

# BULLETIN D'INFORMATIQUE APPROFONDIE ET APPLICATIONS

N° 45 DECEMBRE 1996

SCIENCES DE L'EDUCATION ET DE L'INFORMATION

## COMITE SCIENTIFIQUE

*Patrick Abellard*  
*Françoise Adreit*  
*Jalal Almhana*  
*France Chappaz*  
*M'hamed Charifi*  
*Roger Cusin*  
*Bernard Goossens*  
*Patrick Isoardi*  
*Jean - Philippe Lehmann*  
*Nadia Mesli*  
*Patrick Sanchez*  
*Rolland Stutzmann*

## DIRECTEUR

*Jean - Michel Knippel*

## REDACTEUR EN CHEF

*Edmond Bianco*

**1 EDITORIAL,**

*par Edmond Bianco*

## REDACTEUR ADJOINT

*Sami Hilala*

**7 EXPRESSION ET VERIFICATION DES  
CONNAISSANCES THESAURUS PAR LES  
RESEAUX DE PETRI,**

*par Jean - Michel Knippel*

**23 CHAPITRE 1. NOTIONS DE CALCUL,**

*par Edmond Bianco*

**29 VOZZAVEDIBISAR,**

*par Edmond Bianco*

Publication gratuite trimestrielle de l'Université

Edition 1996

ISSN 0291 - 5413

## EDITORIAL,

### Le lièvre informatique et la tortue sociale.

L'idée est déjà profondément répandue que les politiciens sont complètement hors de la politique. On a parfaitement compris qu'ils sont, tous, des incapables par rapport aux tâches qui sont normalement les leurs. De telle sorte que le jeu imbécile qu'ils jouent en deux parties, les promesses électorales d'une part, et leur action complètement chaotique une fois au pouvoir, joint à leurs vifs efforts pour étouffer les sales affaires qui entachent les membre de leur famille politique, fait qu'ils apparaissent comme des pantins malhonnêtes aux yeux de l'électeur.

Cette attitude qui n'a d'autre explication qu'une pensée à courte portée, une défense d'intérêts privés à brève échéance, un clientélisme, fait le jeu d'une faction extrêmement dangereuse, qui ne s'embarrasse guère de scrupules pour ramener la notion de politique au sens large, à celle plus étroite de "politicaille" à l'image de ceux qui sont censés nous diriger. Faction dont le chef, appuyé par son second qui ressemble beaucoup à Goebbels, manipule parfaitement la peste émotionnelle décrite par Wilhelm Reich. De telle sorte qu'à l'instar de l'homme qui s'enfonce d'autant plus vite dans le marécage, qu'il s'agite beaucoup, nos "politiciens" s'enfoncent davantage dans leur vase nauséabonde, chaque fois qu'ils font semblant de résister à la pression de l'extrême droite. La dite résistance n'étant pas, en fait une résistance sur les principes, les idées, mais plutôt une sorte de concurrence électorale. Ce qui affaiblit encore plus leur indignation de pacotille.

L'origine du véritable risque est ailleurs. Le danger émerge de la conjonction de plusieurs facteurs.

A l'exclusion de l'extrême droite bornée qui ne vise qu'à un totalitarisme, toutes les autres factions du "panorama" politique, ne sont que des représentations d'intérêts privés, ou d'intérêts de chapelle. Tout cela lié de près ou de loin au financement électoral.

Sous prétexte d'économies budgétaires faux-semblants, et sous couvert d'amélioration du service public, on affaiblit l'état dans ses œuvres nobles, éducation nationale, médecine et autres. Secteurs qu'on aimerait bien privatiser, et qu'on fait tout pour, afin de les rendre plus "efficaces" en les soumettant à la "concurrence".

En effet le mot clef de la société nouvelle est "compétition". On aurait pu imaginer une Europe qui soit un groupement de forces et de moyens dans le but d'améliorer la situation sociale de chaque individu. Il n'est pas difficile d'imaginer qu'une fusion des forces puisse atteindre à un meilleur emploi des moyens pour parvenir à l'élévation du niveau de vie de chacun, surtout en évitant l'immense gaspillage dans lequel nous plongeons.

Curieusement, plutôt que de rassembler les forces, on les met en opposition, en concurrence. Au lieu de se rassembler pour se partager le travail, la chose noble, certes, mais surtout la véritable sujétion, au contraire on force deux équipes qui font la même chose, à travailler chacune au maximum pour évincer l'autre, jusqu'à faire crever l'autre. N'est-ce point une étrange manière d'organiser l'Europe. Ou n'est-ce pas plutôt une façon délibérée d'organiser le profit pour le profit au détriment de tout.

En réalité, Maastricht a fait de l'Europe un croque-mitaine qu'on agite au bon moment pour faire avaler les pilules les plus amères.

Quinze ans de chômage dur ont largement émoussé les capacités de réaction des travailleurs, alors premier temps, on essaye de nous convaincre que l'Europe est la seule solution pour résoudre les problèmes d'emploi. Deuxième temps il faut donc absolument accéder à l'Europe, mais pour cela il faut être "compétitif".

Là le tour est joué, être compétitif n'est rien d'autre que réduire au maximum l'emploi qui est devenu hors de prix devant l'utilisation des machines. Conséquence, déjà avant l'entrée au Nirvana, il va falloir, c'est évident, accroître fortement le chômage.

Observons la réalité, est-ce qu'il y a la moindre tendance à une relance de l'emploi? On nous remplit les ondes médiatiques avec des listes de création de deux à trois emplois de temps en temps, pendant que Peugeot-Citroën organise 40 000 préretraites, que le Crédit Lyonnais, banque dont le principal actionnaire est indirectement le contribuable, envisage plusieurs milliers de licenciements, même chose pour les arsenaux, et la liste est loin d'être complète.

N'est-ce point là musique parfaitement orchestrée? Continuons à lire la partition. Quand nous serons européens, avec notre escarcelle pleine d'"Euro", il faudra bien continuer la compétition avec les Etats-Unis, qui ne s'embarrassent guère de problèmes sociaux eux, alors encore un peu de chômage ?

A partir du moment où nous avons accepté l'Europe, nous sommes en de bonnes mains. On s'occupe de nous. On nous dit à nous, peuple débrouillard, né malin: il faut gagner la compétition! L'argument est merveilleux, car si, par hasard on se casse la gueule, ça ne sera pas de la faute de nos édiles et de nos grands penseurs qui nous l'avaient bien dit, mais bien de notre faute à nous.

Et comment vaincre sans accepter les coupes drastiques dans notre "social". Après avoir cédé de la sorte sur tous les terrains que peut-on ajouter ? Sinon reconnaître que quelqu'un qui touche 2500 FF par mois est un "nanti".

Tout cela est tout de même bien curieux, pour un pays qui n'a cessé de s'enrichir depuis la dernière guerre, laquelle ne remonte jamais qu'à cinquante ans. On est en droit de se demander où sont passées toutes ces richesses. Et cela serait bien du rôle de nos élus, de nous en informer, au lieu d'essayer de continuer à nous faire croire qu'ils vont être capables de recréer ce travail qu'ils nous promettent. Alors que cela crève les yeux à tout le monde sauf à eux que ceci est fini, terminé. Révolu définitivement le temps du plein emploi. Et l'on s'étonne à haute voix que les banlieues s'insurgent. Raisonnablement que peuvent espérer ces parias coincés dans leurs guettos? Sinon voir arriver les flics. Et l'on s'étonne avec plein de lamentations, devant l'indifférence des jeunes devant la beauté du "travail rédempteur". Quel travail, sinon la queue devant l'ANPE? Et qu'au lieu de cela se sont créés des canaux par où s'écoulent les richesses vers on ne sait trop quelles poches, ou plutôt on fait semblant de ne pas savoir, espérant sans doute que cette marque de bonne volonté créera quelques petites dérivations dans le flot immense du fric.

Notre époque est devenue experte en manipulation du symbole, qui devient tout simplement manipulation des esprits, de la foule. Le Symbole a, de tous temps, je veux dire de tous temps connus, été le moyen puissant d'enrégimenter, enrôler, effacer la personnalité, de plus en plus encombrante au fur et à mesure que la société se structure. Ensuite, pour faire passer des pilules de plus en plus amères, comme le partage des richesses du genre: sur cent, quatre-vingt-dix-neuf pour moi, et un pour tous les autres il a bien fallu inventer un symbole puissant: Dieu, lui seul, qui prône la pauvreté, est capable de faire admettre de telles iniquités. Puis dieu n'a plus suffi alors on a inventé la patrie, la nation, l'honneur, le drapeau; notions qui ont fait admettre comme une gloire d'ignobles carnages. Hécatombes que l'on continue de fêter comme de grandes victoires. Puis tous ces symboles se sont usés, doublés qu'ils étaient par un autre symbole plus discret aux noms multiples: l'argent, l'or, la monnaie, le "fric", l'oseille, le blé, le pognon, le nerf de la guerre, "l'artiche", le "flouze", la galette, les ronds, les sous, le "grisbi", et j'en passe. Mais qui, lui, a survécu, toujours virulent.

C'est en ce point précis qu'intervient l'informatique, au moins par l'intermédiaire de certaines de ses applications. Jadis, la finance bouillonnait comme dans une marmite, il y avait des marmites un peu partout, et c'était localement que les réseaux convergeaient vers chacune d'entre elles pour les remplir. Il suffisait d'ouvrir un peu les yeux pour voir le manège. On pouvait observer le patron de la marmite en train de touiller sa soupe infernale. On pouvait s'en prendre à lui, à la rigueur quand ça ne passait plus, mais plus la marmite était grosse, plus son propriétaire pouvait s'offrir des mercenaires pour veiller dessus. Mercenaires qui peu à peu se trouvaient financés par le bien public. Encore une perversion de la notion de Démocratie, qui permettait ainsi de défendre l'ordre privé au nom de "l'ordre public", encore un excellent symbole.

Maintenant les richesses ont toutes pris forme de chiffre, gagnant un degré de plus dans l'ordre de l'abstraction du symbole, toutes les marmites transformées en ordinateurs sont reliées par des "autoroutes de l'information" qui font que le profane ne peut plus savoir où se trouvent vraiment les richesses. Richesses, qui circulent selon des flots de plus en plus puissants, de plus en plus complexes, de plus en plus rapides.

Mais qui sont les initiés ?

Voilà un véritable problème que devraient se poser nos élus, s'il leur restait un semblant de tripaille dans ce qui leur sert de ventre. Hélas, de ce côté nous parvient un silence écrasant, un silence qui nous défonce les tympanes. La Gauche, surtout, qui se fait discrète, discrète, tant elle semble avoir peur que la Droite au pouvoir vienne l'alpaguer par le "colback" pour l'obliger à la remplacer dans un merdier, où elle ne cesse de perdre des plumes.

Au milieu de tout cela, vision drolatique, sur les étranges lucarnes, le Prince, comiqué par Fifille, vient se pavaner avec un bon sourire paternel pour exprimer sa compétence quant à la résolution de la "fracture". Encore un symbole, mais qui n'a hélas guère eu le succès escompté.

L'indigence a été telle dans la gestion de ce pauvre pays, depuis la dernière guerre, et surtout depuis la dernière République, que la naissance de l'informatique est passée complètement inaperçue. Au niveau des hautes instances veux-je dire. J'exagère? Observons: d'un côté l'importance sociale, économique, scientifique de cette nouvelle discipline, en regard il n'en existe même pas d'enseignement officiel dans le secondaire. Dans le supérieur, on a même créé des IUT d'informatique avant de créer des maîtrises pour en former les cadres, amorçant par là un début de privatisation, car on allait pêcher les enseignants dans le privé.

Il n'est pas nécessaire de connaître le théorème de Gödel pour comprendre que si vous reliez directement les ordinateurs de deux immenses banques comme il en existe en France, en Europe et ailleurs, il va se passer des choses difficiles à contrôler. Les ondes radio étaient monopole d'état, de même que la fabrication des explosifs, et bien d'autres choses, et alors que tout le monde s'accorde pour reconnaître que l'argent c'est le sang d'un pays, rien n'a été prévu pour freiner une hémorragie. En mai 68, quand les épiciers riches sauvaient en Suisse leurs valises de billets de 100 francs qu'ils revendaient 80FF, on attendit que vienne le tour des petits épiciers pour instaurer des contrôles à la frontière et limiter les sorties.

Actuellement, les flots de finance ne sont plus régulés que par les différences de potentiels qui apparaissent ici et là au gré des maladresses et des imbécillités de technocrates. Aussi et comme par hasard, les mauvais coups du serpent monétaire contribuent-t-il à ravager un peu plus chaque fois le domaine du non directement productif, le seul domaine auquel on ne devrait pas toucher, celui du social et de l'humain. Au lieu de cela l'informatique a permis des regroupements ultra-puissants, bien plus puissants que les états souvent, c'est le cas entre autres, de la pharmacie, de l'énergie atomique, de l'agro-alimentaire ce dernier étant à l'origine d'une des plus grandes catastrophes écologiques mondiales. Je parle du problème de la vache folle. Où tout le monde va payer la casse, soit par ses sous, soit par sa santé, sauf les responsables du désastre, bien trop puissants pour qu'on essaie même de les atteindre. Et super-phénix, ce monstre foireux, fissuré, qu'une assemblée de dangereux irresponsables a décidé de remettre en marche, sous le simple prétexte qu'il avait coûté, par la sottise de ses concepteurs, d'innombrables paquets de milliards. Richesse non seulement irrécupérable, mais qui risque d'être l'annonce du saccage définitif d'une nouvelle masse de richesses, le jour où le monstre va achever de se fissurer. Et je ne parle même pas des victimes.

Ces mauvais pitres prétentieux, responsables de cette gabegie osent après ça venir reprocher au citoyen d'abuser de la sécurité sociale. On croit rêver, d'autant qu'un tel comportement ne semble pas révolter outre mesure le citoyen payant ...Il est vrai qu'il existe un anesthésique puissant. On le nomme "économie". Que certains présentent comme une science. Il est professé par un groupe de gens aussi sérieux que diplômés, dénommés économistes. Et auxquels on se réfère chaque fois qu'un acte politique à incidence économique est en cours d'élaboration. Dommage. Dommage qu'on ne soumette pas l'économie aux mêmes contraintes que les autres sciences.

Toutes les sciences qui se respectent sont capables de prédiction. Jamais les économistes n'ont rien su prévoir, et des décennies ont montré que leurs prétendus remèdes sont toujours pires que le mal. De telle sorte qu'ils courent le risque qu'on ne puisse leur affecter que deux épithètes, soit ce sont des incapables, soit ce sont des vendus à un autre système que celui dont ils se réclament.

Et là, a surgi un ouvrage qui délivre un peu d'air frais dans ce domaine méphitique\*\*, c'est "l'horreur économique" de Viviane Forrester (Fayard), qui repose le problème sur des bases qui paraissent plus saines. Le domaine de la création et de la répartition des richesses que l'économie est censée représenter, me paraît semblable à celui des langues vivantes. Ce sont des choses vivantes et évolutives, et il existe des spécialistes qui se sont forgés un modèle rigide de l'objet. De telle sorte que lorsque l'objet évolue. On rencontre deux attitudes, soit on excommunie, on jette l'anathème, soit on bricole le modèle. Ou les deux. La place que prend l'Académie Française dans la vie du Français moderne est tout-à-fait exemplaire à ce titre. Mais dans tous les cas on se bouche soigneusement yeux et oreilles pour n'avoir pas à repenser l'ensemble. Et puis, quelle source inépuisable de thèses pour essayer d'expliquer tous ces phénomènes surgis du divorce complet entre le sujet et son modèle considéré comme vérité définitive et universelle.

Allons, amis chercheurs, un magnifique projet se présente à vous: rendre, grâce à l'informatique, la circulation de l'argent encore plus abstruse\*. Concentration totalitaire du véritable pouvoir mondial assuré. Ce n'est pas du 007, en ce sens que ce n'est pas la lutte d'un fou pour devenir le grand Maître d'une horde d'esclave, mais la mise en place d'un système fou qui va diviser le monde en deux parties, dont l'une destinée à gonfler sans limites, sera composée des parias, des exclus, qu'il faudra bien envisager de détruire, un jour, parce qu'à force de gigantesques gaspillages on ne pourra plus nourrir les "inutiles", mais là encore on pourra compter sur les travaux des chercheurs.

*Edmond Bianco*

\* Abstruse : 1495; du latin abstrusus, de abstrudere "repousser".

\*\* Méphitique : 1564; bas latin, mephiticus, se dit d'une exhalaison toxique.

## Expression et vérification des connaissances thésaurus par les réseaux de Petri

J. - M. Knippel

---

### RESUME.

*Dans cet article nous développons un système de représentation des connaissances basé sur la théorie des réseaux de Petri. Les définitions de base et les caractéristiques des réseaux de Petri, qui sont nécessaires pour la compréhension du système de représentation des connaissances proposé, sont décrites. Nous présentons ensuite une description formelle du système proposé. La capacité d'expression est illustrée par le choix d'un thésaurus du domaine des connaissances homoeopathiques. La capacité de vérification fera l'objet de la procédure de déduction qui est similaire à "l'intersection search" des réseaux sémantiques.*

### MOTS CLES :

*réseaux de Petri, thésaurus, organisation des systèmes complexes, prototypage.*



## 1. Introduction

Nous appellerons thésaurus, " un vocabulaire de termes d'indexation contrôlés, structuré de sorte qu'il mette en évidence les relations à priori entre des concepts " [CHA 92]. Un tel outil est destiné aux systèmes d'information documentaire, qu'il s'agisse de bases de données, d'index imprimés ou de catalogues manuels. A partir de cette structure, on montre que l'on peut produire automatiquement son aspect graphique, et même plusieurs aspects graphiques [KNI 93].

Nous n'oublions pas que tout ceci doit être implanté sur une machine. Nous avons choisi une machine expérimentale, développée par nos équipes [BIS 89]. L'idéal serait de pouvoir synthétiser automatiquement l'architecture de cette machine à partir d'une description des fonctions qu'elle doit remplir. Ceci permettrait une conception plus rapide, ce qui est un important avantage économique. Nous présenterons une proposition d'organisation physique de la base d'informations dans un autre article [KNI 94].

## 2. Problématique

### 2.1. Position du problème par rapport aux thésaurus d'information

De nombreux thésaurus ont été développés, et sont utilisés à l'intérieur d'une même entreprise, et dans ce cas il faut garantir la validité de leur utilisation, quand par exemple l'auteur ne peut plus, par sa seule présence, garantir cette validité.

Le cas de la matière médicale homoeopathique de James Kent montre par sa durée d'utilisation depuis 1899, que la connaissance représentée est toujours utile [BROU 92]. Il reste, qu'il est nécessaire d'apporter une aide à l'acquisition dans une interface. Nous développons ici l'idée d'aider à la (les) phase (s) de validation de la connaissance, pendant ou après l'acquisition de la connaissance, avant de laisser le système aux mains de l'utilisateur. Les réseaux de Petri sont particulièrement bien adaptés pour jouer ce rôle. Par cela, nous proposons des outils pour donner une meilleure vue du contenu des thésaurus. La représentation graphique du réseau de documents et du thésaurus, qui décrivent non seulement les entités mais aussi les relations entre elles, peut permettre d'améliorer la recherche en facilitant la reformulation des requêtes [BIA 90].

Les concepts de machine universelle et d'homoeopathie semblent à première vue éloignés. Toutefois, nous allons montrer qu'ils ont suivi un cheminement parallèle dans le temps. Les années quarante nous amènent la matière du concept de machine à computer avec Alan Turing, et la quatrième édition des "Lectures on Homoeopathic Materia Medica" de James Tyler Kent. Durant les années cinquante le développement des calculateurs, automates et "modèles du cerveau" continue. De son côté, monsieur Boger complète ses "Additions to Kent's Repertory". Au cours des années soixante, l'étude des automates et de l'intelligence artificielle émergent comme terreau de travail. Georges Broussalian travaille et publie un répertoire de Kent. Les réseaux de Petri sont introduits au début des années soixante par Carl Adam Petri. Ensuite, ils sont développés au M.I.T. autour de 1972. Ils permettent, en particulier, de modéliser et d'analyser des systèmes de processus concurrents et parallèles évoluant dans le temps.

La notion d'état est fondamentale pour décrire l'évolution dynamique de tels systèmes. Pendant les années soixante dix, "études et formalisation de classes de systèmes", matériels et logiciels se développent. Les premiers modèles de machines à base de réseaux de Petri se commercialisent en 1971 aux U.S.A. Des études sur les compilateurs et les systèmes d'exploitation sont entreprises à la lumière des réseaux de Petri par Eike Best en Allemagne. L'événement des années 1980 est l'annonce d'une nouvelle conception de machine à computer des symboles et des listes de symboles: c'est à dire manipuler des heuristiques, des inférences sur des connaissances disponibles à priori en quantité considérable. Est-ce bien nouveau après les travaux des années quarante de Emile Post ? Au cours des années 1990, Edouard Broussalian reprend les travaux de son père Georges Broussalian et publie une "nouvelle traduction" du répertoire de la matière médicale homoeopathique de James Tyler Kent avec de nouveaux ajouts.

## *2.2. Cadre théorique: expression et vérification*

Notre cadre de travail consiste à proposer un modèle pour aider à la suppression automatique des anomalies dans notre base de connaissances. Des méthodes rigoureuses de vérification du fonctionnement des systèmes sont aujourd'hui nécessaires. Elles impliquent la mise au point de formalismes précis ainsi que des méthodes et outils adaptés.

Les graphes, type réseaux de Petri, permettent de considérer ceux-ci comme un outil de modélisation, ou un langage de spécification pour les bases de données, ou encore comme un langage de représentation de connaissances permettant de construire des systèmes à bases de connaissances. C'est ce point que nous développons particulièrement dans cette partie du travail. Par contraste avec une base de données conventionnelle, la base de connaissances contient diverses sortes de connaissances :

- des faits et connaissances au sujet de relations entre les données, ensemble  $D$  défini au paragraphe 4,
- des règles concernant le domaine d'application,
- des méthodes et procédures pour résoudre le problème, ensemble  $\Sigma$  défini au paragraphe 4,
- des connaissances au sujet des états, actions, motivations et buts du système,
- et des connaissances sur la connaissance (métaconnaissance).

La capacité de représentation, d'expression, est la manière de représenter toutes sortes de connaissances du domaine d'application, ici l'homoeopathie. La capacité de déduction est la possibilité de manipuler les structures représentatives, de sorte qu'on puisse trouver des nouvelles connaissances déduites de la base des anciennes.

Les différentes représentations de la connaissance dans les systèmes actuels sont : les automates finis, les programmes, les schémas, les réseaux sémantiques, les prototypes, les graphes, les spécifications formelles, le calcul des prédicats, les théorèmes ou règles de réécriture, les règles de production et les phrases en langage naturel.

### 3. Réseaux de Petri

Cette partie donne les premières définitions et notations relatives aux réseaux de Petri, ainsi que des exemples simples illustrant ces définitions.

#### 3.1. Définitions

Un réseau de Petri généralisé (PN) est un quint-tuplet défini par:

$$PN = (P, T, \text{Pré}, \text{Post}, \mu)$$

où

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  est un ensemble fini de places,

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$  est un ensemble fini de transitions,

$$P \cap T = \emptyset,$$

$\text{Pré} : P \times T \rightarrow \mathbb{N}$  est l'application d'incidence avant,

$\text{Post} : P \times T \rightarrow \mathbb{N}$  est l'application d'incidence arrière.

$\mu : P \rightarrow \mathbb{N}$  est un marquage dit initial,  $\mu(p_i)$  est le nombre de marques de  $p_i$  au marquage de  $\mu$ .

A tout réseau de Petri on associe un graphe bipartite:

$$G = \langle P ; T ; \Gamma ; V \rangle$$

où  $\Gamma$  est la correspondance successeur et est définie par :

$$\forall p \in P : \Gamma(p_i) = \{t \in T \mid \text{Pré}(p,t) > 0\},$$

$$\forall t \in T : \Gamma(t) = \{p \in P \mid \text{Post}(p,t) > 0\},$$

$V$  est une valuation sur les arcs de PN et :

$$\forall t \in T, \forall p \in P, \quad V(p,t) = \text{Pré}(p,t), \\ V(t,p) = \text{Post}(p,t).$$

Un exemple de graphe de réseau de Petri est donné dans la figure 1.

Un réseau de Petri peut être considéré comme un graphe orienté biparti dont les arcs sont valués.  $P \cup T$  est l'ensemble des sommets.  $\Gamma$ , noté  $\Gamma$ , donne les successeurs d'une place ou d'une transition. Enfin, la valuation  $V$  des arcs est donnée par les fonctions  $\text{Pré}$  et  $\text{Post}$ .

Les réseaux de valuation 1 ont, historiquement, été les premiers introduits et ils sont plus facilement réalisables. Les réseaux quelconques sont simulables par de tels réseaux et la simplification de réseaux de valuation 1 peut donner des réseaux quelconques. Les réseaux quelconques permettent une modélisation plus naturelle et plus concise.

En général, les places sont représentées par des cercles, les transitions par des rectangles ou des traits. Les applications Pré et Post sont représentées par des arcs valués; la valeur 1 étant omise et l'absence d'arc indiquant la valeur 0. Les marques ou jetons sont représentés par des points ou nombres à l'intérieur des places.

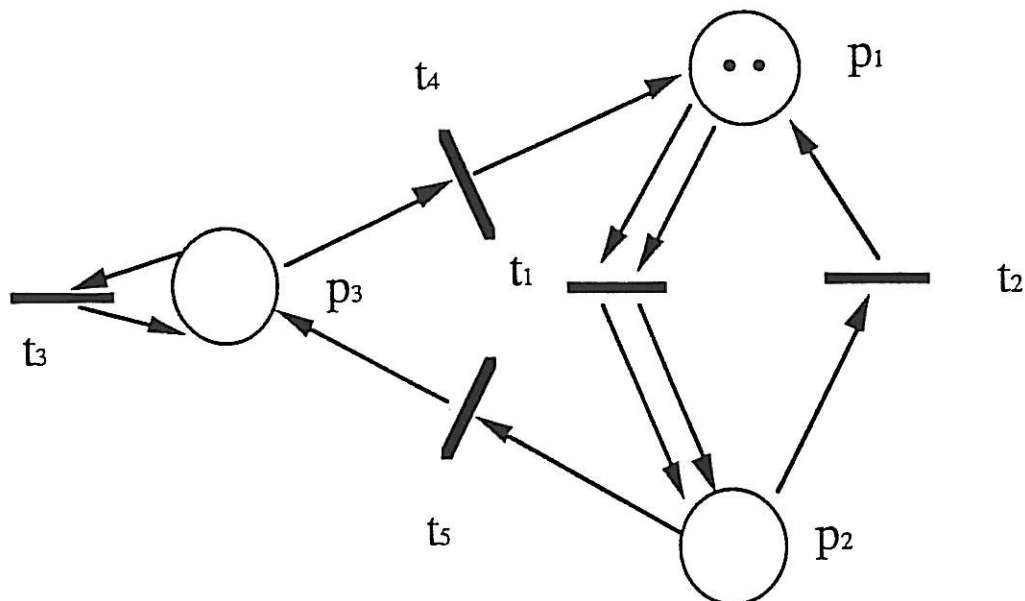


Figure.1. Exemple de graphe d'un réseau de Petri

Ce réseau de la figure 1 est défini par:

Pré (p1, t1) = 2,	Pré (p2, t1) = 0,	Pré (p3, t1) = 0,	
Pré (p1, t2) = 0,	Pré (p2, t2) = 1,	Pré (p3, t2) = 0,	
Pré (p1, t3) = 0,	Pré (p2, t3) = 0,	Pré (p3, t3) = 1,	
Pré (p1, t4) = 0,	Pré (p2, t4) = 0,	Pré (p3, t4) = 1,	
Pré (p1, t5) = 0,	Pré (p2, t5) = 1,	Pré (p3, t5) = 0,	
Post (p1, t1) = 0,	Post (p2, t1) = 2,	Post (p3, t1) = 0,	
Post (p1, t2) = 1,	Post (p2, t2) = 0,	Post (p3, t2) = 0,	
Post (p1, t3) = 0,	Post (p2, t3) = 0,	Post (p3, t3) = 1,	
Post (p1, t4) = 1,	Post (p2, t4) = 0,	Post (p3, t4) = 0,	
Post (p1, t5) = 0,	Post (p2, t5) = 0,	Post (p3, t5) = 1,	
$\mu$ (p1) = 2,	$\mu$ (p2) = 0,	$\mu$ (p3) = 0,	$\mu = (2, 0, 0).$

$$\Gamma(p1) = \{t1\}, \quad \Gamma(p2) = \{t5, t2\}, \quad \Gamma(p3) = \{t4, t3\},$$

$$\Gamma(t1) = \{p2\}, \quad \Gamma(t2) = \{p1\}, \quad \Gamma(t3) = \{p3\},$$

$$\Gamma(t4) = \{p1\}, \quad \Gamma(t5) = \{p3\}.$$

$$V(p1, t1) = V(t1, p2) = 2,$$

$$V(t2, p1) = V(p2, t2) = V(p3, t4) = V(t4, p1) = 1,$$

$$V(p2, t5) = V(t5, p3) = V(p3, t3) = V(t3, p3) = 1.$$

Le marquage  $\mu$  est défini par le nombre de jetons dans les places. Dans un réseau de Petri les jetons sont représentés par des marques '.' dans les places. Les jetons sont utilisés pour définir l'exécution d'un réseau de Petri qui lui donne des propriétés dynamiques. Lors du tir d'une transition, des jetons des places d'entrée sont retirés. Simultanément, de nouveaux jetons sont ajoutés dans les places de sortie de cette transition.

Une transition sera tirée si elle est validée. Une transition  $t_j$  est validée si, pour tous les  $p_i \in P$ :

$$\mu(p_i) \geq \text{Pré}(p_i, t_j),$$

$$\forall p_i \in P : \mu'(p_i) = \mu(p_i) - \text{Pré}(p_i, t_j) + \text{Post}(p_i, t_j).$$

### 3.2. Notion d'état

L'état d'un réseau de Petri est défini par son marquage. Le changement d'état est causé par la mise à feu d'une transition validée et est défini par la relation donnant l'état suivant :

$$\delta : N^n \times T \Rightarrow N^n,$$

où  $N^n$  est un espace d'état, c'est-à-dire l'ensemble de tous les marquages. La relation  $\delta$  est définie pour le marquage  $\mu$  et la transition  $t_j$  si et seulement si:

$$\mu(p_i) \geq \text{Pré}(p_i, t_j) \text{ pour tout } p_i \in P, \text{ alors } \delta(\mu, t_j) = \mu'.$$

L'ensemble d'accessibilité  $R(PN)$  pour un réseau de Petri  $PN$  avec un marquage  $\mu$  est le plus petit ensemble des marquages définis par :

1.  $\mu \in R(PN)$ ,

2. si  $\mu' \in R(PN)$  et  $\mu'' = \delta(\mu', t_j)$  pour tout  $t_j \in T$  alors  $\mu'' \in R(PN)$ . L'arbre des accessibilités  $R_T(PN)$  représente l'ensemble d'accessibilité d'un réseau marqué ou ensemble de marquages accessibles depuis  $\mu$  initial.

## 4. Système de représentation des connaissances

### 4.1. Définition d'un "K.R.P."

Le système de représentation des connaissances basé sur les réseaux de Petri est composé d'un 7 - tuple [RAB 88]:

$$\text{K.R.P.} = (P, T, \text{Pré}, \text{Post}, \mu, \alpha, \beta)$$

où  $P$ ,  $T$ ,  $\text{Pré}$ ,  $\text{Post}$  et  $\mu$  sont les composantes d'un réseau de Petri généralisé, défini au paragraphe précédent, et

$\alpha$  : est une relation surjective, de même qu'injective qui associe les faits et les objets,  $D$ , à chaque  $p_i \in P$ ,

$\beta$  : est une relation surjective qui associe des relations descriptives,  $\Sigma$ , entre les faits ou les objets à chaque  $t_i \in T$ .

Les marquages  $\mu$  de K.R.P. correspond aux conditions initiales et aux états intermédiaires de K.R.P. dans la procédure d'inférence.

La relation inverse  $\alpha^{-1}$  associe une place avec un fait ou un objet, et la relation inverse  $\beta^{-1}$  est définie par association de chaque  $\delta \in \Sigma$  dans l'ensemble  $\tau \subseteq T$ .

### 4.2. Exemple tiré de la Matière médicale

Un système de représentation des connaissances K.R.P. pour une partie de la rubrique douleur du chapitre reins du répertoire de la matière médicale homoeopathique [BROU 92] est défini par (figure 2) :

$$\text{K.R.P.} = (P, T, \text{Pré}, \text{Post}, \mu, \alpha, \beta),$$

$$P = \{ p1, p2, p3, p4 \},$$

$$T = \{ t1, t2, t3, t4 \}.$$

$$\text{Pré} (p1, t1) = 1, \quad \text{Post} (p2, t1) = 2,$$

$$\text{Pré} (p3, t2) = 1, \quad \text{Post} (p2, t2) = 1,$$

$$\text{Pré} (p4, t3) = 1, \quad \text{Post} (p3, t3) = 1,$$

$$\text{Pré} (p4, t4) = 1, \quad \text{Post} (p1, t4) = 1.$$

D = {douleur, vessie, apyrexie, Lyc}

$\Sigma$  = {est irradié(e)\_ à, est\_quand, est\_soigné \_ par}

$\alpha$  (p1) = apyrexie,       $\beta$  (t1) = est\_soigné \_ par,

$\alpha$  (p2) = Lyc.,       $\beta$  (t2) = est\_soigné \_ par,

$\alpha$  (p3) = vessie,       $\beta$  (t3) = est\_irradié(e)\_ à,

$\alpha$  (p4) = douleur,       $\beta$  (t4) = est\_quand.

DOULEUR : *PAIN* :début S.R.O

·  
·  
fin S.R.O  
début S.R.1  
·  
·  
fin S.R.1  
début S.R.2  
·  
fin S.R.2.  
début S.R.3  
·  
·  
apyrexie, pendant : *apyrexia, during* :  
début S.R.O  
Bell.,chin., lyc., staph., hep.  
fin S.R.O  
·  
fin S.R.3  
début S.R.4  
·  
·  
vessie : *bladder* :  
début S.R.O  
Arg.-n., ars.,....., lyc.,.....,tab.  
fin S.R.O  
·  
fin S.R.4  
·

Figure 2. Extrait de la rubrique douleur du chapitre reins [BROU 92]

Le vecteur marquage est  $\mu = (0, 0, 0, 1)$ . Le graphe correspondant au réseau de Petri est donné dans la figure 3.

Les fonctions  $\alpha^{-1}$  et  $\beta^{-1}$  sont définies par :

$$\alpha^{-1}(\text{apyrexie}) = p_1, \quad \beta^{-1}(\text{est\_soigné\_par}) = t_1,$$

$$\alpha^{-1}(\text{Lyc.}) = p_2, \quad \beta^{-1}(\text{est\_soigné\_par}) = t_2,$$

$$\alpha^{-1}(\text{vessie}) = p_3, \quad \beta^{-1}(\text{est\_irradié(e)}) = t_3,$$

$$\alpha^{-1}(\text{douleur}) = p_4, \quad \beta^{-1}(\text{est\_quand}) = t_4.$$

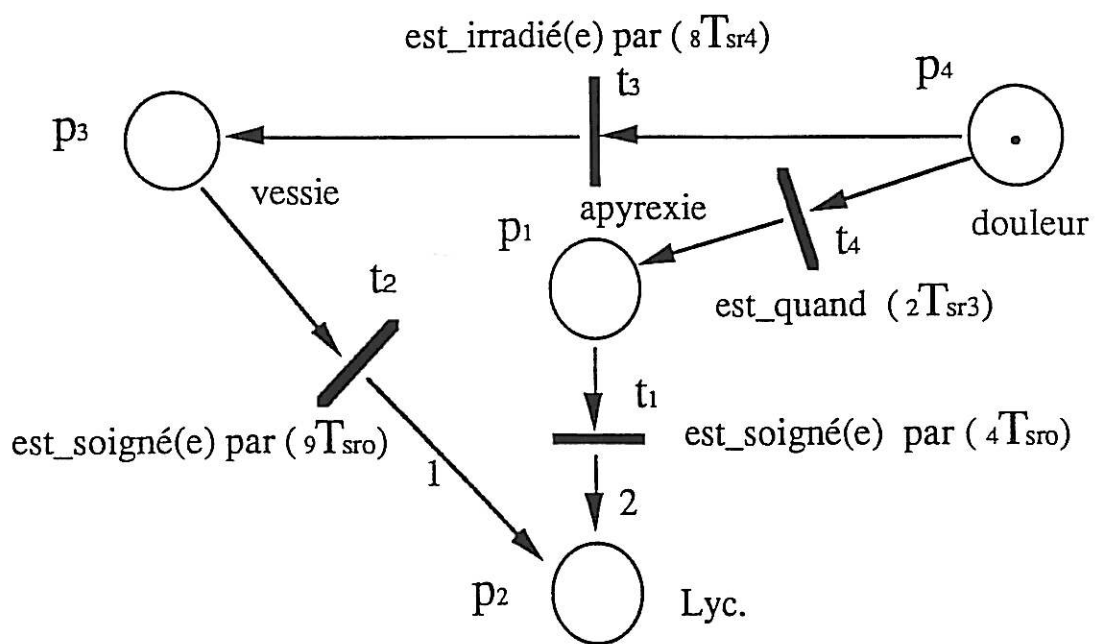


Figure 3. Le graphe du réseau de Petri (extrait de la figure 2).



## 5. Méthode de recherche par les réseaux de Petri

Monsieur Quillian a proposé une procédure qui correspond à l'inférence dans les réseaux sémantiques. Elle permet de trouver des relations parmi des faits à partir d'une "propagation active" se basant sur des conditions initiales définies par des places actives. Ces places ou noeuds actifs sont appelés les noeuds patriarches ou ascendants. Ensuite, la propagation se fait jusqu'à des points de rencontres. Cette procédure est nommée "recherche d'intersection".

### 5.1. Procédure générale

Les chemins issus de ces deux noeuds jusqu'aux noeuds d'intersection définissent les relations entre les faits.

Basé sur l'arbre des accessibilités  $R_T(PN)$ , un processus de déduction similaire est proposé. Dans le système de représentations de connaissances à base de réseaux de Petri, la procédure de "recherche d'intersection" peut être représentée par la recherche de noeuds identiques à partir de deux arbres d'accessibilité aboutissant au même but à partir de différents marquages initiaux.

L'algorithme pour la recherche d'intersection dans le système de représentation des connaissances à base de réseaux de Petri est le suivant [RIB 88] :

Etape 1.

Prendre  $d1 \in D$  et  $d2 \in D$  faits ou objets qui représentent les "noeuds patriarches".  
Avec l'aide de la relation d'inversion

$$\alpha^{-1}(d1) = p_i$$

$$\alpha^{-1}(d2) = p_j$$

déterminer les places  $p_i$  et  $p_j$  ;  $p_i, p_j \in P$ .

Etape 2.

Déterminer le marquage initial  $\mu_O^I$  et  $\mu_O^{II}$

$$\mu_O^I = (a_1, a_2, \dots, a_n),$$

où

$$a_k = \begin{cases} 0 & \text{pour tous } k \neq i \\ 1 & \text{pour } k = i, \end{cases}$$

et

$$\mu_O^{II} = (b_1, b_2, \dots, b_n),$$

où

$$b_k = \begin{cases} 0 & \text{pour tous } k \neq j \\ 1 & \text{pour } k = j. \end{cases}$$

Etape 3.

Trouver les arbres d'accessibilité  $R_T^I(PN)$  et  $R_T^{II}(PN)$  pour les marquages initiaux  $\mu_O^I$  et  $\mu_O^{II}$

Etape 4.

Les noeuds qui sont identiques dans  $R_T^I(PN)$  et  $R_T^{II}(PN)$  correspondent aux intersections, où il y a une rencontre "active".

Etape 5.

Toutes les suites de noeuds, des noeuds initiaux aux noeuds d'intersection, et les séquences correspondant aux arcs des arbres  $R_T^I(PN)$  et  $R_T^{II}(PN)$  définissent les relations entre deux faits.

Etape 6.

Pour chaque  $\mu_i \neq 0$ ,  $\mu_i \in \mu$ , où  $\mu_i = \mu(p_i)$  dans la séquence des noeuds, en utilisant la relation  $\alpha$  déterminer pour chaque  $p_i$  :

$$\alpha(p_i) = d_j, \text{ où } d_j \in D$$

Etape 7.

Pour chaque transition des séquences d'arcs de l'étape 5 trouver :

$$\beta(tk) = \sigma_s, \text{ où } \sigma_s \in \Sigma.$$

Etape 8.

A partir de la séquence correspondante de symboles :

$$d_i, \sigma_s, d_j, \sigma_t, \dots \text{ pour } R_T^I(PN) \text{ et } R_T^{II}(PN)$$

L'ensemble des séquences définit les relations entre les faits.

### 5.2. Application à l'exemple précédent

A partir de l'exemple de la figure 3, trouvons la relation entre les objets "douleur" et "vessie".

Etape 1.

$$d1 = \text{douleur}, d2 = \text{vessie}$$

$$\alpha^{-1}(\text{douleur}) = p4$$

$$\alpha^{-1}(\text{vessie}) = p3$$

Etape 2.

Le marquage initial est  $\mu_{\text{O}}^{\text{I}} = (0, 0, 0, 1)$  et  $\mu_{\text{O}}^{\text{II}} = (0, 0, 1, 0)$ .

Etape 3.

Les arbres des accessibilités sont présentés dans la figure 4.

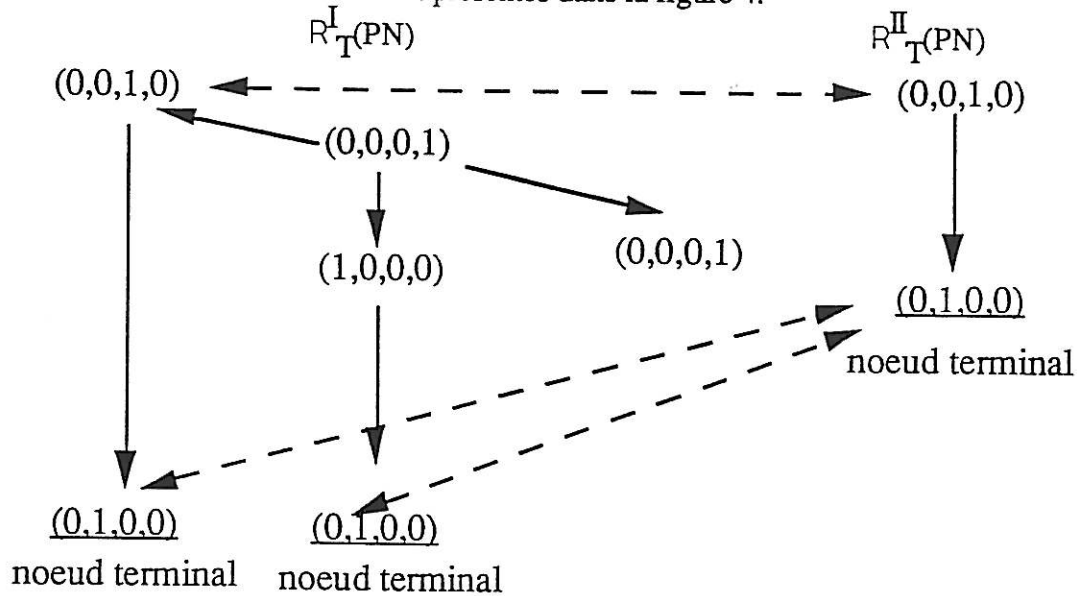


Figure 4. Arbres des accessibilités  $R_{\text{T}}^{\text{I}}(\text{PN})$  et  $R_{\text{T}}^{\text{II}}(\text{PN})$

Etape 4.

les noeuds de rencontre sont visibles aussi dans la figure 4.

Etape 5.

Les séquences des noeuds initiaux aux noeuds d'intersection sont les suivantes :

- (1)  $(0, 0, 0, 1), (0,0,1,0),$
- (2)  $(0, 0, 1, 0),$
- (1')  $(0, 0, 0, 1), (0, 0, 1, 0), (0, 1, 0, 0),$
- (2')  $(0, 0, 1, 0), (0, 1, 0, 0),$
- (1'')  $(0, 0, 0, 1), (1, 0, 0, 0), (0, 1, 0, 0),$
- (2'')  $(0, 0, 1, 0), (0, 1, 0, 0).$

Les séquences de tir correspondantes sont les suivantes :

- (a)  $t_3,$
- (b)  $\emptyset,$
- (a')  $t_3, t_2$
- (b')  $t_2,$
- (a'')  $t_4, t_1,$
- (b'')  $t_2.$

Etape 6 et étape 7.

En utilisant les fonctions  $\alpha$  et  $\beta$  nous obtenons :

(1) - (a)

$\alpha(p4) = \text{douleur},$   
 $\alpha(p3) = \text{vessie},$   
 $\beta(t3) = \text{est\_irradié (e)}.$

(2) - (b)

$\alpha(p3) = \text{vessie},$

(1') - (a')

$\alpha(p4) = \text{douleur},$   
 $\alpha(p3) = \text{vessie},$   
 $\alpha(p2) = \text{Lyc.},$   
 $\beta(t3) = \text{est\_irradié (e)},$   
 $\beta(t2) = \text{est\_soigné (e) par}.$

(2') - (b')

$\alpha(p3) = \text{vessie},$   
 $\alpha(p2) = \text{Lyc.},$   
 $\beta(t2) = \text{est\_quand},$

(1'') - (a'')

$\alpha(p4) = \text{douleur},$   
 $\alpha(p1) = \text{apyrexie},$   
 $\alpha(p2) = \text{Lyc.},$   
 $\beta(t4) = \text{est\_quand},$   
 $\beta(t1) = \text{est\_irradié (e)}.$

(2'') - (b'')

$\alpha(p3) = \text{vessie},$   
 $\alpha(p2) = \text{Lyc.},$   
 $\alpha(t2) = \text{est\_soignée par},$

Etape 8

Les séquences correspondantes de symboles sont :

$R_{T(PN)1}^I$  : "douleur\_est irradié (e) à vessie",

$R_{T(PN)1}^{II}$  : "vessie",

$R_{T(PN)2}^I$  : "douleur est\_irradié (e) à vessie est\_soigné (e) par Lyc. (1)",

$R_{T(PN)2}^{II}$  : "vessie est\_soigné (e) par Lyc. (1)",

$R_{T(PN)3}^I$  : "douleur est\_quand apyrexie est\_soigné (e) par Lyc. (2)",

$R_{T(PN)3}^{II}$  : "vessie est\_soigné (e) par Lyc. (1)".

Les résultats de la recherche d'intersection donnent :

A. "vessie"

- (a) La douleur est irradiée à la vessie
- (b) vessie.

B. "Lyc."

- (a) La douleur est irradiée à la vessie, et la vessie est soignée par le *Lycopodium clavatum* avec un petit degré.
- (b) La vessie est soignée par le *Lycopodium clavatum* avec un petit degré.

- (a') La douleur est pendant une apyrexie, est l'apyrexie est soignée par le *Lycopodium clavatum* avec un degré moyen.
- (b') La vessie est soignée par le *Lycopodium clavatum* avec un petit degré.

## 6. Résultats, conclusion et perspectives

Nous nous sommes intéressés à divers agents: données, informations, connaissances qui coopèrent pour réaliser un comportement global. Le développement de systèmes et logiciels fiables nécessite l'utilisation de méthodes de validation des choix des concepteurs, par rapport à des spécifications exprimant le service attendu.

Nous venons de voir au cours de cet article l'introduction d'une calculabilité, par un système de représentation des connaissances, informations et faits, basée sur les réseaux de Petri. Notre point de vue est de tirer partie du fait que nous verrons les dictionnaires organisés de type thésaurus comme d'immenses graphes. Ce type de technique permet de trouver des relations parmi des faits à partir de traitements procéduraux exposés précédemment.

Par ailleurs, il convient de poursuivre l'implémentation, à peine commencée pour l'instant, de cette structure sous le système SAPHIR, ainsi que la réalisation de toutes les fonctions et interfaces d'accès et d'interrogation. [SIM 86]. Il restera maintenant un travail non négligeable de vérification à entreprendre sur notre répertoire. En effet, la phase de développement réaliste était limitée par le nombre des états pris en compte par les logiciels de vérifications. Les résultats actuels permettent de traiter des systèmes de plusieurs millions d'états, alors qu'on en était à 50 000 états il y a quelques années. Rappelons que l'homéopathie différencie seize à dix huit mille symptômes, avec une "banque de remèdes" évalués déjà à six cent quarante à l'époque de Kent.

L'originalité de notre travail est de proposer, tout d'abord, quelques corrections sur la forme des données, informations, connaissances de la matière médicale de James Kent. La représentation des connaissances médicales à l'aide des réseaux de Petri est de caractère novateur. Encore plus la calculabilité, tirée de la représentation des dictionnaires organisés de type thésaurus comme d'immenses graphes, permet la vérification automatisée des systèmes documentaires. La recherche des pièges dans un thésaurus est donnée par le choix de notre représentation.

-----

## 7. Références bibliographiques

- [BIA 90] Bianco Edmond,  
Essai sur la complexité des systèmes informatiques,  
Revue internationale de systématique, Vol. 4, n°2, AFCET, 1990, Paris.
- [BIS 89] Bisière Christophe, Iwanenko Denis, Knippel Jean-Michel, Massat Jean-Luc,  
Compilateur de machine universelle: MU,  
Bulletin d'informatique approfondie et applications,  
ISSN 0291-5413, n°23, Juin 1989, Marseille.
- [BROU 92] Broussalian Edouard,  
Répertoire de la Matière Médicale Homoeopathique de James T. Kent,  
Éditions Roger Jollois, 1992, Limoges.
- [CHA 92] Chappaz France,  
Vers un nouveau système d'information en CDI, Sous la direction de F. Chappaz,  
Mémoire de Maîtrise Information-Communication. de Vermeulen Marie - France,  
Université de Provence, 1992, Marseille.
- [KNI 93] Knippel Jean - Michel, Laskri Mohammed - Taïeb,  
Study of a thesaurus creation and development system by means of Petri nets,  
Medical decision aid: case of Kent's repertory,  
Petri Nets Newsletter, Special interest group 1.1.2,  
n° 46, Gesellschaft für Informatik, Décembre 1993, Bonn.
- [KNI 94] Knippel Jean - Michel,  
Expression et vérification des thésaurus par les réseaux de Petri.  
Cas du répertoire de Kent. Implémentation à l'aide d'une machine universelle,  
Habilitation à diriger des recherches, Document de travaux, Tome 2,  
Université d'Aix-Marseille II, 1994, Marseille.
- [RAB 88] Rabaric' S.,  
Knowledge representation scheme based on Petri net theory,  
International journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence,  
Vol.2, n° 4, 1988.
- [SIM 86] Simonet Michel,  
Proposals for a knowledge - base in Homoeopathy,  
IA BIOMED, 1986, Montpellier.

## 8. Remerciements

Nous remercions monsieur le Professeur Carl Adam Petri (+) d'avoir confirmé l'originalité de cette approche et madame le Professeur Agathe Merceron (++) d'avoir corrigé une première fois ce travail.

(+) Gesellschaft für Informatik e.V., Godesberger Allee 99  
D - 53175 Bonn, Germany  
(++) Gesellschaft für Mathematik und D. - IS Sks., Schloss Birlinghoven  
D - 53757 Sankt Augustin, Germany

## Chapître 1. Notions de calcul.

E. Bianco

---

### 1. Le nombre et sa signification

La manipulation qu'on appelle "calcul", c'est l'expérience qui le montre, présente deux aspects. On dispose d'objets représentés par des signes, et auxquels on attribue, non sans raisons mais arbitrairement, un ensemble de valeurs. Puis on dispose d'un jeu d'opérations qu'on va pouvoir appliquer sur ces objets, et quand on a vraiment les moyens alors on ajoute à cet ensemble d'opérations des règles purement formelles qui servent à canaliser les trains d'applications des règles de calcul. Donc, des objets et des règles de travail sur ces objets.

Voilà ce qu'on peut dire en toute généralité qui définit le cadre du calcul. On voit bien que dans une aussi large définition, il peut entrer autre chose que du simple calcul arithmétique. Par exemple, si je me donne comme objets planches et madriers, que j'ajoute des opérations à base de scie, de rabot, de colle et de clous, il suffit que je rajoute une manière d'ordonner de telles opérations pour concevoir une fabrique de caisses, ou encore une fabrique de meubles. Je pourrais dire parfaitement la même chose en partant d'éléments métalliques et de machines-outils spécialisées, pour aboutir à des locomotives ou à des avions.

Mais qui dit que fabriquer une voiture n'est pas une forme de calcul? Bien entendu indépendamment du fait que de plus en plus d'automates pilotés par ordinateur interviennent dans la construction industrielle.

Pour revenir à notre simple notion de calcul (Comput, computation), notre vieille tradition nous fait lui associer automatiquement la notion de nombre. Or la manière dont l'informatique s'est implantée dans notre société l'a bien montré, la part de calcul réservée au nombre s'affaiblit au cours du temps par rapport à toutes autres sortes d'objets qu'on lui préfère. Pendant que d'un autre point de vue, la tendance est à tout représenter à l'aide des nombres, même la musique et les nombres eux-mêmes, ce qui est le cas par exemple pour les réels que l'on plaque sur des entiers pour en venir à bout.

Nous tombons ici sur une boucle sémantique.

Tout naturellement nous allons donc nous préoccuper en tout premier lieu de prendre pour objets des nombres. Notre but est de faire de l'informatique c'est-à-dire que nos cogitations nous dirigent forcément vers une application sur ordinateur. Il faut donc que nos objets soient représentables sur cet ustensile. Il nous faut leur choisir une forme, évidemment à base de signes, et les signes sont imposés par le constructeur.

A cet endroit de la représentation des symboles s'insère une telle dose d'arbitraire que la manière dont il nous faudra traiter la sémantique de ces objets risque de s'en ressentir profondément. En d'autres termes, de bons choix nous mèneront à une sémantique commode avec des traitements relativement simples, de moins bons choix risquent de nous mener dans des impasses, c'est-à-dire des algorithmes trop lourds et trop compliqués.

Nous verrons d'ailleurs au cours du développement de cet exposé, que pour chaque calcul il existe une dose de complexité qu'il faudra répartir entre représentation des données et représentation de l'algorithme. Et si l'on réussit à décomposer cette complexité en classes distinctes, on se sera donné un moyen puissant d'analyse.

## 2. Les nombres

Pour parler le langage des mathématiciens je dirai que nous allons nous placer dans un système formel, celui qui est défini par les axiomes de Péano. En fait, il s'agit simplement de ce qu'on appelle "les entiers". Nous verrons plus loin pour quoi faire allusion au système de Péano, toute structure d'ordinateur se présente un peu comme un tel système, et nous aurons l'occasion de montrer ce que ces systèmes ont en commun.

Les nombres entiers sont de parfaites abstractions impossibles à matérialiser ou à visualiser autrement que par un nom. A un point tel que le risque est grand d'être amené à confondre l'objet et son nom. Et nous allons voir que cela peut conduire à de graves confusions, car c'est finalement une représentation du nom du nombre qui apparaît dans l'ordinateur. Aussi dans l'ensemble riche où l'on peut puiser des noms de nombres est-il bon de choisir soigneusement. Pour moi, je prendrai les choses le plus simplement possible.

Il nous est tout-à-fait naturel et habituel de désigner les entiers par leur dénomination décimale. C'est un fait de culture.



Ainsi:

zéro, un, deux, trois, quatre, cinq, six, sept, huit, neuf, dix, onze, douze, treize, ..., vingt, ..., trente, ..., quarante, ..., cent, ...

s'écrivent couramment:

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, ..., 20, ..., 30, ..., 40, ..., 100, ...

Tout d'abord on observera que la première liste de mots peut aussi bien être remplacée par une autre parfaitement équivalente:

zéro, one, two, three, four, five, six, seven, eight, nine, ten, eleven, twelve, thirteen, ..., twenty, ..., thirty, ..., forty, ..., hundred, ...

ou, dans une forme asiatique, se prononcer:

ichi, ni, san, yon, go, roku, shichi, achi, kyû, djû, djû ichi, djû ni, djû san, ..., ni djû, ..., san djû, ..., yon djû, ..., hyaku, ...

dans une autre forme asiatique:

mot, hai, ba, bon, nam, sau, bay, tam, chim, mu'o'i, mu'o'i mot, mu'o'i hai, hai mu'o'i, ... hai mu'o'i mot, ... ba mu'o'i, ...bon mu'o'i, ... tram

En remarquant que le zéro n'intervient pas dans ces deux derniers systèmes de numération. Bref, tout autant de langues, tout autant de systèmes descriptifs différents pour les nombres. Et ce n'est pas tout. Il y a les bases, et elles sont en nombre illimité.

Par exemple, on se donne le système unaire dans lequel le zéro est caractérisé par l'absence de signe, un peu comme dans le système sino-japonais, ou Viet-namien.

I, II, III, IIII, IIIII, IIIIII, IIIIIII, IIIIIIII, etc.

Puis le système binaire avec deux chiffres, je prendrai 0 et 1 par tradition mais en fait deux objets, pourvu qu'ils soient différents font l'affaire, en soulignant que les rôles de chacun d'eux sont distincts:

0, 1, 10, 11, 100, 101, 110, 111, 1000, 1001, 1010, 1011, 1100, 1101, 1110, 1111, 10000, 10001, 10010, 10011, etc...

On remarque la correspondance entre deux et 10, quatre et 100, huit et 1000, seize et 10000 etc.

Le système ternaire utilise trois chiffres, par exemple 0, 1, et 2.

0, 1, 2, 10, 11, 12, 20, 21, 22, 100, 101, 102, 110, 111, 112, 120, etc.

On peut imaginer les bases 4, 5, 6, 7, 8, etc, toutes ne sont pas utilisées. Le calcul automatique a mis à la mode les bases 2, 8 et 16. La pratique du temps et le calcul de l'heure a privilégié les bases 12, 24, 60, 365 etc.

*Comme on le constate, un même élément, par exemple "trois" peut donc être représenté par une quantité illimitée de noms différents. Et ce sont également des noms que nous allons manipuler dans les ordinateurs, il est donc nécessaire de choisir une bonne représentation, car le nom seul ne suffit pas il faut lui rajouter l'algorithme qui est censé traduire les propriétés des nombres, et dont la nature dépend fortement des propriétés attribuées à la représentation du nombre. Pour illustrer cette assertion il suffit de s'amuser à comparer les algorithmes de l'addition sur les chiffres arabes et celui sur les chiffres romains.*

*Tout de suite va apparaître une première contrainte matérielle, le caractère fini et borné de la place utile pour noter l'information, en l'occurrence le nom du nombre.*

### 3. L'algorithme

J'imagine alors les nombres dont j'ai besoin, notés quelque part sous une forme qui dépend du type de nom choisi. Si je veux à présent calculer je vais appliquer les opérations que je connais, à savoir l'addition, la soustraction, la multiplication, la division, et dans l'ordre qu'impose mon problème. Cette suite d'opérations définit mon algorithme.

Quand je choisis la représentation binaire, en plus de mes deux chiffres 0 et 1 je me donne donc un algorithme pour construire par exemple les noms de tous les autres nombres. C'est l'opération de succession. Le problème s'énonce: je choisis le nom d'un nombre quelconque, comment obtenir le nom du nombre suivant? L'énoncé de la réponse tient dans les lignes qui suivent:

<< Si le premier chiffre à droite du nom de nombre est un 0 alors je le remplace par 1, et j'ai le nom du nombre suivant. Sinon, si ce premier chiffre est 1 je le remplace par 0, et j'observe le chiffre qui le suit à gauche, qui, s'il est égal à 0 est remplacé par 1 et c'est terminé, sinon le 1 est remplacé par 0 et on va observer le chiffre situé à gauche auquel on applique le même traitement. Si le dernier chiffre à gauche est un 1, alors on le remplace par 0 et on rajoute un 1 de plus à gauche. >>

A titre d'exercice il est bon de réécrire un tel énoncé en l'adaptant à la base décimale, puis à une base quelconque K.

Essayons d'analyser un algorithme tellement connu qu'on l'applique sans plus y réfléchir. En oubliant soigneusement combien on a transpiré dessus en primaire pour réussir à le maîtriser. Je veux parler de la multiplication en décimal.

Je prends deux nombres quelconques:

$$78493 \times 9463,$$

et je pose la multiplication sous cette forme:

78493	multiplicande (M-ande)
3	
60	
400	
<u>9000</u>	multiplicateur (M-ateur)
235479	p1
4709580	p2
31397200	p3
<u>706437000</u>	p4
742779259	

Je peux donner la version suivante de l'algorithme qui contrôle ce calcul:

D'abord je pose le multiplicande, ensuite je décompose le multiplicateur en puissances successives de ses composants.

Je prends le chiffre des unités du multiplicateur, et je multiplie le multiplicande chiffre à chiffre, cela donne p1.

Puis je prends le nombre des dizaines, je multiplie le multiplicande, cela donne p2.

Je répète cette opération pour chacun des composants du multiplicateur, ce qui donne successivement p3, p4.

Ayant épuisé le multiplicateur il reste à faire la somme des p1, p2, p3 et p4.

Dans les versions usuelles, je veux dire quand la calculette est en panne, et qu'on est obligé de calculer à la main, on évite d'écrire tous les zéros à droite.

Présenté ainsi cet algorithme a peut-être quelque vertu explicative pour un élève attentif, mais il est nettement insuffisant pour une application informatique. En effet trop de choses sont sous entendues comme allant de soi pour un opérateur humain, ainsi l'arrêt du calcul après avoir épuisé les chiffres du multiplicateur.

Une version "informatique" donnerait par exemple ceci:

- 1) Je me place sur la première ligne du résultat (à droite de p1)
- 2) Je mets à ZERO le chiffre de retenue.
- 3) Je me place sur le premier chiffre à droite du multiplicateur.
- 4) " " " " " " " du multiplicande.
- 5) Si le multiplicateur est épuisé aller à FIN. Sinon:
- 6) Si le multiplicande est épuisé aller à SUITE. Sinon:
- 7) Je fais le produit M-ande et M-ateur, auquel j'ajoute la retenue, la dizaine va en retenue, je pose l'unité sur la ligne résultat.
- 8) Je me déplace d'un chiffre à gauche sur le M-ande et sur la ligne résultat. Je remonte à 6).
- 9) SUITE: Je porte la retenue sur la ligne résultat, Je passe à la ligne suivante du résultat sur laquelle je me déplace d'un chiffre à gauche.
- 10) Je prends le chiffre à gauche du M-ateur. Je vais à 4).
- 11)FIN: Il reste à faire l'addition de tous les produits intermédiaires.

Je n'insiste pas pour ce qui est de l'addition finale, dont l'algorithme ne présente aucune difficulté. On constate que ce genre de programme s'adresse à un opérateur qui ne saurait en fait et sur indication que repérer des lignes et des positions de chiffre sur des lignes. Nous allons essayer de décrire plus en détail ce genre d'opérateur.

Mon propos n'est pas de m'attarder sur des algorithmes bien connus par ailleurs, mais plutôt de m'intéresser aux propriétés générales des algorithmes. Or, la notion d'algorithme est très intuitivement largement répartie, elle est indispensable dès qu'on veut réaliser le moindre travail, fabriquer le moindre objet. Aucun ébéniste ne s'amuserait à polir le morceau de bois avant de lui avoir donné sa forme quasi-définitive. Pareil en calcul automatique, mais nous allons nous intéresser à la spécificité de ce genre de traitement. Pour ce faire je me munis d'une machine spéciale, que je vais concevoir la plus simple possible pour dissocier les difficultés. Cette machine imaginée par Louis Nolin dans les années soixante, nous servira de modèle théorique et pratique pour construire les notions de base des algorithmes fondamentaux. On est parti de la notion d'ordinateur, c'est-à-dire d'automate à programme enregistré. Mais à l'usage on s'est aperçu que le calculateur ne pouvait pas être abordé n'importe comment faute de quoi il devenait rapidement inutilisable. La difficulté de l'improvisation en programmation se faisait durement sentir. Nombreux ont été les premiers micro-ordinateurs remisés définitivement au fond d'une armoire car leur propriétaire n'a jamais pu se faire à la programmation en langage machine. C'est alors que s'est développée l'industrie du logiciel, qui, développée par des gens du métier ont peu à peu mis sur le marché des programmes de plus en plus complexes, mais rendus commodes d'utilisation pour les utilisateurs non informaticiens. L'ergonomie des programmes s'est peu à peu affinée jusqu'à créer une nouvelle sorte de langage quasi-universel auquel l'utilisateur peut aisément s'adapter. Cela représente bien entendu un surcroît de travail pour l'ordinateur, mais dont la puissance est désormais largement suffisante.

A suivre.

**VOUZZAVEDIBISAR,**

**Les aventures de Savate Premier et son Ordinateur Chevelu.**

(Suite de l'éditorial du numéro 39 de décembre 1994)

**Le temps de la "SecSoc".**

Visiblement, le temps de la "SecSoc" était révolu. Certes c'était une invention qu'on pouvait mettre au compte du Grand Général, dont on se réclamait en toute occasion bien entendu, on a la grandeur qu'on peut. Mais pour avoir l'air d'exister, à idée de génie il faut opposer idée de génie. De plus cet organisme à but exclusivement social (Qu'est-ce que ça signifie en période de compétition internationale?) manipulait des masses impressionnantes de fric. Oui. Et tout ce pactole était géré par qui? Je vous le donne en mille, par les assurés eux-mêmes, enfin par leurs délégués. Non mais vous vous rendez compte! Des gens qui ne savent pas la valeur de l'argent, qui ne sauraient même pas le faire fructifier. Un positif scandale. L'Ordinateur Chevelu en avait perdu le sommeil. Il en était fébrile. Il fallait agir. Vite. Mais attention le problème était délicat, ils y tenaient à leur "SecSoc", les moujiks.

Vous savez comment sont les ordinateurs. L'Ordinateur Chevelu s'était aperçu que le travailleur coûtait cher, et surtout à cause d'une prétendue protection sociale, et pourquoi ils seraient malades les travailleurs, hein? On leur offre du travail et le travail c'est la santé c'est bien connu, au moins des ordinateurs. Aussi, halte à la gabegie.

On commença par organiser une bonne campagne. D'abord on répand l'inquiétude. Une bonne dose. Le déficit se chiffre en un énorme paquet de millions, on est près de la cessation de paiement. Donc, on cherche des remèdes, par exemple proposer de faire gérer la "SecSoc" par les députés. Là, on est certain de la réaction tellement les élus ont bonne réputation: tout le monde dans la rue.

Il suffit alors de suggérer la bonne solution. Un jour un bonhomme sympathique, assis sur un gros coffre-fort bien plein, vient au petit fenestron, proposer de se sacrifier pour sauver la "SecSoc", en la privatisant, bien entendu. Le tout appuyé d'un bon sourire qui prouve le dévouement à la cause nationale du personnage. (Le sourire est garanti et signé Séguéla). Pour cela on associera, s'il le faut, les deux plus grosses sociétés d'assurance. En plus, cela permettrait de dégraisser un peu ces deux organismes. Quelques milliers de chômeurs en plus, vous me direz? Oui, mais enfin, tout de même, vous avez vu le but visé? Sauver la "SecSoc" ? Ne peut-on pas consentir un tout petit sacrifice ?

Il reste pourtant un problème extrêmement grave, l'un des deux PDG va sauter. Évidemment. Cela donne à réfléchir, mais on trouvera bien un fauteuil de Directeur à l'EDF, à la SNCF, à la télévision, dans une grande banque, voire un portefeuille de ministre.

Savate Premier, lui, reste stoïque dans la tourmente. Dans sa grande simplicité, il n'avait jamais pensé, vraiment, parvenir un jour à une telle destinée. Bien qu'ayant épousé, aussi sa réussite brillante face au vide lui fut-elle perçue comme un clin d'œil des Dieux. Depuis, il rêve sur son nuage, fréquente toutes les églises, répandant ses sourires (signés eux aussi Séguéla) pour guérir les maux de la société, comme ses prédécesseurs guérissaient les écrouelles.

*Edmond Bianco*

A suivre.

**Université de Provence  
Atelier de Reprographie  
Centre Saint Charles  
3, place Victor Hugo  
F - 13331 Marseille Cedex 3**