UNIVERSITÉ TOULOUSE III PAUL SABATIER

Université de Toulouse

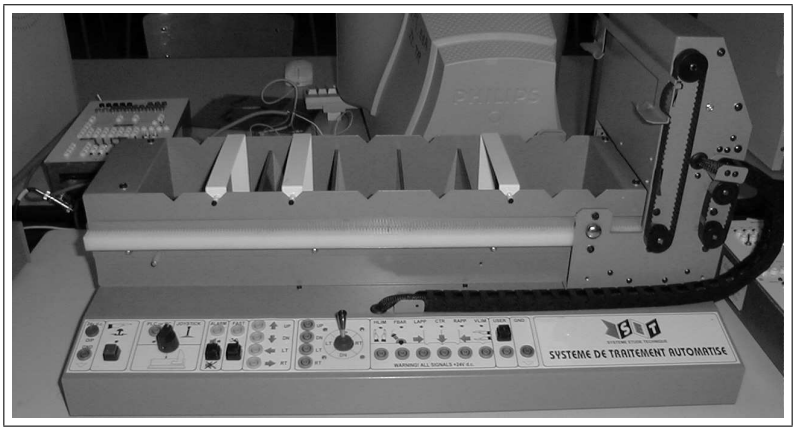
Université Paul Sabatier

Modèle Temporel avancé

- TP : Système de Traitement Automatisé -

Auteurs :
Lucien Rakotomalala
David Tocaven

Encadrant :
Pauline Ribot
Euriell Le Corronc **Michel Combacau**



Faculté des Sciences et d'Ingénierie

EEA TOULOUSE

3 mars 2018

Table des matières

Introduction

1 Modélisation et analyse de la réalisation d'une opération

Nous allons dans un premier temps réaliser une modélisation par réseau de Petri temporel de la réalisation d'une opération. Cette modélisation sera générique à la réalisation de toute opération O_i. Ensuite, nous réaliserons un code C qui permet d'estimer les durées des différentes opérations. Finalement, nous analyserons le réseau de Petri à l'aide de *TINA 2.8.4*.

1.1 Modèle réseau de Petri temporel d'une opération

Nous avons, pour modélisation générique d'une opération, considéré que le chariot de déplacement se trouve en bas. Voici le réseau de Petri temporel (voir figure 1.1) :

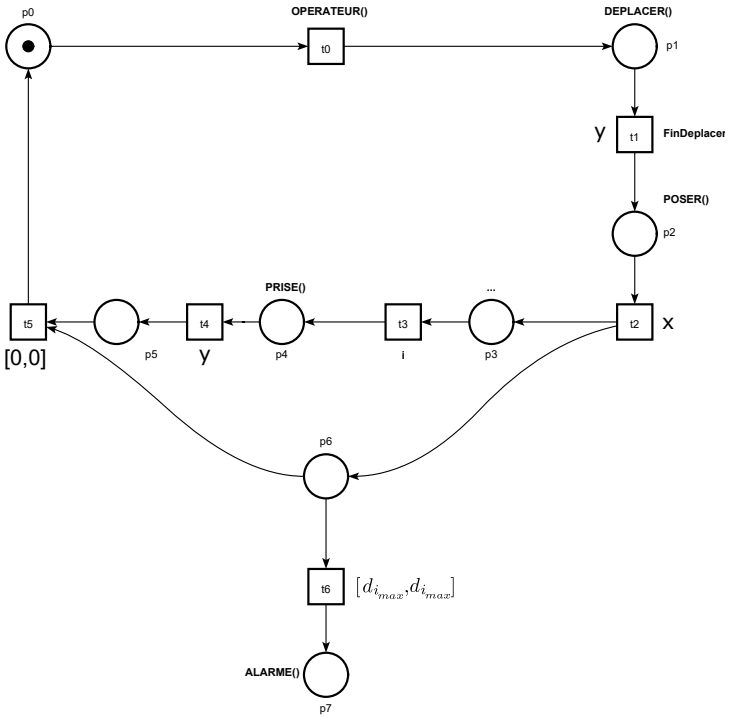


FIGURE 1.1 – Modèle réseau de Petri générique d'une opération.

Nous considérerons que l'action *DEPLACER()* et l'événement *FinDeplacer* correspondent à, respectivement, *AVANCER()* et *FinAvancer* si le chariot est à droite de l'emplacement de l'opération o_i ou *RECULER()* et *FinReculer* si celui-ci est à gauche.

Le marquage initial est constitué d'un unique jeton sur la place p_0. Ce jeton, une fois que la transition t_0 est sensibilisée et tirée (pour cela il faut que l'événement *OPERATEUR()* est eu lieu), est en p_1. Le chariot se déplace tant qu'il y a un jeton en p_1. Le jeton reste en p_1 jusqu'à ce que le charriot arrive à destination, c'est-à-dire que *FinDeplacer* se déclenche. Lorsque cet événement ce produit, la transition t_1 est sensibilisée et tirée (le déplacement prend un temps y qui est représenté sur la transition t_1). Ensuite, un jeton marque la place

p_2 ce qui déclenche l'action *POSER()*. Cette action prend un temps x et celui-ci est représenté sur la transition t_2. Une fois le temps x écoulé, la transition t_2 est tiré et les places p_3 et p_6 sont marqués d'un jeton chacun.

À partir de cet état, il y a deux jetons dans le réseau : un permet de décrire le comportement du chariot et un autre, celui qui marque p_6, permet de déclencher l'alarme si la pièce qui subit l'opération o_i n'est pas reprise avant le temps maximal de l'opération. En effet, le jeton présent en p_6, au bout d'un temps $d_{i_{max}}$, va être consommé par la transition t_6 et un jeton va marquer p_7. Ceci déclenchera l'action *ALARME()*. Il faut donc que le jeton présent en p_3 arrive en p_5 en moins de $d_{i_{max}}$ unités de temps pour que l'alarme ne se déclenche pas. De cette façon, le tir de la transition t_5, qui nécessite et consomme un jeton en p_6 et un jeton en p_5, empêchera l'alarme de sonner et permettra d'effectuer une nouvelle opération (retour au marquage initial). La place p_3 à un événement ..., cela représente la possibilité d'effectuer n'importe(s) quelle(s) action(s) et de revenir à l'emplacement de l'opération o_i, de façon à ce que l'action en p_4, *PRISE()*, de durée y, permette de récupérer la pièce. La transition t_3 est marquée de la temporisation i. Celle-ci représente le temps de(s) action(s) de la place p_4 et/ou un temps d'attente afin que l'on récupère la pièce à la fin de l'opération $_i$. Ainsi, si l'on souhaite que l'alarme ne sonne pas, il faut que $i + y < d_{i_{max}}$.

1.2 Estimation de Prise/Pose et Avance/Recule

Voir annexe 4, page 13.

Nous avons maintenant besoin d'identifier le temps de *AVANCER()* (égal à celui de *RECULER()*) que l'on appelait précédemment$y$ et de *PRISE()* (équivalent à celui de *POSE()*) appelait y. Pour cela, nous avons créer, à partir d'un code fourni, un code permettant de mesurer les temps x et y. Pour mesurer le temps d'une action, nous avons stocké le temps du PC à l'instant du début de l'action, puis nous avons stocké le temps à la fin de celle-ci et avons affiché la soustraction des deux temps sur le terminal. Nous avons déterminé que :

$$x = \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix} \text{ seconde} \tag{1.1}$$

$$y = \begin{bmatrix} 3 & 3 \end{bmatrix} \text{ secondes} \tag{1.2}$$

$$\tag{1.3}$$

1.3 Analyse du modèle

Grâce aux mesures précédentes, nous avons pus remplacer x et y par des valeurs temporelles sur le modèle générique. Nous avons choisi arbitrairement les valeurs de $d_{i_{min}} = 13$ secondes et $d_{i_{max}} = 16$ secondes, respectivement le temps minimal de l'opération et le temps maximal de l'opération o_i. Ainsi, nous avons la condition suivante qui doit être respectée $i < d_{i_{max}} - y$, soit $i < 13$ secondes. Donc il "reste" moins de 13 secondes afin de réaliser d'autres opérations. Nous allons fixer une temporisation $i = \begin{bmatrix} 12 & 12 \end{bmatrix}$ secondes pour étudier le réseau.

Figure 1.2, voici le nouveau réseau de Petri temporel. Une analyse à l'aide de TINA nous a permis de

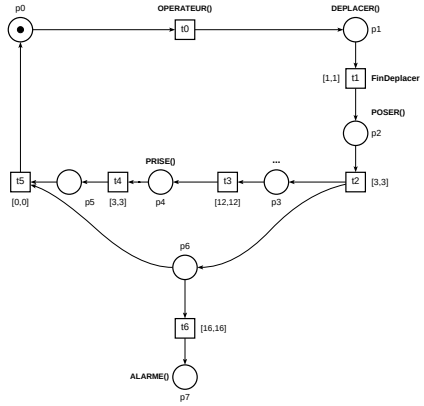


FIGURE 1.2 – Modèle réseau de Petri générique d'une opération avec les temps estimés

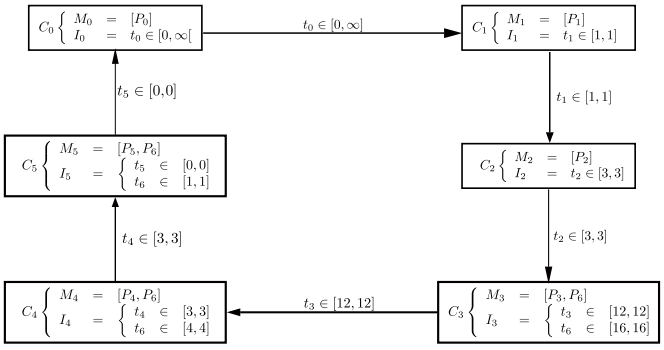


FIGURE 1.3 – Diagramme de classe.

déterminer les différentes classes du réseau. L'automate est présenté figure 1.3. Nous avons put aussi extraire les propriétés suivantes grâce à TINA.

— Le RdPT (Réseau de Petri Temporisé) n'est pas vivant.
— La transition t_6 est non vivante.
— LE RdPT est borné.

2 Modélisation et analyse des premières opérations de chaque pièce

Maintenant que nous connaissons un modèle valide pour une opération ainsi que les temps nécessaires au déplacement du chariot sur l'axe vertical et horizontal, nous allons pouvoir commencer à modéliser le travail du *STA* sur deux opérations.

Nous allons, dans un premier temps, effectuer une modélisation en RdP Temporels d'une commande de deux opérations suite à quoi, nous en effectuerons une analyse grâce à une version de *TINA* identique que dans le chapitre 1. Nous utiliserons cette analyse pour déterminer les intervalles d'attentes et le meilleur ordonnancement possible pour ne pas déclencher l'alarme.

2.1 Réseau de PETRI Temporels de commande de deux opérations

A partir du modèle générique établit en 1.1, nous avons obtenu, pour la commande de opérations O_1 et O_2 le modèle RdP Temporels en figure 2.1.

Dans ce réseau, nous pouvons identifier tout d'abord la ressemblance avec le modèle générique (en figure 1.1) : les places p_4 et p_{12} sont les représentations de la place p_2 dans le modèle générique. Elles seront donc suivi, dans les modèle Temporels que nous analyseront, d'une transition qui contient le temps des opérations *Poser*. Il en va de même pour les places p_2, p_{10}, p_5 et p_{13} qui contiennent l'opération *Prendre*, elles seront suivi d'une transition contenant une intervalle de temps y.

Séparation du modèle Nous pouvons séparer ce modèle complexe en deux ensembles de places :

- l'ensemble $P_1 = \{p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_{20}, p_{18}\}$ est utilisé pour emmené la pièce $p1$ du bac $e1$(son bac initial) vers le bac $e3$ dans lequel elle subit l'opération O_2. Cet ensemble est lié avec les deux places p_{20} et p_{18} qui modélisent l'alarme liée à l'opération O_1.
- l'ensemble $P_2 = \{p_{10}, p_{11}, p_{12}p_{13}, p_{14}, p_{15}, p_{16}\}$ modélise le transport de la pièce $p2$ de $e2$(son bac initial) vers $e3$, bac dans lequel elle subit l'opération $O1$, puis du transport de $e5$ vers $e7$ (Pour prévoir les prochains RdP). L'alarme de l'opération est enclenchée par la place p_{17}, qui est lié au reste de l'ensemble P_2 par la place p_{19}.

Liaison entre les ensembles Les places p_9, p_{21} et p_{23}, places qui se situent entre les deux ensembles P_1 et P_2, sont utilisées pour effectuer les passages entre les 2 ensembles. De même, nous avons deux places p_{22} et p_{24} qui font la liaison entre les deux ensembles, à l'attention que celles ci ne servent pas à amener la chariot d'une pièce à l'autre mais à le faire attendre le temps nécessaire avant la fin d'une opération et donc la récupération d'une pièce.

Nous notons aussi les transitions t_{15} et t_{20} qui sont les représentations de la transition t_5 dans le modèle générique. Elles permettent dans ce contexte de synchroniser la prise de la pièce et l'arrêt du compteur de l'alarme. Comme dans le modèle générique, ces transitions ont un intervalle de temps $[0; 0]$, cela oblige les jetons arrivant dans les places en amont à être immédiatement tiré. Ainsi, le compteur de l'alarme est stoppé après 0u.t. que la pièce ait été retiré de son emplacement.

Ordonnancement Il est aussi a noté que nous avons choisi d'effectuer l'opération de la pièce $p1$ avant celle de $p2$ et cela pour des raisons temporelles. Nous avons remarqué, dans une étude préliminaire à la construction de ce réseau, que cet ordonnancement était possible alors qu'une inversion l'ordre du traitement des pièces donne obligatoirement le retentissement d'une alarme (notamment dans la suite du TP).

Nous avons maintenant à notre disposition une commande à appliquer sur les *STA*. Toutefois, avant de passer à l'implémentation, nous allons utiliser l'outil *TINA* pour analyser le modèle ainsi obtenu.

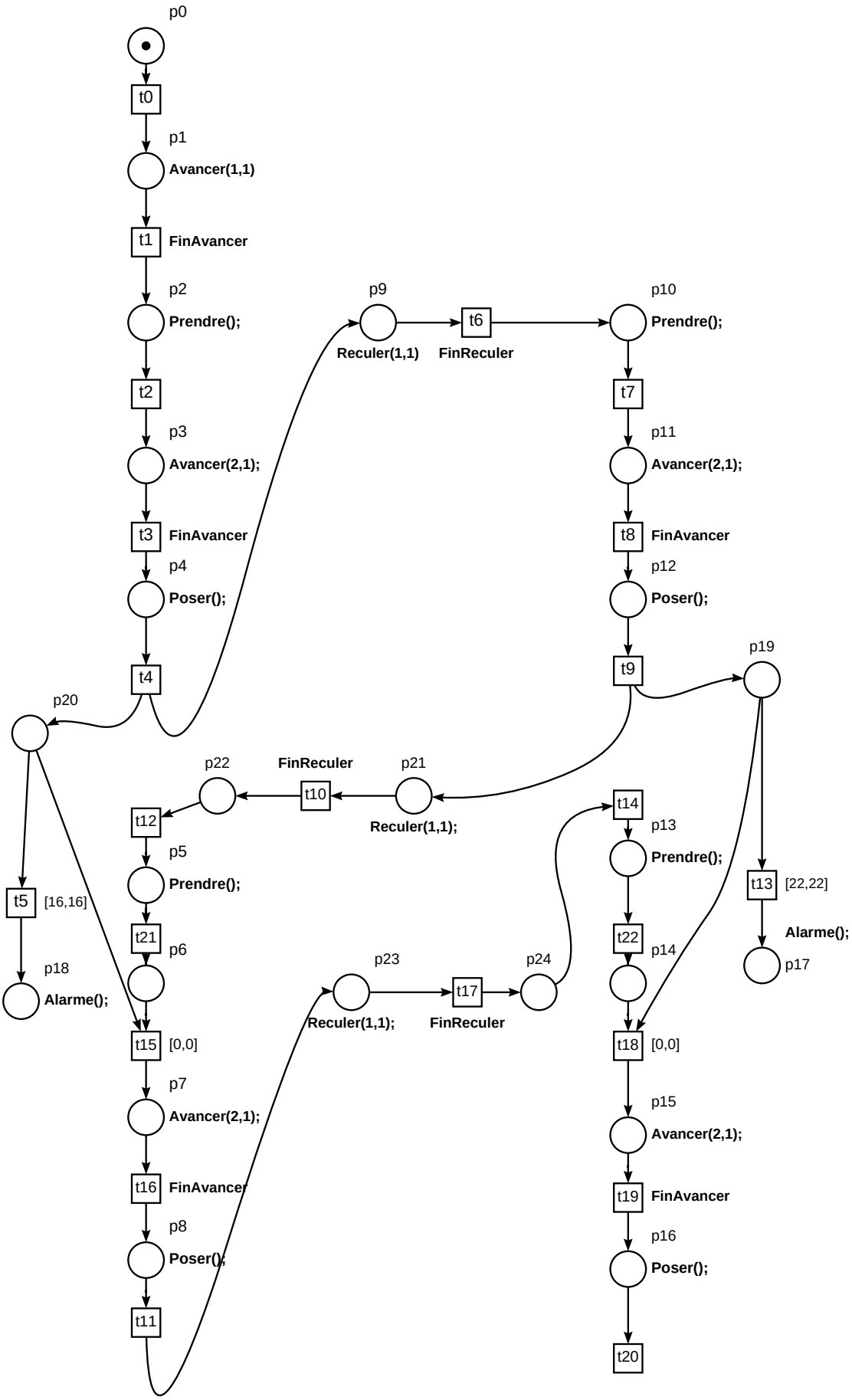


FIGURE 2.1 – Réseau de PETRI Temporels pour la commande de 2 opérations

2.2 Analyse du modèle avec TINA

L'analyse temporelle de réseau nécessite un réseau tel que nous vous présentons en figure 2.2. Dans ce type de réseau, nous avons choisi de ne plus utiliser des noms sur les évènements mais plutôt des intervalles de temps. Ces intervalles ont été établi dans la section 1.2.

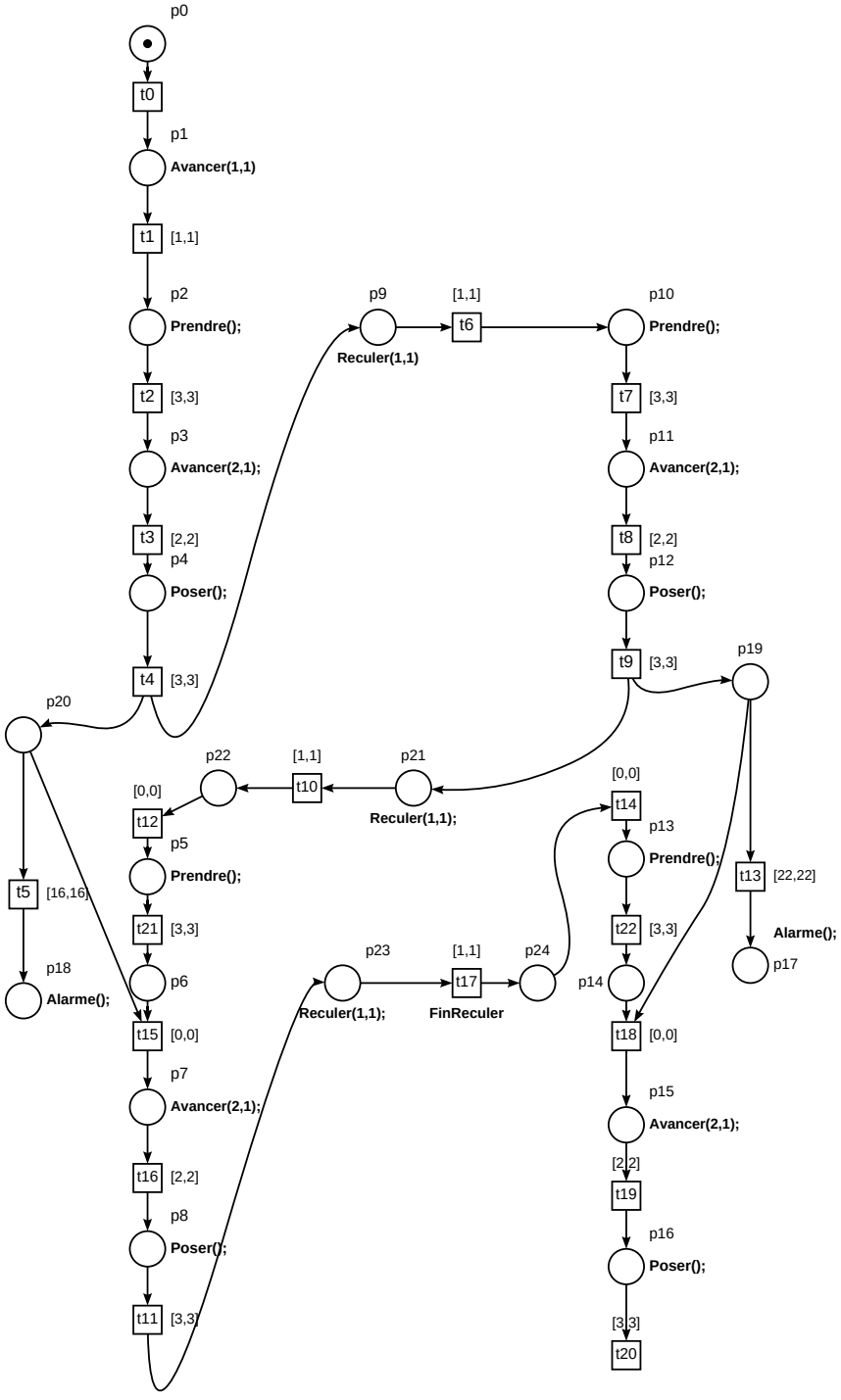


FIGURE 2.2 – Réseau de PETRI Temporels pour l'analyse de 2 opérations

Avec la version de *TINA* adéquate, nous avons réalisé la construction d'un graphe des classes accessibles. Ce graphe comporte 22 classes que nous n'avons pas représenté graphiquement, cependant vous pouvez trouver le rapport d'analyse du logiciel en annexe 4.2.

Vivacité du réseau Dans cette analyse, nous nous referons dans un premier temps à cette bonne propriété. En effet, le résultat obtenu (disponible à la ligne 244) nous indique que les 2 transitions t_5 et t_{13} ne sont jamais franchi. Ceci signifie que les places p_{18} et p_{17} ne sont jamais marqué, car le seul moyen existant pour qu'un jeton soit dans ces places est en franchissant respectivement cette transition. Donc, l'alarme n'est jamais activée.

Graphe des classes Une analyse des places accessibles à partir du graphe des classes nous confirme ce que la vivacité du réseau nous avait indiqué : les places p_{18} et p_{17} ne sont jamais marquées.

Cette analyse nous apporte aussi une information que nous pourrons utiliser dans la prochaine section. Il s'agit de l'intervalle temporelle restante avant le franchissement des transitions t_5 et t_{13} avec lequel il est possible de connaitre l'intervalle temporelle passée dans l'opération O_1 et O_2, respectivement. Nous pouvons observer aux lignes 153 et 194 ces intervalles, elles sont de $[3;3]$ pour t_3 et de $[9;9]$ pour t_{13}.

Intervalles de temps des opérations Intéressons nous maintenant au temps d'exécution des opérations. En regardant les intervalles de temps que doivent respecter O_1 et O_2, nous pouvons connaitre le minimum et le maximum de temps admis pour les opérations. De plus, nous avons à notre disposition le temps passé dans les opérations à l'aide des transitions t_3 et t_{13}, en regardant dans le graphe des classes les intervalles de temps durant lesquelles elles peuvent être franchies.

Donc, si l'intervalle temporelle des transitions atteint $d_{i_{max}} - d_{i_{min}}$ u.t, alors la pièce doit être sorti du bac. Nous allons donc, dans la prochaine section, faire en sorte que les dernières intervalles temporelle atteinte pour t_3 et t_{13} soit comprises entre : $[0; d_{i_{max}} - d_{i_{min}}]$.

2.3 Mise au point des Intervalles Temporels

Avec la conclusion précédente, nous avons pu déterminer l'ajustement nécessaire. Toutefois, nous ne pouvons pas caler toutes les intervalles d'un seul coup, nous devons les placer l'une après l'autre, dans l'ordre dans lequel les opérations sont lancées.

Opération O_1 A partir du graphe des classes établit à partir du modèle 2.2, nous avons le dernier intervalle temporelle atteint par la transition t_5. $d_{1_{min}} = 15$ $d_{2_{min}} = 20$

3 Modélisation des séquences d'opérations des deux pièces

Dans cette partie, l'objet de l'étude se porte sur la réalisation de 6 opérations, 3 par pièces (les opérations o_1, o_3, o_5 pour p_1 et o_2, o_4, o_6 pour p_2). Il faut, dans un premier temps, trouver une séquence optimale telle que toutes les opérations soient effectuées en un temps minimum sans déclencher l'alarme. Ensuite, nous devons réaliser une commande en réseau de Petri temporel pour effectuer les opérations puis l'analyser à l'aide d'un graphe des classes. Dans un dernier temps, nous avons réaliser la commande en langage C.

3.1 Analyse d'ordonnancement

Nous avons décidé d'étudier l'ordonnancement optimal par un chronogramme car nous avons trouvé l'approche graphique plus intuitive au vu du faible nombre d'opérations. Nous avons réalisé cet ordonnancement sur Excel en prenant pour échelle *une case égale une seconde*. Le chronogramme (figure 3.1) est coupé en trois parties pour des raisons de visibilité : une ligne est réservée aux opérations liées à la pièce p_2, une seconde aux actions du charriot et une dernière aux opérations de p_1.

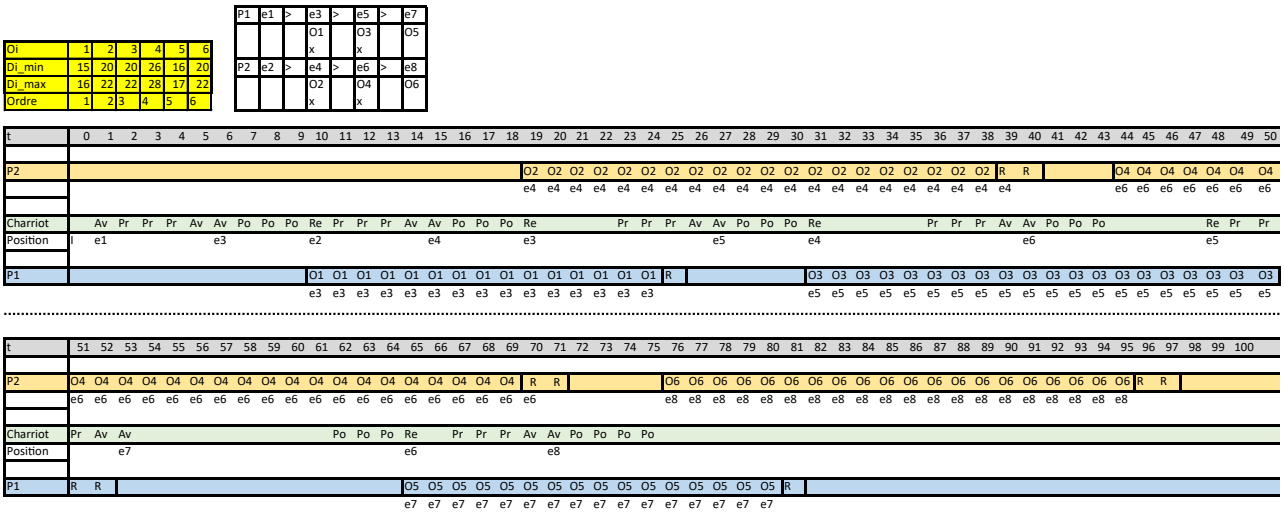


FIGURE 3.1 – Capture du tableur de calcul de l'ordonnancement.

Nous avons positionné les opérations au plus tôt, en vérifiant qu'elles n'empêchent pas de récupérer les pièces avant leurs alarmes respectives. Par exemple, l'opération o_5 pourrait commencer à partir de la 57^{e} seconde mais il serait impossible de retirer les deux pièces avant leurs alarmes donc nous avons décalé o_5 de façon à ce que, ni la pose, ni la prise de la pièce p_1 ne perturbe la prise et la pose de p_2. De plus, nous prenons pour hypothèse que les deux dernières opérations o_5 et o_6 n'ont pas de date récupération maximale et peuvent rester respectivement en e_7 et en e_8 car ces deux emplacements représentant le bac de sortie. Si nous avions pris le partie de les ramener à leurs emplacements initiaux, cela n'aurait pas été possible avec l'ordonnancement actuel, il aurait fallu organiser les opérations différemment de façon à avoir le temps de ramener les pièces au début ce qui nécessite beaucoup de temps à cause de la distance de déplacement importante.

3.2 Réseau de Petri de commande

Nous avons transformer la séquence d'actions de la ligne *Chariot* de l'ordonnancement précédent (voir figure 3.1) en un réseau de Petri temporel.

3.3 Analyse par graphe de classes

3.4 Implémentation

4 | Conclusion

Annexes

Annexe 1 - Mesures de temps

4.1 Mesure du temps de déplacement et de saisie/dépôt d'une pièce

```
1
2 /* ============================================================================*/
3 /*     Squelette de programme pour la mise en oeuvre de MEF synchronisees  */
4 /*                  Systeme de Traitement Automatise                          */
5 /* ============================================================================*/
6
7 /* COMPILATION : gcc -Wall -o STA sta-macsed_rdp.c -lpci_dask -lsta */
8
9 /* Exemple qui realise ce RdP (1 jeton initiallement dans p0):
10
11 p0 ----------> | ---------> p1 ----------> | ----------> p2 ----------> | --
12             operateur                  FinAvancer
13                                 Avancer(3,1)                  Prendre()
14
15 ----> p3 ---------> | ---------> p4 ----------> | ----> p5 -- | ----------> p6
16              [ 5 ; 5 ]                  FinReculer
17 ne rien faire !          Reculer(2,1)             Poser()             Fin du RdP !
18
19 */
20
21 #include <stdio.h>
22 #include <unistd.h>              // pour sleep()
23 #include <dask.h>                // pour Release_Card()
24 #include <signal.h>              // pour deroutement de CTRL C
25 #include <entreesortie_sta.h>
26 #include <sta_mef.h>
27
28 // ---------------------------------------------------------------------------
29 #define NBPLACES 7
30 // ---------------------------------------------------------------------------
31
32 void Avancer (int, int);
33 void Reculer (int, int);
34 void Prendre (void);
35 void Poser (void);
36
37 /* variables externes  */
38 short int idcard, stop;
39
40 /* declaration globale */
41 int FinAvancer=0;
42 int FinReculer=0;
43
44 /* etudiant */
45 time_t  ti,
46   tf;
```

```
47
48 // les entrees
49 int appG,ctr, appD,presence, lim_hor,lim_ver, operateur;
50
51 // les sorties
52 int v_acc, haut, bas, gauche, droite, alarme;
53
54 int main(void)
55 {
56
57 /* Declarations variables */
58
59 // ---------------------------------------------------------------------------
60 int p[NBPLACES];  // places "presentes"
61 int ps[NBPLACES];   // places "suivantes"
62 int i;
63 double fintempo;  // variables utilisees pour
64 time_t tempo1;    // la tempo
65 // ---------------------------------------------------------------------------
66
67 // initialisation des ports
68 init_io();
69 //initialisation bac : ramene le systeme de transport en bas a droite
70 //ne doit pas etre sur les capteurs en haut ou a gauche
71 //init_bac();
72 printf("init faite \n");
73       sortie(V_ACC,0);
74       sortie(HAUT, 0);
75       sortie(BAS,0);
76       sortie(GAUCHE,0);
77       sortie(DROITE,0);
78       sortie(ALARME,0);
79
80 /* Initialisation variables */
81
82 // ---------------------------------------------------------------------------
83 p[0] = 1;
84 ps[0] = 1;
85 for(i=1;i<NBPLACES;i++){
86     p[i] = 0;
87     ps[i] = 0;
88 }
89 fintempo=0;
90 // ---------------------------------------------------------------------------
91 ti = 0;
92 tf = 0;
93
94 /***** Ajout etudiant*/
95 //Poser();       // Position itniale en bas
96 /*******************/
97 while(1)
98     {
99       /**********************/
100      /* Lecture des entrees */
101      /**********************/
102
103      appG = entree(APPG);
104      ctr = entree(CTR);
105      appD = entree(APPD);
106      presence = entree(PRESENCE);
107      lim_hor = entree(LIM_HOR);
```

```
108         lim_ver = entree(LIM_VER);
109         operateur = entree(OPERATEUR);
110
111
112 // ------------------------------------------------------------------------
113   fintempo = difftime(time(NULL),tempo1);
114 // ------------------------------------------------------------------------
115
116       /* allongement du cycle programme */
117       // usleep(50);
118
119 // ------------------------------------------------------------------------
120
121     /* blocs F */   // Description des transitions possibles
122
123   if(p[0]==1){
124     printf("p0 \n");
125     if(operateur==1){  // marquage initial, attente d'un appui sur operateur
126       ps[0]--;
127       ps[1]++;
128       ti = time(NULL);
129     }
130   }
131
132   if(p[1]==1){
133 //     printf("p1 \n");     // FinAvancer est a 1 lorsque le capteur ctr est a 1
134     if(FinAvancer==1){  // et qu'on a parcouru toutes les encoches demandees
135         ps[1]--;          // Exemple: 3 encoches parcourues si Avancer(2,1)
136       ps[2]++;
137       tf = time(NULL);
138       printf("Avance Init --> e1 : %f \n",difftime(tf,ti));
139       Avancer(0,0); // Remise a zero de la machine a etats definie dans la
              fonction Avancer
140
141
142       ti = time(NULL);
143     }
144   }
145
146   if(p[2]==1){
147
148   /*
149 //     printf("p2 \n"); // Passage de e1 vers e2
150     if(FinAvancer==1){
151     ps[2]--;
152     ps[3]++;
153     tf = time(NULL);
154       printf("Avance e1 --> e2 : %f \n",difftime(tf,ti));
155       Avancer(0,0); // Remise a zero de la machine a etats definie dans la
              fonction Avancer
156       // ti = time(NULL); Inutile dans ce cas la
157     } */
158   }
159
160   if(p[3]==1){
161 //     printf("p3 \n"); // Passage de e2 vers e3
162     if(FinAvancer==1){
163       ps[3]--;
164       ps[4]++;
165       Avancer(0,0); // Remise a zero de la machine a etats definie dans la
              fonction Avancer
```

```
166
167         ti = time(NULL);
168       }
169
170     }
171
172     if(p[4]==1){
173 //      printf("p4 \n");  // Passage de e3 vers e4
174       if(FinAvancer==1){
175       ps[4]--;
176       ps[5]++;
177       tf = time(NULL);
178         printf("Avance e3 --> e4 : %f \n",difftime(tf,ti));
179         Avancer(0,0); // Remise a zero de la machine a etats definie dans la
              fonction Avancer
180         ti = time(NULL);
181       }
182     }
183
184     if(p[5]==1){
185 //      printf("p5 \n");  // Prendre un objet
186       ps[5]--;
187       ps[6]++;
188     }
189
190     if(p[6]==1)      // --> fin du Reseau de Petri
191     {       // Poser un objet
192 //      printf("p5 \n");  // Prendre un objet
193       ps[6]--;
194       //ps[0]++;
195     }
196
197     /* blocs M */     // Franchissement des transitions
198
199 /*    if(p[3]==0 && ps[3]==1)
200     {    // du coup, lancement des actions liees au franchissement des transitions
201       tempo1 = time(NULL);  // (ici, on recupere le "temps actuel" au moment ou
              on arrive dans la place p3
202
203     }              // pour pouvoir ensuite le comparer avec le temps actuel
        recupere a chaque passage
204 */                  // dans la boucle while -> cf. lecture des entrees et ligne
      "if(fintempo>=5)")
205
206       for(i=0;i<NBPLACES;i++){  // et actualisation des etats presents
207           p[i] = ps[i];
208     }
209 // ------------------------------------------------------------------------------
210
211         /**************************/
212         /* Ecriture des sorties   */
213         /**************************/
214
215 // ------------------------------------------------------------------------------
216
217     /* blocs G */  // gestion des sorties en fonction du marquage mis a jour
218
219       if(p[1]==1){
220     Avancer(1,1);
221       }
222  //    if(p[2]==1){
```

```
223 //       Avancer(1,1);
224 //    }
225
226     if(p[3]==1){
227         Avancer(1,1);
228     }
229
230     if(p[4]==1){
231         Avancer(1,1);
232     }
233     if(p[2]==1){
234       ti = time(NULL);
235         Poser();
236   tf = time(NULL);
237   printf("Poser: %f \n",difftime(tf,ti));
238     }
239
240     if(p[6]==1){
241       ti = time(NULL);
242         Poser();
243   tf = time(NULL);
244       printf("Poser: %f \n",difftime(tf,ti));
245     }
246
247
248 // ------------------------------------------------------------------------------
249
250       sortie(V_ACC,0);
251      // sortie(HAUT, haut); // actions haut/bas gerees dans les fonctions
252      // sortie(BAS,bas);    // Prendre et Poser ci-dessous
253       sortie(GAUCHE,gauche);
254       sortie(DROITE,droite);
255       sortie(ALARME,0);
256   /**COMMENTAIRE eTUDIANT*/
257 //printf ("haut: %d -- bas : %d -- gauche : %d -- droite : %d |n",haut,bas,
      gauche, droite);
258 }
259
260       sortie(V_ACC,0);
261       sortie(HAUT, 0);
262       sortie(BAS,0);
263       sortie(GAUCHE,0);
264       sortie(DROITE,0);
265       sortie(ALARME,0);
266
267 return 0;
268 }
269
270 void Prendre (void)
271  {printf ("prise d'un objet\n");
272   sortie(HAUT, 1);
273   while (entree(LIM_VER));
274   //printf ("prise d'un objet2|n");
275   usleep(10);
276   while (!entree(LIM_VER));
277   //printf ("prise d'un objet3|n");
278   sortie(HAUT, 0);
279  }
280
281 void Poser (void)
282  {printf ("pose d'un objet\n");
```

```
283   sortie(BAS,1);
284   while (entree(LIM_VER));
285   while (!entree(LIM_VER));
286   sortie(BAS,0);
287  }
288
289 void Avancer (int nb, int start)
290  {
291   static int Etat = 0;
292   static int i = 1;
293   switch (Etat)
294   {
295    case 0 : if (start)
296                {
297                 Etat = 1;
298                 i=nb;
299                }
300             break;
301    case 1 : if (! ctr)
302                {
303                 Etat = 2;
304                }
305              break;
306    case 2 : if (ctr &&(i==1))
307                {
308                 Etat = 3;
309                 FinAvancer=1;
310                }
311              else if (ctr &&(i!=1))
312              {
313               Etat=1; i--;
314              }
315             break;
316    case 3 : if (! start)
317                {
318                 Etat = 0;
319                 FinAvancer = 0;
320                }
321              break;
322   }
323
324 gauche = ((Etat==1)||(Etat==2));
325 //printf ("EtatAvancer : %d -- gauche : %d\n",Etat, gauche);
326 }
327
328 void Reculer (int nb, int start)
329  {
330   static int Etat = 0;
331   static int i = 1;
332   switch (Etat)
333   {
334    case 0 : if (start)
335                {
336                 Etat = 1;
337                 i=nb;
338                }
339             break;
340    case 1 : if (! ctr)
341                {
342                 Etat = 2;
343                }
```

```
344                 break;
345     case 2 : if (ctr &&(i==1))
346                  {
347                   Etat = 3;
348                   FinReculer=1;
349                  }
350                 else if (ctr &&(i!=1))
351                 {
352                  Etat=1; i--;
353                 }
354                break;
355     case 3 : if (! start)
356                   {
357                    Etat = 0;
358                    FinReculer = 0;
359                   }
360                 break;
361    }
362 droite = ((Etat==1)||(Etat==2));
363 }
```

Mesure de x, le temps pour avancer d'un emplacement et de y, le temps pour poser ou prendre une pièce.

4.2 Mesure du temps

```
1
2 /* ============================================================================*/
3 /*     Squelette de programme pour la mise en oeuvre de MEF synchronisees  */
4 /*                  Systeme de Traitement Automatise                          */
5 /* ============================================================================*/
6
7 /* COMPILATION : gcc -Wall -o STA sta-macsed_rdp.c -lpci_dask -lsta */
8
9 /* Exemple qui realise ce RdP (1 jeton initiallement dans p0):
10
11 p0 ----------> | ---------> p1 ---------------> | ---------------> p2 ---------------> | --
12            operateur                      FinAvancer
13                                  Avancer(3,1)                    Prendre()
14
15 ----> p3 --------> | ---------> p4 ----------> | ------> p5 -- | ---------------> p6
16              [ 5 ; 5 ]                      FinReculer
17 ne rien faire !          Reculer(2,1)              Poser()              Fin du RdP !
18
19 */
20
21 #include <stdio.h>
22 #include <unistd.h>              // pour sleep()
23 #include <dask.h>                // pour Release_Card()
24 #include <signal.h>              // pour deroutement de CTRL C
25 #include <entreesortie_sta.h>
26 #include <sta_mef.h>
27
28 // ----------------------------------------------------------------------------
29 #define NBPLACES 7
30 // ----------------------------------------------------------------------------
31
32 void Avancer (int, int);
33 void Reculer (int, int);
34 void Prendre (void);
35 void Poser (void);
36
```

```
37 /* variables externes  */
38 short int idcard, stop;
39
40 /* declaration globale */
41 int FinAvancer=0;
42 int FinReculer=0;
43
44 /* etudiant */
45 time_t  ti,
46   tf;
47
48 // les entrees
49 int appG,ctr, appD,presence, lim_hor,lim_ver, operateur;
50
51 // les sorties
52 int v_acc, haut, bas, gauche, droite, alarme;
53
54 int main(void)
55 {
56
57 /* Declarations variables */
58
59 // ---------------------------------------------------------------------------
60 int p[NBPLACES];  // places "presentes"
61 int ps[NBPLACES];   // places "suivantes"
62 int i;
63 double fintempo;  // variables utilisees pour
64 time_t tempo1;    // la tempo
65 // ---------------------------------------------------------------------------
66
67 // initialisation des ports
68 init_io();
69 //initialisation bac : ramene le systeme de transport en bas a droite
70 //ne doit pas etre sur les capteurs en haut ou a gauche
71 init_bac();
72 printf("init faite \n");
73       sortie(V_ACC,0);
74       sortie(HAUT, 0);
75       sortie(BAS,0);
76       sortie(GAUCHE,0);
77       sortie(DROITE,0);
78       sortie(ALARME,0);
79
80 /* Initialisation variables */
81
82 // ---------------------------------------------------------------------------
83 p[0] = 1;
84 ps[0] = 1;
85 for(i=1;i<NBPLACES;i++){
86     p[i] = 0;
87     ps[i] = 0;
88 }
89 fintempo=0;
90 // ---------------------------------------------------------------------------
91 ti = 0;
92 tf = 0;
93
94 while(1)
95     {
96       /**********************/
97       /* Lecture des entrees */
```

```
98        /**********************/
99
100       appG = entree(APPG);
101       ctr = entree(CTR);
102       appD = entree(APPD);
103       presence = entree(PRESENCE);
104       lim_hor = entree(LIM_HOR);
105       lim_ver = entree(LIM_VER);
106       operateur = entree(OPERATEUR);
107
108
109 // ------------------------------------------------------------------------
110   fintempo = difftime(time(NULL),tempo1);
111 // ------------------------------------------------------------------------
112
113      /* allongement du cycle programme */
114      // usleep(50);
115
116 // ------------------------------------------------------------------------
117
118     /* blocs F */   // Description des transitions possibles
119
120   if(p[0]==1){
121     printf("p0 \n");
122     if(operateur==1){  // marquage initial, attente d'un appui sur operateur
123       ps[0]--;
124       ps[1]++;
125
126     }
127   }
128
129   if(p[1]==1){
130     printf("p1 \n");     // FinAvancer est a 1 lorsque le capteur ctr est a 1
131     if(FinAvancer==1){  // et qu'on a parcouru toutes les encoches demandees
132         ps[1]--;         // Exemple: 3 encoches parcourues si Avancer(2,1)
133       ps[2]++;
134
135       Avancer(0,0); // Remise a zero de la machine a etats definie dans la
              fonction Avancer
136
137
138     }
139   }
140
141   if(p[2]==1){
142     printf("p2 \n");
143
144     ps[2]--;
145     ps[3]++;
146   }
147
148   if(p[3]==1){
149     printf("p3 \n");
150
151     if(fintempo>=5){  // attente de 5 secondes avant de passer a la place 4
152       ps[3]--;
153       ps[4]++;
154     }
155   }
156
157   if(p[4]==1){
```

```
158     printf("p4 \n");  // FinAvancer est a 1 lorsque le capteur ctr est a 1
159     if(FinReculer==1){  // et qu'on a parcouru toutes les encoches demandees
160       ps[4]--;     // (exemple : 2 encoches parcourues si on a ecrit
              Reculer(2,1) )
161       ps[5]++;
162
163       Reculer(0,0); // Remise a zero de la machine a etats definie dans la
              fonction Reculer
164     }
165   }
166
167   if(p[5]==1){
168     printf("p5 \n");
169     ps[5]--;
170     ps[6]++;
171     if (ti == 0)
172     {
173       //ti = time(NULL);
174     }
175   }
176
177   if(p[6]==1)     // --> fin du Reseau de Petri
178     {
179       if(tf == 0)
180       {
181         //tf = time(NULL);
182         //printf("P6 : poser : %f \n",difftime(tf,ti));
183       }
184     }
185
186   /* blocs M */     // Franchissement des transitions
187
188   if(p[3]==0 && ps[3]==1)
189   {    // du coup, lancement des actions liees au franchissement des transitions
190     tempo1 = time(NULL);  // (ici, on recupere le "temps actuel" au moment ou
          on arrive dans la place p3
191
192   }              // pour pouvoir ensuite le comparer avec le temps actuel
        recupere a chaque passage
193                  // dans la boucle while -> cf. lecture des entrees et ligne
                         "if(fintempo>=5)")
194
195     for(i=0;i<NBPLACES;i++){  // et actualisation des etats presents
196         p[i] = ps[i];
197   }
198 // ------------------------------------------------------------------------
199
200       /**************************/
201       /* Ecriture des sorties   */
202       /**************************/
203
204 // ------------------------------------------------------------------------
205
206    /* blocs G */  // gestion des sorties en fonction du marquage mis a jour
207
208   if(p[1]==1){
209   if (ti == 0)
210     ti = time(NULL);
211         Avancer(8,1);
212
213     }
```

```
214     if(p[2]==1){
215       Prendre();
216     }
217
218     if(p[4]==1){
219         Reculer(2,1);
220     }
221
222   if(p[5]==1){
223         Poser();
224     }
225 // ------------------------------------------------------------------------------
226
227       sortie(V_ACC,0);
228      // sortie(HAUT, haut); // actions haut/bas gerees dans les fonctions
229      // sortie(BAS, bas);    // Prendre et Poser ci-dessous
230       sortie(GAUCHE, gauche);
231       sortie(DROITE, droite);
232       sortie(ALARME,0);
233
234 printf ("haut: %d -- bas : %d -- gauche : %d -- droite : %d \n",haut,bas,
      gauche, droite);
235 }
236
237       sortie(V_ACC,0);
238       sortie(HAUT, 0);
239       sortie(BAS,0);
240       sortie(GAUCHE,0);
241       sortie(DROITE,0);
242       sortie(ALARME,0);
243
244 return 0;
245 }
246
247 void Prendre (void)
248  {printf ("prise d'un objet1\n");
249   sortie(HAUT, 1);
250   while (entree(LIM_VER));
251   printf ("prise d'un objet2\n");
252   usleep(10);
253   while (!entree(LIM_VER));
254   printf ("prise d'un objet3\n");
255   sortie(HAUT, 0);
256  }
257
258 void Poser (void)
259  {printf ("pose d'un objet\n");
260   sortie(BAS,1);
261   while (entree(LIM_VER));
262   while (!entree(LIM_VER));
263   sortie(BAS,0);
264  }
265
266 void Avancer (int nb, int start)
267  {
268   static int Etat = 0;
269   static int i = 1;
270   switch (Etat)
271   {
272    case 0 : if (start)
273               {
```

```
274                 Etat = 1;
275                 i=nb;
276                }
277              break;
278    case 1 : if (! ctr)
279                 {
280                  Etat = 2;
281                 }
282              break;
283    case 2 : if (ctr &&(i==1))
284                {
285                 Etat = 3;
286                 FinAvancer=1;
287                 tf = time(NULL);
288                 printf("Avvvvvvvvvvvvvancer : %f \n",difftime(tf,ti));
289                }
290              else if (ctr &&(i!=1))
291              {
292               Etat=1; i--;
293              }
294              break;
295    case 3 : if (! start)
296                 {
297                  Etat = 0;
298                  FinAvancer = 0;
299                 }
300              break;
301   }
302
303 gauche = ((Etat==1)||(Etat==2));
304 printf ("EtatAvancer : %d -- gauche : %d\n",Etat, gauche);
305 }
306
307 void Reculer (int nb, int start)
308  {
309   static int Etat = 0;
310   static int i = 1;
311   switch (Etat)
312   {
313    case 0 : if (start)
314                {
315                 Etat = 1;
316                 i=nb;
317                }
318              break;
319    case 1 : if (! ctr)
320                 {
321                  Etat = 2;
322                 }
323              break;
324    case 2 : if (ctr &&(i==1))
325                {
326                 Etat = 3;
327                 FinReculer=1;
328                }
329              else if (ctr &&(i!=1))
330              {
331               Etat=1; i--;
332              }
333              break;
334    case 3 : if (! start)
```

```
335                     {
336                       Etat = 0;
337                       FinReculer = 0;
338                     }
339                   break;
340    }
341 droite = ((Etat==1)||(Etat==2));
342 }
```

Mesure du temps de traversé de bout en bout.

Annexe 2 - Analyse TINA

4.1 Analyse d'accessibilité du modèle 2 opérations

```
   .5
Tina version 2.8.4 -- 10/27/06 -- LAAS/CNRS

mode -W
4
INPUT NET ---------------------------------------------------------

parsed net {reseau-AnalyseIII-2}

25 places, 23 transitions

net {reseau-AnalyseIII-2}
tr t0 p0 -> p1
tr t1 [1,1] p1 -> p2
14 tr t10 [1,1] p21 -> p22
tr t11 [3,3] p8 -> p23
tr t12 [0,0] p22 -> p5
tr t13 [22,22] p19 -> p17
tr t14 [0,0] p24 -> p13
tr t15 [0,0] p20 p6 -> p7
tr t16 [2,2] p7 -> p8
tr t17 : FinReculer [1,1] p23 -> p24
tr t18 [0,0] p14 p19 -> p15
tr t19 [2,2] p15 -> p16
24 tr t2 [3,3] p2 -> p3
tr t20 [3,3] p16 ->
tr t21 [3,3] p5 -> p6
tr t22 [3,3] p13 -> p14
tr t3 [2,2] p3 -> p4
tr t4 [3,3] p4 -> p20 p9
tr t5 [16,16] p20 -> p18
tr t6 [1,1] p9 -> p10
tr t7 [3,3] p10 -> p11
tr t8 [2,2] p11 -> p12
34 tr t9 [3,3] p12 -> p19 p21
pl p0 (1)
pl p1 : {Avancer(1,1)}
pl p10 : {Prendre();}
pl p11 : {Avancer(2,1);}
pl p12 : {Poser();}
pl p13 : {Prendre();}
pl p15 : {Avancer(2,1);}
pl p16 : {Poser();}
pl p17 : {Alarme();}
44 pl p18 : {Alarme();}
pl p2 : {Prendre();}
pl p21 : {Reculer(1,1);}
pl p23 : {Reculer(1,1);}
pl p3 : {Avancer(2,1);}
pl p4 : {Poser();}
pl p5 : {Prendre();}
pl p7 : {Avancer(2,1);}
pl p8 : {Poser();}
pl p9 : {Reculer(1,1)}
54
0.000s

REACHABILITY ANALYSIS ---------------------------------------------
```

```
bounded

22 classe(s), 21 transition(s)

CLASSES:
64
class 0
    marking
  p0
    domain
  0 <= t0

class 1
    marking
  p1
74  domain
  1 <= t1 <= 1

class 2
    marking
  p2
    domain
  3 <= t2 <= 3

class 3
84  marking
  p3
    domain
  2 <= t3 <= 2

class 4
    marking
  p4
    domain
  3 <= t4 <= 3
94
class 5
    marking
  p20 p9
    domain
  16 <= t5 <= 16
  1 <= t6 <= 1

class 6
    marking
104 p10 p20
    domain
  15 <= t5 <= 15
  3 <= t7 <= 3

class 7
    marking
  p11 p20
    domain
  12 <= t5 <= 12
114 2 <= t8 <= 2

class 8
    marking
  p12 p20
    domain
  10 <= t5 <= 10
  3 <= t9 <= 3

class 9
124 marking
  p19 p20 p21
    domain
  1 <= t10 <= 1
  22 <= t13 <= 22
  7 <= t5 <= 7

class 10
    marking
  p19 p20 p22
134 domain
```

```
      0 <= t12 <= 0
      21 <= t13 <= 21
      6 <= t5 <= 6

    class 11
        marking
      p19 p20 p5
        domain
      21 <= t13 <= 21
144   3 <= t21 <= 3
      6 <= t5 <= 6

    class 12
        marking
      p19 p20 p6
        domain
      18 <= t13 <= 18
      0 <= t15 <= 0
      3 <= t5 <= 3
154
    class 13
        marking
      p19 p7
        domain
      18 <= t13 <= 18
      2 <= t16 <= 2

    class 14
        marking
164   p19 p8
        domain
      3 <= t11 <= 3
      16 <= t13 <= 16

    class 15
        marking
      p19 p23
        domain
      13 <= t13 <= 13
174   1 <= t17 <= 1

    class 16
        marking
      p19 p24
        domain
      12 <= t13 <= 12
      0 <= t14 <= 0

    class 17
184     marking
      p13 p19
        domain
      12 <= t13 <= 12
      3 <= t22 <= 3

    class 18
        marking
      p14 p19
        domain
194   9 <= t13 <= 9
      0 <= t18 <= 0

    class 19
        marking
      p15
        domain
      2 <= t19 <= 2

    class 20
204     marking
      p16
        domain
      3 <= t20 <= 3

    class 21
        marking
```

```
        domain

214
    REACHABILITY GRAPH:

    0 -> t0 in [0,w[/1
    1 -> t1 in [1,1]/2
    2 -> t2 in [3,3]/3
    3 -> t3 in [2,2]/4
    4 -> t4 in [3,3]/5
    5 -> t6 in [1,1]/6
    6 -> t7 in [3,3]/7
224 7 -> t8 in [2,2]/8
    8 -> t9 in [3,3]/9
    9 -> t10 in [1,1]/10
    10 -> t12 in [0,0]/11
    11 -> t21 in [3,3]/12
    12 -> t15 in [0,0]/13
    13 -> t16 in [2,2]/14
    14 -> t11 in [3,3]/15
    15 -> t17 in [1,1]/16
    16 -> t14 in [0,0]/17
234 17 -> t22 in [3,3]/18
    18 -> t18 in [0,0]/19
    19 -> t19 in [2,2]/20
    20 -> t20 in [3,3]/21
    21 ->

    0.000s

    LIVENESS ANALYSIS ----------------------------------------------------------

244 not live

    1 dead classe(s), 1 live classe(s)
    2 dead transition(s), 0 live transition(s)

    dead classe(s): 21

    dead transition(s): t5 t13

    STRONG CONNECTED COMPONENTS:
254
    21 : 0
    20 : 1
    19 : 2
    18 : 3
    17 : 4
    16 : 5
    15 : 6
    14 : 7
    13 : 8
264 12 : 9
    11 : 10
    10 : 11
    9 : 12
    8 : 13
    7 : 14
    6 : 15
    5 : 16
    4 : 17
    3 : 18
274 2 : 19
    1 : 20
    0 : 21

    SCC GRAPH:

    21 -> t0/20
    20 -> t1/19
    19 -> t2/18
    18 -> t3/17
284 17 -> t4/16
    16 -> t6/15
    15 -> t7/14
```

```
    14 -> t8/13
    13 -> t9/12
    12 -> t10/11
    11 -> t12/10
    10 -> t21/9
    9 -> t15/8
    8 -> t16/7
294 7 -> t11/6
    6 -> t17/5
    5 -> t14/4
    4 -> t22/3
    3 -> t18/2
    2 -> t19/1
    1 -> t20/0
    0 ->

    0.000s
304
    ANALYSIS COMPLETED ------------------------------------------------------
```

Analyse d'accessibilité du modèle 2 opérations