées O1 ;B1 O2 ; P1 ; ?
Proposer une séquence d'ensembles d'entrées en incluant des instants où aucun client n'est présent au rayon fruit.

Question 3 – Les gérants

Déclarer les variables nécessaires. Ecrire le gérant des oranges. Proposer une séquence d'ensembles d'entrées menant à l'émission des signaux MO puis AO

Question 4 – L'employé, récepteur des signaux MB, MO, MP et émetteur de AB, AO, AP

Ecrire l'employé, en supposant qu'il peut recharger plusieurs étalages dans le même instant. Si on lève cette hypothèse, un étalage peut se trouver vide ; quelles modifications proposez-vous ?

Question 5

Les gérants sont complètement superposables sauf par le nom des signaux qu'ils échangent avec l'extérieur. Proposer une écriture du module gérant et trois instanciations dans le programme initial.

Solution:

```
module FRUITS :

input  B1, B2, O1, O2, P1, P2;
input  Q1, Q2;  %indiquer quand un client quitte le rayon
output C1 :integer,C2 : integer;

% nb de kilos achetes quand un client quitte le rayon
output B : combine integer with +;      %bananes
output O : combine integer with +;      %oranges
output P : combine integer with +;      %pommes
output MB, MO, MP, AB, AO, AP ;         % ManqueBanane...AjouteBanane

% un client ne prend qu'un fruit à la fois
relation B1 # O1 # P1;
relation B2 # O2 # P2;

[
```

```
   % client 1
   loop
      var c1 :=0 : integer in
         abort
            c1 := 0;
            loop
               await [ B1 or O1 or P1];
               c1 := c1 + 1;
               %un au plus d'apres l'exclusion
               present B1 then emit B(1) end present;
               present O1 then emit O(1) end present;
               present P1 then emit P(1) end present;
            end loop
         when Q1 do emit C1(c1)
         end abort
      end var
   end loop
||
   % client 2
   loop
      var c2 := 0 : integer in
         abort
            c2 := 0;
            loop
               await
               case B2 do emit B(1);
               case O2 do emit O(1);
               case P2 do emit P(1)
               end await;
               c2 := c2 + 1
            end loop
         when Q2 do
            emit C2(c2)
         end abort
      end var
   end loop
||
   % gerant bananes
   var kb := 10 : integer in
      loop
         await [B or AB];
         present B then kb := kb - ?B end present;
         present AB then kb := kb + 10 end present;
         if kb <= 2 then emit MB end if
      end loop
   end var
||
   %gerant oranges
   var ko := 10 : integer in
      loop
         await [O or AO];
         present O then ko := ko - ?O end present;
```

```
         present AO then ko := ko + 10 end present;
         if ko <= 2 then emit MO end if
      end loop
   end var
||
   %gerant pommes
   var kp := 10 : integer in
      loop await [P or AP];
           present P then kp := kp - ?P end present;
           present AP then kp := kp + 10 end present;
           if kp <= 2 then emit MP end if
      end loop
   end var
||
   %employe
   loop
      var ao := false, ab := false, ap := false : boolean in
         await [MP or MB or MO];
         %qu'est-ce qui manque?
         present MB then ab:= true end present;
         present MO then ao :=true end present;
         present MP then ap := true end present;
         pause;
         % prevenir le gerant concerne
         if ab then emit AB end if;
         if ao then emit AO end if;
         if ap then emit AP end if;
      end var
   end loop
]

end module
```

Solution:

```
% gerant
module Gerant :
output F : combine integer with +;      % fruits
output MF,AF;                           % ManqueFruit...AjouteFruit

var kf := 10 : integer in
   %quantite de fruit disponibles
   loop
      await [F or AF];
      present F then kf := kf - ?F end present;
      present AF then kf := kf + 10 end present;
      if kf <= 2 then emit MF end if
   end loop
end var

end module
```

```
% client
module Client:
input Bi, Oi, Pi;
input Q;                % indiquer quand un client quitte le rayon
output Ci : integer;    % val : nb de kilos achetes quand le client quitte
                        %       le rayon
output B : combine integer with +;      % bananes
output O : combine integer with +;      % oranges
output P : combine integer with +;      % pommes

loop
   var ci := 0 : integer in
      abort
         loop
            await [Bi or Oi or Pi];
            ci := ci + 1;
            %un au plus d'apres l'exclusion
            present Bi then emit B(1) end present;
            present Oi then emit O(1) end present;
            present Pi then emit P(1) end present;
         end loop
      when Q do emit Ci(ci)
      end abort
   end var
end loop

end module

%
%-----------------
%

module FRUITS2:
input B1, B2, O1, O2, P1, P2;
input Q1, Q2;                   % indiquer quand un client quitte le rayon
output C1 : integer, C2 : integer;      % nb de kilos achetes quand un client
                                        %   quitte le rayon
output B : combine integer with +;      % bananes
output O : combine integer with +;      % oranges
output P : combine integer with +;      % pommes
output MB, MO, MP, AB, AO, AP;          % ManqueBanane...AjouteBanane

%un client ne prend qu'un fruit à la fois
relation B1 # O1 # P1;
relation B2 # O2 # P2;

[
   % client 1
   run Client[signal B1/Bi, O1/Oi, P1/Pi, C1/Ci , Q1/Q]
||
   % client 2
```

```
   run Client[signal B2/Bi, O2/Oi, P2/Pi, C2/Ci, Q2/Q ]
||
   % gerant bananes
   run Gerant[signal B/F, AB/ AF,MB /MF]
||
   % gerant oranges
   run Gerant[signal O/F, AO/ AF,MO/MF]
||
   % gerant pommes
   run Gerant[signal P/F, AP/ AF,MP/MF]
||
   % employe
   loop
      var ao := false, ab := false , ap := false : boolean in
         await [MP or MB or MO];
         %qu'est-ce qui manque?
         present MB then ab:= true end present;
         present MO then ao := true end present;
         present MP then ap := true end present;
         pause;
         %prevenir le gerant concerne
         if ab then emit AB end if;
         if ao then emit AO end if;
         if ap then emit AP end if;
      end var
   end loop
]

end module
```

Exercice 6 – Robot NXT et Esterel

Nous avons adapté la sortie du compilateur `esterel` pour pouvoir la faire tourner sur une brique Mindstorm NXT.

Une brique mindstorm NXT est un microcontroleur (en fait 2 !) sur lequel nous avons installe une machine virtuelle java nommée `lejos`. Ce microntontroleur dispose des entrée suivantes :

- Boutons `ENTER,ESCAPE,LEFT,RIGHT`
- Un capteur de contact `Touch`
- Un capteur Ultrason `Distance`
- Un cpateur de Son `Sound`
- Un capteur de Lumiere, interrogé avec `Depassement_Lumiere` pour le seuillage et `Light` pour sa valeur courante.

Comme sortie nous disposons des sorties suivantes :

- `A_Avance,B_Avance,C_Avance`
- `A_Recul,B_Recul,C_Recul`
- `A_Stop,B_Stop,C_Stop`
- `A_Vitesse,B_Vitesse,C_Vitesse`
- `Bip`
- `LCD, LCDint, LCDfloat` (affichage de string integer et float respectivement).

De part l'existence physique de ces différents objets, nous avons une contrainte quant à l'interface minimale requise :

```
input ENTER,ESCAPE,LEFT,RIGHT;
input A_isMoving,B_isMoving,C_isMoving ;
input Distance : integer,Depassement_Lumiere, Sound;
input Touch;

output A_Vitesse : integer, C_Vitesse : integer;
output A_Avance, C_Avance,tmpsig,LCD: string;
output LCDint : integer, LCDfloat : float;
output A_Recul, C_Recul;
output A_Stop, C_Stop;
```

Question 1

En quoi `Light` est il un sensor au sens esterel du terme mais `Touch` un simple signal d'entrée ?

Solution:

Light est un sencor car c'est esterel qui le meta jour en permanence et touch un signal value car c'est quelquechose qui intervient sur un instant.

Question 2

Ecrire un programme esterel attendant le signal `Touch` et émettant le signal `Bip`.

Solution:

```
module TouchBip :

input  Touch, A_isMoving, B_isMoving, C_isMoving;
input  Distance : integer, Depassement_Lumiere, Sound;
output Bip, A_Avance;

await Touch;
await Touch;
await Touch;
await Touch;
emit Bip;
emit A_Avance;
await 100 tick;

end module
```

Une fois ce programme écrit Pour le transferer sur la briquer NXT le protocole est le suivant :

- compiler le programme vers java à l'aide du script `doall`
- Compiler le java à l'aide du compilateur `nxjc`
- Effectuer l'edition de liens, commande `nxjlink`.
- Charger le binaire produit dans le robot avec la commande `nxjupload`.

Ces deux dernieres étapes peuvent être fusionnées en une seule en utilisant la commande `nxj`.

Question 3

Ecrire un programme esterel avancant le robot pendant 30 instants puis reculant le robot pendant 30 instants puis ravancant etc... Combien de secondes durent 30 instants ? Ici vous devrez enlever les piles du robot pour l'arreter.

Solution:

Bon il faut virer le trap mais ca va aller

```
module lego1 :

sensor Light : float;
input  A_isMoving, B_isMoving, C_isMoving;
input  Distance : integer, Depassement_Lumiere, Sound;
input  Touch;
output A_Vitesse : integer, C_Vitesse : integer;
output A_Avance, C_Avance;
output A_Recul, C_Recul;
output A_Stop, C_Stop;

await Touch;
emit A_Vitesse(10);
emit C_Vitesse(10);
loop
      emit A_Avance;
      emit C_Avance;
      await 30 tick;
      emit A_Stop;
      emit C_Stop;
      emit A_Recul;
      emit C_Recul;
      await 30 tick;
      emit A_Stop;
      emit C_Stop
end loop

end module
```

Question 4

Modifier le programme précédant pour que l'appui sur `ESCAPE` mette fin au programme. A partir de maintenant il sera de bon ton de toujours implanter ce mecanisme dans vos programmes !

Solution:

```
module lego2 :

input ENTER, ESCAPE, LEFT, RIGHT;
input A_isMoving, B_isMoving, C_isMoving ;
input Distance : integer, Depassement_Lumiere, Sound;
input Touch;

output A_Vitesse : integer, C_Vitesse : integer;
output A_Avance, C_Avance,tmpsig,LCD: string;
output A_Recul, C_Recul;
output A_Stop, C_Stop;

await ENTER;
emit LCD("ENTER PRESSE");

emit LCD("toto");
await Touch;
```

```
emit A_Avance;
emit C_Avance;

abort
   var t : integer in
      emit A_Vitesse(200);
      emit C_Vitesse(200);
      loop
         await Touch;
         if t = 1 then
            t := 0;
            emit A_Recul;
            emit C_Recul
         else
            t := 1;
            emit A_Avance;
            emit C_Avance
         end if
      end loop
   end var
when ESCAPE do emit A_Stop; emit C_Stop
end abort;

end module
```

Question 5

Ecrire un programme permettant de calibrer le capteur de lumière pour qu'il sache distinguer une zone claire d'une zone foncée. On procédera comme suit : on placera le robot sur une zone claire on appuiera sur le bouton `ENTER` puis on le placera sur une zonne foncée et on recommencera. On fera finalement afficher les deux valeurs du *sensor* `Light`.

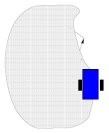
Solution:

```
module calibration :

input  ENTER, ESCAPE, LEFT, RIGHT;
input  A_isMoving,B_isMoving,C_isMoving ;
input  Distance : integer, Depassement_Lumiere, Sound;
input  Touch;
sensor Light : float;
output A_Vitesse : integer, C_Vitesse : integer;
output A_Avance, C_Avance, tmpsig, LCD: string;
output LCDint : integer, LCDfloat : float;
output A_Recul, C_Recul;
output A_Stop, C_Stop;

await ENTER;
emit LCD("OK. On demarre.");

emit LCD("Mettre sur la partie claire");
emit LCD("puis appuyer sur ENTER.");
await ENTER;
```

```
emit LCDfloat(?Light);

emit LCD("Mettre sur la partie sombre");
emit LCD("puis appuyer sur ENTER.");
await ENTER;
emit LCDfloat(?Light);

% Pour que le programme ait le temps d'afficher avant de terminer.
emit LCD("Appuyer sur ENTER pour terminer.");
await ENTER

end module
```

Question 6

Ecrire un programme de suivi de forme : on souhaite que le robot utilise son capteur de lumiere pour detecter à quel moment le robot chevauche une zone claire et une zone foncée. Lorsque lerobot detecte un changement de surface, il se met a tourner sur place (bloque une roue) pour que le capteur se repalce a nmouveau au dessus de l'ancienne surface, puis il bloque lautre roue et se met a tourner dans l'autre sens pour replacer le capteur au dessus ede la nouvelle surface etc.... ce qui nous donne le schema suivant :



Solution:

Question 7

Ecrire un programme qui met le robot à distance constante d'une cible mobile placée devant le robot.

Question 8

Modifier le programme precedant pour que le passage du robot sur un zone foncée provoque l'emission d'un Bip.

Question 9

Ecrire un programme avancant le robot en ligne droite et lorsque qu'un obstacle surgit sur la route le robot le contourne et reprend sa trajectoire initiale.

Question 10 – Question bonus

Ecrire une Tache java mémorisant l'itinéraire fait par le robot puis lorsque le bouton entre est appuyé effectue l'itinéraire en sens inverse (on aura besoin d'un signal d'input et d'un signal d'output supplémentaire....)