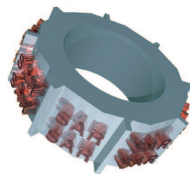


Master UPMC Sciences et technologies,  
mention informatique  
Spécialité Systèmes et Applications  
Réparties

Modélisation Formelle de Systèmes Répartis



TME de prise en main des réseaux de Petri

Fabrice.Kordon@lip6.fr

21 octobre 2009

**Table des matières**

<b>1</b>	<b>Observations sur une exclusion mutuelle simple</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Modélisation du fonctionnement d'une piscine</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Modélisation et analyse d'un système client/serveur</b>	<b>6</b>

## Avant-propos sur l'environnement CPN-AMI

CPN-AMI est un Environnement de Génie Logiciel basé sur les réseaux de Petri. Il permet la modélisation et l'analyse formelle de réseaux de Petri bien formés. CPN-AMI version 1 a été mis en ligne entre 1994 et 1998. CPN-AMI version 2 est en ligne depuis 1997 et la version 3.4 (que vous utiliserez) a été diffusée il y a quelques jours (de 2009). C'est la 12<sup>me</sup> version diffusée via Internet. Environ 250 licences réparties sur 48 pays ont été distribuées depuis la mise à disposition de la seconde version de CPN-AMI. La version 3.4 fonctionne sur MacOS (interface utilisateur) et sur Linux ou MacOS (le serveur d'application). Tout est fait pour que vous l'installiez vous-même mais il est vivement conseillé de ne pas envisager d'installation sur chacun de vos comptes (pb d'espace). Pour le serveur d'application sous Linux, on conseille vivement /Vrac. La version Macintosh est déjà installée sur les iMac de la salle SAR. On vous explique plus loin comment faire une installation sur votre machine personnelle si vous le souhaitez.

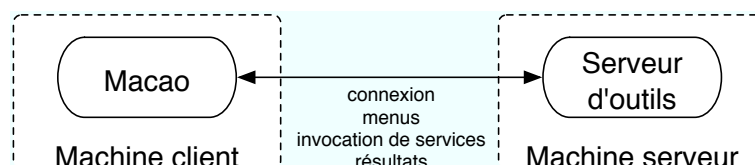


FIG. 1 – Architecture de CPN-AMI.

La figure 1 présente l'architecture de CPN-AMI. Comme il se doit pour un logiciel réalisé dans une équipe qui fait du système, l'architecture est basée sur le modèle « client/serveur ». Un client léger, Macao, joue le rôle d'interface utilisateur : il permet l'édition/manipulation de graphes (en général, les réseaux de Petri ne sont là qu'un cas particulier) et gère la connexion/interaction avec le serveur d'outils. Le serveur d'outil est constitué d'une plate-forme d'accueil (FrameKit) et d'un ensemble d'outils ; certains ont été développés au LIP6, d'autres dans des universités partenaires.

Depuis la version 3.0, on peut avoir le client et le serveur sur la même machine (mais il faut que ça soit un mac ;-). Le serveur d'application fonctionne sous Linux et sous MacOS. La version 3.2 amène une nouveauté majeure. Une nouvelle interface utilisateur est disponible sous la forme d'un plug-in eclipse. Vous pouvez donc installer la plate-forme sur un PC/Linux et l'utiliser sur cette même machine via Eclipse.

On vous présente ici quelques éléments vous permettant de configurer Macao et Coloane puis des références vers la documentation en ligne du système.

### Configuration de Macao

Pour que Macao fonctionne correctement avec CPN-AMI, vous devez ouvrir deux dossiers et transférer des fichiers de l'un vers l'autre :

1. installez le Macao que vous trouverez soit dans la distribution propre à Macao ([www.lip6.fr/macao](http://www.lip6.fr/macao)) soit dans la distribution combinée de CPN-AMI sur MacOS ([www.lip6.fr/cpn-ami](http://www.lip6.fr/cpn-ami)). Pour ce faire, vous suivrez les instructions qui vous sont données dans la distribution standard de ces logiciels.
2. Lancez l'application Macao dans le dossier (Vous pouvez, en faisant glisser l'icône dans la barre du «dock» l'y maintenir et y accéder facilement ensuite).
3. dans le menu "Macao", sélectionnez "About Macao..." en pressant la touche «alt», puis, dans la fenêtre qui apparaît, cliquez sur "Register". Vous pouvez enregistrer votre copie de Macao en lui donnant les informations suivantes :
  - votre login CPN-AMI qui est le même que celui de votre cmpe Unix sur les iMac,
  - l'adresse IP du serveur qui est **127.0.0.1**.
  - le "Macao password" qui est, pour ce serveur : **26ceb5f375**.
  - Si vous utilisez un serveur distant tournant sur un PC/Linux, alors redirigez le port 7001 local (utilisé par CPN-AMI vers celui de la machine qui contient le serveur d'application en procédant comme suit : `ssh -N -f -X -L 7001 :localhost :7001 monlogin@machine-serveur1`).

<sup>1</sup> Attention, Latex me met gentiment des espaces avant les " : " qui n'ont pas lieu d'être dans cette commande bien sûr...

4. Cliquez sur "OK" puis quittez l'application Macao afin qu'il enregistre ces données dans son fichier de préférence, vous êtes paré pour travailler.

Pour tout autre détail, suivez les instructions qui vous sont données dans la distribution de CPN-AMI. Vous trouverez ces dernières via le site-web : [www.lip6.fr/cpn-ami](http://www.lip6.fr/cpn-ami).

## Installation de Coloane

Coloane est un plug-in Eclipse qui permet, tout comme Macao de dessiner des graphes et d'interroger la plate-forme CPN-AMI. Vous trouverez sur <http://move.lip6.fr/software/COLOANE/download.html> un manuel pas-à-pas qui vous permettra d'installer et activer le plug-in.

## Utilisation de Macao/Coloane et CPN-AMI

Pour avoir plus d'informations, vous devez vous connecter aux URL suivantes afin d'obtenir la documentation en ligne :

- l'interface utilisateur Macao :  
<http://move.lip6.fr/software/MACAO/manual.html>,
- l'interface utilisateur Coloane :  
<http://move.lip6.fr/software/COLOANE/manual.html>,
- la syntaxe des AMI-Nets<sup>2</sup> :  
[http://move.lip6.fr/software/CPNAMI/MANUAL\\_SERV/ami-net.html](http://move.lip6.fr/software/CPNAMI/MANUAL_SERV/ami-net.html),
- la connexion aux outils pour les réseaux de Petri :  
[http://move.lip6.fr/software/FRAMEKIT/manual\\_services.html](http://move.lip6.fr/software/FRAMEKIT/manual_services.html),
- les services de CPN-AMI :  
[http://move.lip6.fr/software/CPNAMI/MANUAL\\_SERV/index.html](http://move.lip6.fr/software/CPNAMI/MANUAL_SERV/index.html).

## Fichiers fournis dans le cadre de ce TME

Vous trouverez dans l'image disque postée sur le site les modèles Macao qui vous sont fournis dans le cadre de ce sujet.

Pour les obtenir, téléchargez l'image sur le dossier bureau de votre mac puis double-cliquez dessus afin de monter le volume virtuel associé.

Attention, avec la dernière version de Macao (dans la distribution de CPN-AMI 3.2), il faut s'assurer que les fichiers de modèles aient l'extension `.mcf` si vous voulez que Macao se lance en double-cliquant...

Pour ce qui est de Coloane, vous pouvez importer les fichiers contenant l'extension `.petri` qui vous sont fournis au lieu de tout redessiner.

## Matériel pour ce TME

Vous trouverez sur le site web de la spécialité les données à rapatrier pour réaliser votre travail (sous la forme d'une image-disque). Pour décompresser l'image-disque, double-cliquez dessus et elle sera montée sous la forme d'un volume supplémentaire. ce volume est en lecture/écriture et vous pouvez donc travailler sans «sortir» les modèles (dans la limite de l'espace disponible).

## 1 Observations sur une exclusion mutuelle simple

Nous considérerons un ensemble de processus accédant à une section critique (voir figure 2). Le processus est composé des places *Pout* et *Pin* indiquant respectivement que le processus est hors ou dans la section critique. Un sémaphore privé est représenté par la place *Mutex*. On considère dans un premier temps qu'il y a deux processus concurrents souhaitant accéder à la section critique.

Connectez-vous à la plate-forme et faites apparaître le menu des services disponibles. Lancez alors la vérification syntaxique du modèle.

---

<sup>2</sup>Dialecte réseaux de Petri utilisé dans CPN-AMI, correspond à la sémantique des «réseaux de Petri bien formés».

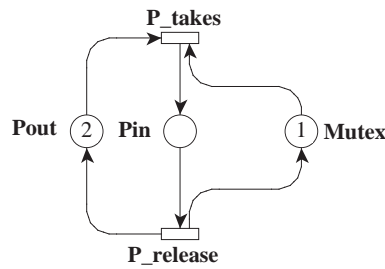


FIG. 2 – Modèle simple d'exclusion mutuelle.

### Question 1.1 : interprétation d'un invariant de place

Un invariant de place est un ensemble de places pour lesquels le nombre de jeton est constant (la valeur de la constante est déterminée par le marquage initial  $M_0$  du modèle). Lancez le calcul des invariants de places (dans la rubrique «propriétés structurelles») et analysez le résultat. Que peut-on en déduire ?

### Question 1.2 : graphe des marquages accessibles (espace des états)

Construisez le graphe des marquages accessibles à l'aide de l'outil Prod (accessible via la rubrique «propriétés comportementales»). Vous devez construire le graphe et ensuite demander sa visualisation.

Qu'observez-vous sur le graphe des marquages accessibles ? pouvez-vous le mettre en relation avec ce que vous avez déduit à la question précédente ?

### Question 1.3 : variation du graphe des marquages accessibles

On souhaite augmenter le nombre de processus dans le système pour en avoir 4. Quel marquage devez-vous modifier ?

Construisez à nouveau le graphe des marquages accessibles de ce modèle. Qu'observez-vous de différent avec le graphe précédent ? est-ce normal ? pourquoi ?

### Question 1.4 : ressources banalisées

On considère maintenant que la ressource n'est plus en exclusion mutuelle mais simplement banalisée (il en existe 3 exemplaires). Quel marquage devez-vous modifier ?

Construisez à nouveau le graphe des marquages accessibles de ce modèle. Qu'observez-vous de différent avec le graphe précédent ? est-ce normal ? pourquoi ?

Construisez le graphe des marquages accessibles pour 2, 3 et 4 processus concurrents. Qu'observez-vous ? que pouvez-vous en déduire sur la structure du graphe des marquages accessibles ?

### Question 1.5 : deux classes de processus

On considère maintenant que deux classes de processus (P1 et P2) se partagent la ressource critique ; le comportement de ces deux classes de processus est identique et on suppose qu'il en existe deux de chaque type initialement. Modifiez le modèle qui vous a été fourni pour modéliser ces deux classes.

Calculez les invariants de places. Combien y en a-t-il ? est-ce normal par rapport au modèle avec un seul processus ?

Calculez les invariants de transition. A votre avis, que représentent-ils dans le graphe des marquages accessibles ?

Calculez le graphe des marquages accessibles. Que déduisez-vous de sa structure ?

A la lumière de ce que vous avez fait en passant du modèle à une seule classe de processus vers le modèle à deux classes de processus, que pensez-vous du terme «dépliage» ?

### Question 1.6 : deux classes de processus + ressource banalisée

On considère qu'il existe 2 exemplaires de la ressource. Construisez le graphe des marquages accessibles. Que pensez-vous de sa structure ?

Construisez également le graphe pour 3, 4 et 5 ressources. Qu'observez-vous ? pouvez-vous relier cela à ce que vous avez observé en question précédente ?

## 2 Modélisation du fonctionnement d'une piscine

On souhaite modéliser le fonctionnement des usagers d'une piscine qui sont amenés à utiliser :

- des cabines pour se changer,
- le bassin pour se baigner.

Le comportement d'un usager est le suivant :

1. l'usager entre dans la piscine,
2. l'usager demande la clef d'une cabine qu'il conservera jusqu'à sa sortie,
3. l'usager entre dans la cabine et se change,
4. l'usager se baigne,
5. l'usager entre dans la cabine, se sèche et se change,
6. l'usager rend la clef de la cabine,
7. l'usager sort de la piscine et vaque à de nouvelles occupations.

On souhaite étudier la dynamique de ce système et en particulier les inconvénients liés au système. Pour cela, on supposera qu'il y a 10 usagers potentiels et 8 cabines disponibles.

### Question 2.1 : modélisation du système

Modélisez le comportement de l'usager et son usage des différentes ressources présentes dans la piscine. Vous prendrez soin de ne modéliser que ce qui est nécessaire par rapport au système. Observez-vous une ressemblance avec une étude récente ?

### Question 2.2 : analyse d'une propriété

Quelle est la capacité maximale de la piscine ? indiquer comment vous la calculez.

Le directeur de la piscine souhaite optimiser le fonctionnement de sa procédure et adopte un nouveau mode de fonctionnement basé sur le partage des cabines et le stockage des affaires des usagers dans des paniers.

Le nouveau comportement d'un usager est le suivant :

1. l'usager entre dans la piscine,
2. l'usager demande une cabine et obtient une clef,
3. l'usager demande un panier qu'il conservera jusqu'à sa sortie,
4. l'usager entre sa cabine, se change puis libère la cabine en rendant la clef à l'accueil,
5. l'usager dépose le panier avec ses vêtements à la consigne,
6. l'usager se baigne,
7. l'usager demande une nouvelle cabine et obtient une seconde clef,
8. l'usager reprend le panier avec ses vêtements à la consigne,
9. l'usager entre dans la seconde cabine, se sèche et se change, puis libère la cabine en rendant la clef à l'accueil,
10. l'usager rend le panier à l'accueil,
11. l'usager sort de la piscine et vaque à de nouvelles occupations.

On considèrera pour l'étude que l'on dispose de 4 paniers, 2 cabines et que la population des clients est de 6 personnes.

### Question 2.3 : modélisation du système

Modélisez le comportement de l'utilisateur et son usage des différentes ressources présentes dans la piscine. Vous prendrez soin de ne modéliser que ce qui est nécessaire par rapport au système.

Vous vérifierez que les invariants de place ne vous surprennent pas afin de s'assurer que la conception du modèle n'est pas absurde (étape préliminaire à la question, où attendez-vous des invariants ?).

### Question 2.4 : Analyse du comportement

Générez le graphe des marquages accessibles... qu'observez-vous? utilisez les différents services de Prod pour proposer un diagnostic. Vous pouvez tenter, si vous identifiez des numéros d'état qui posent problème de demander un scénario animé de ce qui se passe (l'état 0 est par convention l'état initial et tous les états sont numérotés).

*NB : Conseil avant de tenter de visualiser le graphe, regardez sa taille ;-)*

### Question 2.5 : Impact sur le système réel

Aidez le directeur de la piscine à modifier sa spécification pour éviter le problème que vous avez observé. Demander un design alternatif de piscine qui passe dans tous les cas.

## 3 Modélisation et analyse d'un système client/serveur

*Je sais que vous venez juste d'entendre parler des réseaux de Petri colorés, mais vous pouvez/devez utiliser cette partie pour "expérimenter et comprendre" comment ça marche et vous entraîner pour la suite de MSR ;-).*

Considérons le système client serveur de la Figure 3<sup>3</sup>. Il y a deux classes de processus : un producteur de messages (présenté par *P1a/P1b*) et un consommateur de messages (présenté par *P2a/P2b*). Lorsqu'il a émis un message, le producteur attend un accusé de réception de ce dernier. Lorsqu'il a traité un message, le consommateur émet un accusé de réception à destination du producteur. Les instances de ces deux classes de processus sont numérotées et le producteur *i* communique uniquement avec le consommateur *i*.

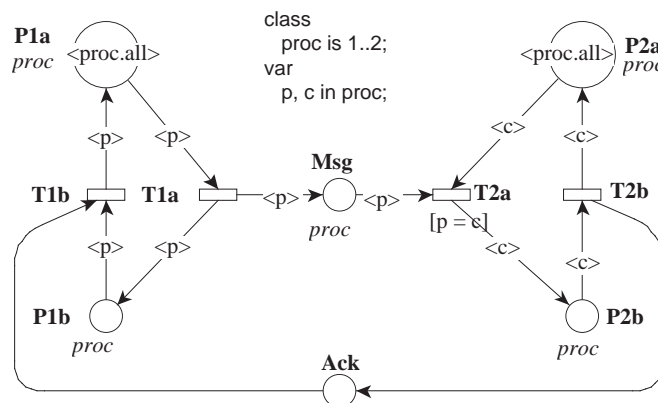


FIG. 3 – Modèle client-serveur simple.

### Question 3.1 : analyse du comportement

Construisez le graphe des marquages accessibles. Observez-vous un blocage du système.

<sup>3</sup>Notez que *<proc.all>* est une notation pour la fonction dite "de diffusion" qui associe un jeton de chacune des valeurs d'une classe de couleur dans la place correspondante. Ici, *proc* correspondant à l'intervalle 1..2, on aura les jetons *<1>* et *<2>*.

Essayez de construire la formule de logique temporelle qui vérifie que si le processus  $\langle i \rangle$  (avec  $i = 1$  ou  $2$ ) émet un message dans la place *Msg*, alors il atteindra «dans tous les futurs possibles» un état où *Pla* est marqué (i.e. reçoit **toujours** l'accusé de réception associé à ce message). La formule est-elle vérifiée ?

la formule alternative en remplaçant «tous les futurs» par «dans certains futurs». Cette nouvelle formule est-elle vérifiée ?

Qu'en déduisez-vous ?

### Question 3.2 : analyse structurelle

Utilisez l'outil d'analyse des bornes structurelles des bornes inférieures et supérieures du marquage d'une place par dépliage (rubrique «structural properties»). L'une des bornes devrait vous choquer... laquelle ?

Effectuez un dépliage du réseau coloré en un réseaux Place/Transition. Observez-vous quelque chose d'anormal par rapport à ce qui est dit dans l'énoncé ?

Qu'en déduisez-vous ?

### Question 3.3 : analyse comportementale

Caractérisiez par model checking avec Prod un état qui nous pose un problème et identifiez son numéro. Déroulez ensuite par animation le scénario jusque vers cet état. Expliquez ce que vous caractérisez<sup>4</sup> ?

### Question 3.4 : correction du modèle

Corrigez le modèle et, en appliquant la formule de logique temporelle identifiée à la question 3.1, vérifiez que le modèle est correct.

---

<sup>4</sup>Vous devez faire le même diagnostic que précédemment mais en le démontrant par une autre technique.

## Annexe : éléments de syntaxe des formules dans Prod

PROD in CPN-AMI formula structure	
query [verbose] [node] formula	If <b>node</b> is set, the formula is evaluated on all reachability graph's nodes. Otherwise, it is evaluated on the initial state only ? If <b>verbose</b> is set, the verbose mode will be activated. Important : all nodes in the reachability graph are numbered. You can use these identifiers to point out some nodes.
Atomic formulas	
PlaceName1 >= Placename2	PlaceName1 contains less tokens than PlaceName2.
PlaceName != <..>	PlaceName marking is different from one single non colored token.
Placename == 2<.1,2.> + <.1,3.>	PlaceName marking is equal to one composed colored token <.1,3.> plus two composed colored tokens <.1,2.>.
card(PlaceName) > 1	The number of tokens in PlaceName is greater than 1.
card(PlaceName : (field[0]==2)) >= 1	The number of composed tokens in place PlaceName for which the first field is "2" is greater or equal to 1 (be aware that field numbering starts from 0).
and/or/not	Usual logical operators
Temporal formulas	
AX (formula)	Next on all branches.
EX (formula)	Next on some branch.
AG (formula)	Henceforth on all branches.
EG (formula)	Henceforth on some branch.
AF (formula)	Eventually on all branches.
EF (formula)	Eventually on some branch.
AU (formula, formula)	Until on all branches.
EU (formula, formula)	Until on some branch.
implies (formula <sub>1</sub> , formula <sub>2</sub> )	formula <sub>1</sub> implies formula <sub>2</sub> .