

# SEPTIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 28 MAI au 2 JUIN 1979

---

## ENSEMBLE D'OUTILS POUR LA CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR DE SYSTEMES NUMERIQUES A HAUTE PERFORMANCE

M. Claude MICHEL - ingénieur à la Société SINTRA

S I N T R A - 26, rue Malakoff - ASNIERES 92600

---

### RESUME

Après un bref rappel sur les réseaux de Pétri (RdP), nous présentons un ensemble homogène de programmes, constituant une chaîne pour la modélisation et la réalisation assistée par ordinateur, des systèmes numériques complexes utilisés en traitement du signal.

Trois programmes ont été développés avec le concours de plusieurs Universités (Grenoble, Nice, Paris) et le soutien de la DRET.

Ces trois programmes aident le concepteur dans les trois phases principales qui mènent des spécifications d'une fonction à sa réalisation matériel et/ou logiciel.

Dans une 1ère phase, le programme "Simulation de réseaux de Pétri" permet de décrire la façon précise et non ambiguë, le cahier des charges de la fonction à mettre en oeuvre, puis d'évaluer les caractéristiques de ce modèle (absence de blocage, de fonctionnement indéterminé, etc ...).

A partir du modèle réseau de Pétri ainsi simulé et validé, les deux autres programmes déduisent la réalisation matériel et/ou logiciel en fonction de contraintes spécifiques de réalisation.

Le programme d'implémentation d'opérateurs spécialisés assure l'optimisation du chemin des données et détermine le séquençement en fonction des ressources allouées. La définition du PROM ou FPLA réalisant ce séquençement est alors optimisée.

Le programme d'implémentation logiciel assure la traduction du réseau de Pétri en langage de programmation.

### SUMMARY

- After a short recall on Pétri-Net, we show an homogeneous lot of programs which is a chain of Computer Aided Design (C.A.D) for complex logical systems used in signal processing.
- Three programs have been achieved with university of Grenoble, Nice and Paris, the set is sponsored by DRET.
- These programs can help the designer during the three phases ; which lead from specifications to implementation.
- In the first section, the program "Simulation of Pétri-Nets" allows the description of specifications without failures in an accurate matter.
- The features of model are evaluated (no dead lock...)
- From this model, Petri-Nets, (validated by simulation) two other programs give us hardware and software implementations - with specific constraint of realization.
- the program "implementation of specialised operators" allows the optimisation of data flow and gives us the timing according to allowed resources.
- Definition of PROM and FPLA's timing is so feasible.
- The software's implementation is also made from Petri-Nets.



ENSEMBLE D'OUTILS POUR LA CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR  
DE SYSTEMES NUMERIQUES A HAUTE PERFORMANCE

## I - INTRODUCTION

- Avec la complexité croissante des systèmes numériques et l'introduction sur le marché des composants électroniques : du microprocesseurs, FPLA, et autres fonctions complexes sur une seule puce de silicium, de nouveaux besoins apparaissent pour :

1 - Maîtriser le parallélisme, nécessaire pour augmenter les performances des systèmes.

2 - Améliorer la sûreté de fonctionnement : en effet, la grande complexité des systèmes digitaux d'aujourd'hui, rend le test exhaustif impossible. Aussi la seule solution est-elle d'améliorer la fiabilité de l'étude, par une modélisation lucide, en procédant par affinements successifs.

3 - Diminuer les temps d'étude et de mise au point sur les sites tout en facilitant la maintenance : autant de facteurs qui deviennent aujourd'hui prépondérants dans le prix de revient d'un système.

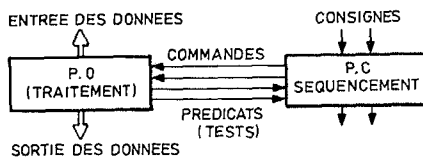
4 - Prévoir les performances du système : l'estimation des performances des architectures multi-processeurs n'est pas aisée sans un outil de modélisation adapté.

- Un ensemble homogène de programmes de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) a été conçu au sein de la Société SINTRA avec l'aide de plusieurs universités [1] et le soutien de la D.R.E.T.

- Cette chaîne de CAO s'appuie sur le concept suivant :

tout système informatique (matériel ou logiciel) peut être décomposé en deux parties qui coopèrent :

- . une partie opérative qui contient l'ensemble des ressources du système (chemin de données, opérateurs, mémoires...)
- . une partie contrôle qui séquence les opérations élémentaires, à effectuer sur la partie opérative, pour réaliser une tâche.



- La partie opérative ne pose, en général, par trop de difficultés lors de l'étude, par contre, la partie contrôle peut être relativement complexe à maîtriser avec l'introduction des systèmes parallèles.

- Depuis quelques années, les Réseaux de Pétri tendent à être de plus en plus utilisés, comme modèle de description de la partie contrôle des systèmes parallèles et asynchrones.

## II - RESEAUX DE PETRI (RdP)

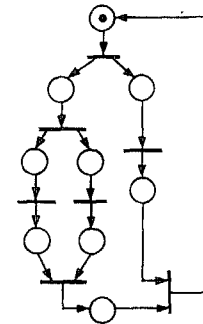
- Un réseau de Pétri est un graphe contenant deux types de noeuds :

- . des cercles (appelés PLACES)
  - . des barres (appelées TRANSITIONS).
- Ces noeuds sont connectés par des arcs (Places → transitions ou Transitions → arcs)

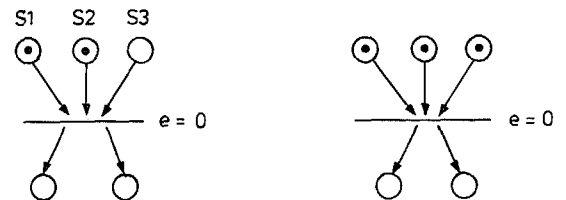
. On associe aux places les sorties de l'automate agissant sur l'extérieur et aux transitions les événements agissant sur l'automate.

. L'état de l'automate est représenté à l'aide de "marqueurs" symbolisés par un point à l'intérieur du cercle représentant une place. Une place possédant un marqueur est dite marquée, et les sorties associées à celle-ci sont actionnées tant qu'elle restera marquée.

- Une transition est "validée" si - toutes les places amonts sont marquées - une transition est "franchie" lorsqu'elle est "validée" et que l'évènement extérieur associé se produit - le franchissement de la transition consiste à enlever les marqueurs des places en amont et de les injecter dans les places en aval :

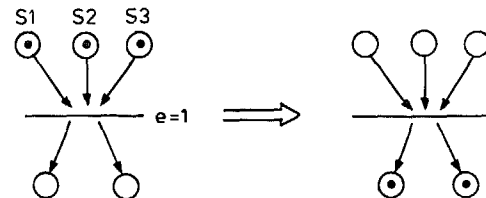


Réseau de Pétri



pas de tir de la transition (S3 n'est pas marquée)

la transition n'est pas franchissable (e = 0)



la transition est franchissable (S1, S2, S3 marquée) et (e = 1)

la transition est franchie

- Les Réseaux de Pétri ont connu de nombreuses variantes depuis 1972.

Ainsi, les : réseaux généralisés, réseaux à arcs inhibiteurs, réseaux automodifiables, réseaux temporisés, réseaux colorés ..., sont autant d'extensions qui ont permis de décrire des processus de plus en plus complexes [que l'on rencontre notamment en programmation temps réel (files d'attente, priorités, sémaphores, exclusions mutuelles, gestion de piles, réentrance ...)] .

ENSEMBLE D'OUTILS POUR LA CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR  
DE SYSTEMES NUMERIQUES A HAUTE PERFORMANCE

- Les réseaux de Pétri possèdent des propriétés remarquables qui ont suscitées de nombreux travaux théoriques : ainsi, dans certaines conditions, on pourra déterminer si - le réseau est vivant,  
- le réseau est borné,  
- le réseau est propre,  
- le réseau est déterministe ...

Ces propriétés sont fondamentales pour connaître le comportement d'un matériel ou d'un logiciel (absence de blocages, de conflits, buffers convenablement dimensionnés, évaluation des performances, etc.).

III - LES PROGRAMMES DE CAO

Cinq programmes sont en cours de réalisation, l'un d'entre eux est opérationnel depuis plusieurs mois : IMPLA.

Methodologie : figure 1.

- Les spécifications d'un système numérique sont décrites (après décomposition en partie contrôle, et partie opérative) en terme de réseaux de Pétri.

- Le programme GEMO peut aider l'utilisateur dans la recherche du chemin de données optimum puis dans l'obtention du réseau associé.

- Le programme SIREP permet d'introduire (à partir d'une console Tecktronics 4015) un réseau de Pétri ; puis de le simuler afin d'en déterminer les propriétés (blocages, conflits, goulots d'étranglements, performances ...).

- A partir des résultats fournis par la simulation, une modification du réseau initial (ou même des spécifications) peut s'avérer utile.

. Le réseau étant ainsi validé, l'utilisateur choisira le mode d'implémentation :

1. Implémentation matériel : sur réseaux logiques programmables (FPLA) grâce au programme [IMPLA].

2. Implémentation logiciel : sur microprocesseur MC 6800 grâce au programme (IMPRO) (le réseau étant alors interprété).

La possibilité de compiler le réseau de Pétri et d'en obtenir un langage de haut niveau PASCAL est envisagée.

IV - DESCRIPTION SUCCINCTE DE CHAQUE PROGRAMME

LE PROGRAMME GEMO : [GHER]

- Ce programme permet d'aider l'ingénieur logiciel dans la conception des architectures spécialisées pour "l'implémentation" d'expressions arithmétiques complexes ou de récurrents linéaires, telles qu'elles apparaissent en traitement du signal (FFT, filtres, ...).

- Les diverses phases du traitement permettent :

1) - d'optimiser le chemin des données (partie opérative) :

- en : - nombre d'opérateurs (multiplieurs, additionneurs, ...),
- capacité des mémoires "pipe-line" : en fonction des contraintes de débit, de retard entre entrée et sortie des échantillons,

2) - d'en déduire le graphe de contrôle qui pourra ensuite, via le programme IMPLA, être implanté sur FPLA.

- Les étapes de la CAO sont essentiellement :

- a - La recherche du parallélisme intrinsèque à l'algorithme,
- b - les affectations des opérateurs en fonction des contraintes initiales,
- c - le calcul de la capacité des mémoires,
- d - le séquençement des opérations élémentaires.

Si nous prenons l'exemple d'un opérateur de FFT, nous obtenons les phases suivantes :

a) - détection du parallélisme interne à l'ensemble d'équations

$$\begin{aligned} x &= a_0 + (a_1c - b_1s) \\ y &= a_0 - (a_1c - b_1s) \\ z &= b_0 + (a_1s + b_1c) \\ w &= b_0 - (a_1s + b_1c) \end{aligned}$$

-  $a_1*c$  et  $b_1*c$  peuvent être calculés en parallèle, - ne pas calculer deux fois  $a_1*c$  ...

b) - graphe de commande correspondant en tenant compte des débits, du nombre d'opérateurs et de leur vitesse d'exécution (un multiplieur (à 200 ns), une UAL (à 50 ns) suffisent si les deux opérands arrivent toutes les 200 ns, le résultat étant calculé en 1  $\mu$ s ...

c) - une étape calcule la capacité de la mémoire "pipe-line" = (on effectue en parallèle la lecture de 6 données, avec 4 multiplications, et les 6 add/soustractions).  
=> introduction éventuelle de nouveaux registres.

d) - la dernière étape élabore la séquence des commandes élémentaires (aiguillage, écriture et adressage des tampons, codage des opérations ...) qui correspond au graphe de contrôle du système (RdP), le programme [IMPLA] pourra en déduire le codage des FPLA.

LE PROGRAMME SIREP - [CHAM, PP COSTAS, CAPLAIN, GHER, BERTH] , [MOAL]

- Le programme de simulation des réseaux de Pétri représente aujourd'hui le maillon le plus important de la chaîne, il occupe actuellement plus de 12.000 instructions FORTRAN.

La simulation s'avère indispensable car, les méthodes formelles de recherche des deads locks sur les "Réseaux de Pétri" n'ont, jusqu'à présent, pas pu s'appliquer aux réseaux : . généralisés, . à arcs inhibiteurs, . interprétés et synchronisés ... [BERTH] .

- Le simulateur possède les caractéristiques suivantes :

- . modularité : création des modules qui constitueront une bibliothèque de modules,
- . interconnexion des modules composant un système au moyen de variables d'interface.



ENSEMBLE D'OUTILS POUR LA CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR  
DE SYSTEMES NUMERIQUES A HAUTE PERFORMANCE

. séparation partie contrôle - partie opérative :

Chaque module du système est un RdP interprété temporisé.

La partie contrôle est décrite par le RdP, et la partie opérative par un ensemble de procédures ; chacune représentant le fonctionnement d'un opérateur ou d'une tâche.

. représentation des synchronisations et du parallélisme :

. Utilisation d'arcs inhibiteurs, arcs valués, de prédicats complexes pour la synchronisation des modules au niveau de la partie contrôle.

. Souplesse d'utilisation de la partie contrôle (valuation paramétrée des arcs, suppression - ajouts de marques, d'arcs, de places, ...).

. possibilité d'analyser le comportement du système :

- . Détection des conflits, des blocages, des verrous.
- . Sensibilité des performances aux variations de tel ou tel facteur.

. simulation en temps réel :

. Possibilité d'intervention de l'utilisateur lors de la modélisation et de la validation de son système pour corriger et influencer sur la simulation.

LE PROGRAMME IMPLA [AUGUIN] [KWAN]

. Le programme [IMPLA] permet d'obtenir directement, à partir d'une description en réseau de Pétri de l'automate, la bande de claquage du (ou des) FPLA qui le réaliseront.

. Le FPLA est un circuit LSI qui réalise la fonction combinatoire  $S_i : f(e_j)$

avec  $e_j$  = entrées du système  
 $S_i$  = sorties correspondantes

Un tel circuit comporte en général :

- 28 broches,
- 16 entrées  $e_j$
- 8 sorties  $S_i$
- 48 termes produits qui peuvent être programmés par l'utilisateur.

. Il apparaît clairement qu'un tel circuit est actuellement le mieux adapté, sur le marché des composants, pour implémenter un RdP (ceci étant dû au grand nombre d'entrées du FPLA, face aux PROMs notamment).

. Le programme comporte plusieurs phases :

- 1 - décomposition du RdP initial en graphes de transitions d'états,
- 2 - recherche des synchronisations entre les différents graphes de transition d'états,
- 3 - calcul de la table de vérité de chaque graphe,
- 4 - réduction des équations booléennes (par la méthode des zéros adaptée à des multipôles combinatoires),
- 5 - sortie de la bande de claquage de chaque FPLA.

Notons que le programme accepte aujourd'hui des Réseaux de Pétri :

- VIVANTS,
- SAUFS (un seul jeton par place au maximum),
- à arcs inhibiteurs,
- à conflits non résolus,

par ailleurs, les sorties peuvent être du type :

- MACHINES DE MOORE,
- ou MACHINES DE MEALY.

- Toutefois, des études se poursuivent actuellement pour étendre la CAO aux réseaux de Pétri généralisés et colorés ... [AUGIN].

- NOTIONS DE PROGRAMMATION GLOBALE DES SYNCHRONISATIONS DANS LES APPLICATIONS TEMPS REEL [HG MENDELBAUM] [PULOU] [PP COSTAS] [CAPLAIN]

- Les méthodes actuelles de conception de logiciel temps réel sont tributaires de l'architecture des ordinateurs classiques (notion d'interruption "hardware"

Celles-ci conduisent donc : - à créer un programme par signal d'interruption, - à créer des variables internes de communication avec les autres programmes.

- Ainsi, chaque programme doit contenir ses propres synchronisations dynamiques avec :

- . les autres programmes,
- . les événements externes,
- . les ressources communes.

- Si la réponse à un signal extérieur est rapide, par contre de nombreux écueils apparaissent :

\* Les interactions entre les différentes tâches ne sont pas toujours explicitées.

\* Le contrôle de la correction des enchaînements est difficile. (Synchronisation, parallélisme, conflits au cours du temps ...).

\* Les modifications ne sont pas aisées du fait de la non séparation de la partie contrôle et opérative.

\* Le contrôle des contraintes temporelles n'est pas trivial.

- La description globale des applications est une forme particulière de programmation où le contrôle est regroupé dans un même programme.

. Celui-ci décrit :

- les enchaînements des tâches,
- les exclusions mutuelles,
- les prises de ressources,
- les événements externes,
- le parallélisme, explicite, implicite, ...

à l'aide d'un Réseau de Pétri généralisé.

Les avantages de cette approche sont essentiellement :

ENSEMBLE D'OUTILS POUR LA CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR  
DE SYSTEMES NUMERIQUES A HAUTE PERFORMANCE

\* la facilité d'écriture et de modification : le schéma de contrôle pourra être facilement modifié sans toucher aux parties opératives et inversement.

\* la preuve de correction des synchronisations : par des méthodes de preuves de vivacité des RdP [BERTH] ou de simulation [CHAM]

LE PROGRAMME IMPRO [CAPLAIN]

- Ce programme permet d'obtenir à partir d'un réseau de Pétri SAUF, validé par SIREP, le listing de programmation d'un microprocesseur (actuellement le MC 6800).

- Il s'agit d'un programme interpréteur (et non pas d'un compilateur).

- Le RdP représente le monitoring des tâches, celui-ci étant activé chaque fois que survient un événement (variable externe, fin de tâche, ...).

- Le champ d'application de cette méthode d'implémentation concerne essentiellement celui des automates à grande sécurité, ou les problèmes de temps réel ne sont pas pointus. Ainsi, par exemple, le graphe initial pourra contenir non seulement les spécifications, mais aussi la liste des accidents à éviter.

. De plus, des invariants du réseau permettant la détection des pannes du matériel peuvent être introduits.

- La décomposition en partie opérative, partie contrôle, revient à spécialiser des microprocesseurs pour la partie contrôle (moniteur) et d'autres pour la partie opérative.

L'intérêt essentiel de l'interpréteur est qu'il utilise le même algorithme que celui du simulateur et, que par conséquent, toutes les caractéristiques trouvées en simulation sont conservées (temps d'exécution, propriétés du réseau initial, etc ...).

COMPILATEUR DE RESEAUX DE PETRI GENERALISES[PP. COSTAS]

- Le programme de compilation des réseaux de Pétri généralisés en un langage de haut niveau transportable (PASCAL) en est au cours de gestation.

- La compilation passe par les phases suivantes :

1 - Décomposition du réseau de Pétri initial en tâches élémentaires : on distingue ainsi les places d'actions et les places de synchronisations. (Une transition étant considérée comme un point de synchronisation).

2 - Synchronisation des tâches : on définit alors des files d'attente (contenant les points de synchronisation) associées à chaque place de synchronisation.

3 - Chaque modification d'une place de synchronisation libère tous les points de synchronisation.

4 - Un point de synchronisation est rendu "testable" s'il ne figure dans aucune des files d'attente (un compteur associé est nul).

5 - Un point de synchronisation testable est "passant" si toutes les conditions associées sont réalisées.

6 - Un point de synchronisation non passant se met en file d'attente sur les places de synchronisations correspondantes.

7 - Un point de synchronisation passant permet l'activation de l'action suivante.

- De même que pour l'interpréteur, précédemment décrit, l'implémentation du réseau initial peut être envisagée en structure mono ou multiprocesseurs.

CONCLUSIONS

- Une chaîne homogène de programmes de conception assistée par ordinateur a été réalisée ; dans le but d'aider l'ingénieur informaticien lors de la conception des systèmes numériques complexes (tels ceux, que l'on peut rencontrer en traitement du signal).

- Cette chaîne est actuellement implantée sur le réseau "time sharing" CISI et devrait être commercialisée dans les prochaines années.

[1] REMERCIEMENTS :

Cette étude a été réalisée avec le soutien de la DRET ; la collaboration de plusieurs universités : PARIS VI (équipe de M. GIRAULT), ENSIMAG (équipe de Mme SAUCIER), LASSY (équipe de M. BOERI) et les conseils du LAAS (Mr COSTES, Mr DIAZ, Mr AZEMA ...).

BIBLIOGRAPHIE

[RdP] : Petri-Net. J.J. Peterson ACM Vol 9 N° 3 sept. 77.  
[GHER] : conception de microsystemes numériques à hautes performances - Colloque GRETSI 79 Nice (A.B. Gherbi).  
[CHAM, PP. COSTAS, CAPLAIN, GHER, BERTH] : Mrs Chambon, Papa Costas, Caplain, Gherbi, Berthelot. Simulateur de Réseaux de Pétri - Colloque Gretsni Nice 79.  
[MOAL] : Rapport de recherche ENSIMAG n° 138 oct. 78 (M. Moalla).  
[BERT] : Preuve de non blocage de programme parallèles par réduction des Réseaux de Pétri (G. Berthelot) : 1st European Conference on Parallel and distributed Processing - Toulouse, France February 14, 16, 79.  
[AUGUIN] : Conception des systèmes de commande à l'aide de réseaux logiques programmables - thèse de docteur ingénieur LASSY Nice (Nov. 78) (par M. Michel Auguin).  
[KWAN] : Logical systems design using PLA'S and Petri Nets - IFIP 77.  
[MENDELBAUM] : "Le synchroniseur" A.G. Mendelbaum - 1st european on parallel and distributed processing - Toulouse 1979.  
[PULOU] : Expression de la synchronisation de processus dans les systèmes d'exploitation (J. Pulou) - Rapport interne ENSIMAG Nov. 78.



ENSEMBLE D'OUTILS POUR LA CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR  
DE SYSTEMES NUMERIQUES A HAUTE PERFORMANCE

BIBLIOGRAPHIE (Suite)

PP. COSTAS : Compilateur de Réseaux de Pétri (thèse de l'Institut de Programmation) à paraître par : Papa Costas.

CAPLAIN : interpréteur de Réseaux de Pétri - Rapport ENSIMAG à paraître.

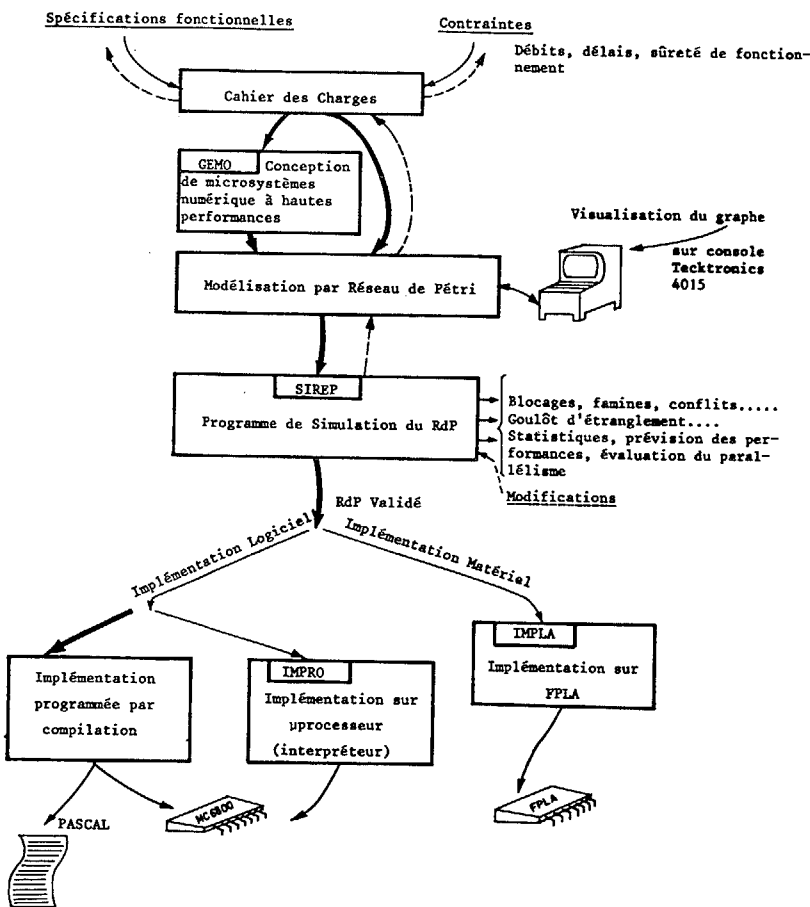


Fig. 1 Synoptique général de la chaîne de CAO