

PIERRE VILLEPREUX

BENJAMIN SINGER

Vers une formalisation de l'analyse sémantique de matches en sports collectifs. Application au rugby à XV

Mathématiques et sciences humaines, tome 114 (1991), p. 19-33

http://www.numdam.org/item?id=MSH_1991__114__19_0

© Centre d'analyse et de mathématiques sociales de l'EHESS, 1991, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Mathématiques et sciences humaines » (<http://msh.revues.org/>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

VERS UNE FORMALISATION DE L'ANALYSE SÉMANTIQUE
DE MATCHES EN SPORTS COLLECTIFS.
APPLICATION AU RUGBY à XV.¹

Pierre VILLEPREUX², Benjamin SINGER³

RÉSUMÉ — *Cet article met l'accent sur l'originalité de la démarche adoptée. Dans le domaine de l'étude des sports collectifs, avec comme exemple de référence le rugby à XV, on se place du point de vue formel en utilisant des outils issus de l'informatique théorique. Les techniques de spécification mises en oeuvre sont les automates qui proviennent de la théorie des graphes, et la notation classique BNF, combinée aux Expressions Régulières, vue comme un langage de spécification formelle.*

L'un des intérêts de cette approche résulte dans l'équivalence, pour tout match de la classe des sports collectifs de circulation de balle, entre l'automate de spécification et le langage de description. D'autre part, l'introduction d'outils largement utilisés en informatique, dans un domaine jusqu'alors très peu étudié sous cet angle, a donné des résultats intéressants.

ABSTRACT — *Towards Formalizing the Semantic Analysis of Team Games, with the Example of Rugby. This paper emphasizes the originality of our approach. Within the framework of team games studies, rugby quoted as an example, our point of view is formal and based on tools belonging to theoretical computer science. The specification techniques used are finite automata, which arise from the graph theory, and the well-known BNF notation which is combined with Regular Expressions and seen as a formal specification language.*

One of the interest of such an approach results in the fact that the specification automaton is strictly equivalent to the description language, for each match of the class of ball games here considered. On the other hand, introducing in the area of sports studies specific tools, widely spread in computer science, yields interesting results.

1. INTRODUCTION : LES SPORTS COLLECTIFS

1.1. Tentatives de définition

On peut distinguer deux grandes familles de démarches qui visent chacune à traduire la complexité du jeu dans les sports collectifs, en l'occurrence les approches systémique et théorie de l'information.

¹ Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une thèse de Doctorat Informatique faisant l'objet d'une convention CIFRE entre le Laboratoire ARAMIIHS et MATRA-ESPACE.

² Directeur Technique, STADE TOULOUSAIN, 114 rue des Troènes 31200 Toulouse, FRANCE

³ Laboratoire ARAMIIHS, CNRS UMR 115, 31 rue des Cosmonautes 31077 Toulouse Cedex, FRANCE.

A - l'approche systémique

Cette école est représentée par Gréhaigne [Gréhaigne 89] qui caractérise l'équipe comme un ensemble finalisé par l'objectif de production constitué par le gain du match. Centre de production à part entière, tout match est alors vu à la fois comme :

1. un rapport de force,
2. un choix d'habiletés motrices,
3. une confrontation de stratégies individuelles et collectives, au sein d'un règlement fixé a priori, mais dont les interprétations diffèrent parfois.

Dans ces conditions, deux aspects semblent essentiels pour mieux caractériser les sports collectifs dans leur pratique au plus haut niveau de compétition : l'efficacité, comme objectif unique, qui justifie l'affrontement, implicite ou explicite, de deux groupes.

La contribution de Parlebas [Parlebas 85] [Parlebas 86] est fondamentale de par :

- l'étude formelle des réseaux de communication motrices,
- la conjecture de l'existence d'une logique interne sous-jacente, qu'il serait possible d'exprimer à l'aide d'outils mathématiques.

Il est le premier à souligner l'intérêt d'une approche systémique, en analysant le jeu d'un point de vue dynamique. Un match est défini comme un système mouvant de rapports d'opposition qui sans cesse évoluent. On distingue :

- 1 système global i.e. le match,
- 2 systèmes partiels i.e. les équipes,
- n sous-systèmes ($n > 2$) constitués par les affrontements entre joueurs ou groupes de joueurs. Citons par exemple le duel classique $1 \leftrightarrow 1$, où la notation " \leftrightarrow " désigne la relation binaire d'adversité "contre".

Dans ce cadre, tout match possède :

- un but et des unités de mesure pour l'évaluation de la réussite,
- des composantes qui constituent des sous-systèmes,
- des caractéristiques de variabilité, au niveau de la mouvance des sous-systèmes,
- des processus de décision : plus grand sera le nombre de décideurs, plus décentralisée sera la décision,
- de la cohérence et la rétablit en cas de perturbation externe, représentée par le jeu adverse, ou interne, issue de changements de joueurs, de blessures ou d'expulsions.

L'opposition, la continuité et la réversibilité sont trois concepts qui s'avèrent essentiels. En effet, toute analyse en sports collectifs doit partir de la notion d'opposition : l'affrontement en un système dynamique spatio-temporellement fini (clôture par l'aire de jeu et le temps-limite), finalisé (le match) de deux systèmes partiels (les équipes) globalement structurés en interaction [Von Bertalanffy 80]. Toute désorganisation du système doit provoquer une régulation à l'endroit même de la perturbation.

L'analyse systémique rend ainsi compte de l'organisation hiérarchique et fonctionnelle de l'activité observée. Pour cela, on est amené à manipuler un réseau de communication, modélisé par un graphe, tel que la circulation de l'information s'effectue sous forme de transmissions de balle.

Pour Malho, les fonctions d'unification des actions individuelles incluses dans l'action collective résident dans la triple identité des objectifs, des schémas tactiques applicables et des entraînements [Mahlo 74]. Ces trois facteurs doivent être présents pour permettre une coopération optimale. Comme le souligne Téodorescu, ils représentent la structure tactique fondamentale au sein du système de jeu [Téodorescu 77].

Au sein d'un rapport d'opposition donné, il s'agit de coordonner les actions afin de récupérer, faire progresser la balle et marquer [Gréhaigne 89].

D'un point de vue spatio-temporel, il convient de résoudre :

- en attaque, des problèmes de conservation individuelle et collective de la balle, afin de franchir ou éviter les obstacles,
- en défense, des problèmes de production d'obstacles afin de gêner ou stopper le déplacement du ballon, et éventuellement des joueurs adverses, en vue de sa récupération.

Deleplace appuie ses travaux sur une analyse très pertinente du rugby à XV pratiqué au plus haut niveau international [Deleplace 90] [Deleplace 91] et considère qu'un match n'est rien d'autre que le résultat de la confrontation des matrices offensive et défensive de chaque équipe [Deleplace 72] [Deleplace 79].

Une étude en situation réelle permet de mieux le caractériser par :

- l'esprit qui le fonde,
- le règlement qui institutionnalise cet esprit,
- la logique interne des comportements qui en découle.

En effet, le règlement conditionne les rapports d'opposition : il explicite la marge de manoeuvre à l'intérieur des contraintes imposées. Les règles de base sont caractérisées à la fois par :

- la marque : des caractéristiques de la cible dépend la logique du règlement,
- les droits des joueurs en situation offensive et défensive,
- le degré de liberté sur le ballon du point de vue de d'action : il permet de "faire vivre" le jeu en favorisant la continuité des mouvements.

B- l'approche théorie de l'information

C'est Parlebas [Parlebas 81] qui a proposé la définition de la notion d'équipe selon ce point de vue : communication entre partenaires, et contre-communication destinée aux adversaires, et ce, au sens des communications motrices.

De ce typage des relations est issue une approche nouvelle en termes de graphes, avec des résultats très intéressants [Parlebas 76a] [Parlebas 76b] [Parlebas 76c] [Parlebas 86].

De ce fait, l'équipe est vue comme un groupe de joueurs qui communique et s'oppose à un autre groupe, tel que chaque joueur, en possession ou non de la balle, est porteur d'information pour ses partenaires et adversaires.

Chaque équipe est caractérisée par un taux d'entropie qui traduit le degré d'organisation du groupe. Révélateur du fonctionnement collectif, il doit néanmoins rester dans des valeurs acceptables pour permettre le match. Trop d'ordre impliquerait en effet une stratégie aisée de contre pour l'adversaire, tandis que trop de désordre induirait des aléas insurmontables entre partenaires.

L'incertitude est donc une notion importante qui comprend trois composantes complémentaires :

- la composante spatiale,
- la composante temporelle,
- la composante évènementielle, au sens de la succession d'événements.

La prise d'information équivaut à la réduction d'une ou plusieurs de ces composantes. Sur le plan tactique, chaque équipe a dès lors un objectif précis qui réside dans la minimisation quantitative et qualitative de l'incertitude adverse.

Étudions alors le réseau de communication associé, modélisé par un graphe orienté valué $G = (X, U, v)$ où la valuation est probabiliste i.e. $v(x_i, x_j) \in [0,1]$ pour tout $(x_i, x_j) \in U$:

Si l'on observe que le joueur i fait une passe au joueur j une fois sur n alors $\text{Proba}(x_i, x_j) = 1/n$

cas particuliers : $n \in \{0, 1, 2\}$

1 - événement impossible

si le joueur i ne passe jamais la balle au joueur j alors $\text{Proba}(x_i, x_j) = 0$

2 - événement certain

si le joueur i passe toujours la balle au joueur j alors $\text{Proba}(x_i, x_j) = 1$

3 - événement équiprobable

si le joueur i passe la balle au joueur j 1 fois sur 2 alors $\text{Proba}(x_i, x_j) = 0,5$

cas général : $n > 2$

Pour les deux premières valeurs particulières de probabilité, le maximum d'information est donné à l'adversaire puisque l'incertitude est alors nulle.

Il faut de ce fait résoudre les problèmes liés à la production maximale d'incertitude pour l'adversaire et minimale entre partenaires. Tout stéréotypage du jeu aboutit inévitablement à une restriction de l'incertitude au voisinage de zéro, alors que les changements de rythme d'un jeu varié provoquent une grande incertitude chez l'adversaire, si l'on suppose évidemment que les partenaires, avec ou sans ballon, disposent à la fois d'informations cohérentes et complètes sur chacun des schémas tactiques appliqués.

1.2. Quelques classifications

Voici les critères généralement retenus [Parlebas 76a] [Parlebas 81] [Parlebas 86], en distinguant les critères purement syntaxiques des critères sémantiques, liés à la logique interne du jeu qui sous-tend les comportements :

1 - surface (syntaxique) :

- à l'air libre,
- couverte,
- aménagée.

2 - nombre de passes entre coéquipiers (syntaxique) :

- limité,
- illimité.

3 - terminaison (syntaxique) :

- temps-limite : rugby, football, hockey,
- score-limite : volley, tennis, tennis de table.

4 - nature du jeu (sémantique) :

- de circulation : rugby, football, hockey,
- de rebond : basket-ball, hand-ball,
- de renvoi : volley, tennis, tennis de table.

5 - violence du jeu (syntaxique) :

- rude : football, hockey,
- de combat : rugby,
- violent : football américain.

Parmi cet ensemble de critères, on peut uniquement en retenir un seul, ou bien en combiner plusieurs.

Conquet et Devaluez [Conquet & Devaluez 78] [Conquet & Devaluez 82] proposent, quant à eux, trois classes de sports collectifs :

- de combat collectif (notamment le rugby et ses variantes),
- de renvoi (le volley-ball, le tennis ou le tennis de table),
- de démarquage i.e. la règle du hors-jeu existe et autorise la défense de zone. Le représentant le plus connu de cette classe est sans aucun doute le football.

Pour une description plus détaillée, on peut se reporter à [Conquet 88].

2. LANGAGE DE DESCRIPTION D'UN MATCH

2.1. Notation BNF et Expressions Régulières

La notation BNF, proposée par Backus lors de ses travaux sur le langage Algol 60, [Backus 59] est prise en compte en tant que variante des grammaires context-free, précédemment introduites par Chomsky [Chomsky 56] [Chomsky 59] [Chomsky 63] qui est aujourd'hui considéré comme le précurseur de la linguistique computationnelle [Hopcroft & Ullman 79].

Le sigle BNF, initialement mis pour "Backus Normal Form", correspond en fait à "Backus Naur Form" pour souligner la contribution de Naur [Naur 60] [Naur 63].

Ce formalisme est à présent communément adopté en spécification formelle des langages de programmation [Lee 72] [Williams 80] [Williams 81] [Meek 90].

Les notations sont les suivantes [Pagan 81] [Aho et al. 89] :

- les variables méta-linguistiques sont encadrées des symboles "<" et ">" et souvent notées en lettres majuscules,
- les terminaux se notent tels quels en minuscules,
- le symbole "::=" (parfois "->") a pour sémantique : "se réécrit en", et correspond à l'opérateur usuel de dérivation,
- l'opérateur de disjonction (dans le membre droit) est noté "|".

Les Expressions Régulières (ERs) sont un autre formalisme dont on n'utilisera ici que les opérateurs de concaténation, noté ".", et d'itération où :

- "?" signifie 0 ou 1 fois,
- "*" signifie de 0 à n fois ($n > 0$),
- "+" signifie de 1 à n fois ($n > 1$).

2.2. Modélisation pour une classe de sports collectifs

La classe de sports collectifs, à laquelle nous limiterons notre étude, correspond à la celle de circulation de balle dont les représentants les plus connus suivent :

- football : européen (soccer), américain,
- rugby : à XV, à XIII, australien,
- basket-ball,
- hand-ball, water-polo,
- hockey : sur glace, sur gazon,
- polo.

Sur cette classe, le codage s'effectue de la façon suivante, en considérant un ensemble de règles syntaxiques guidées par la sémantique du match :

- un *match* est vu comme une suite non vide de mouvements offensifs et de réponses défensives correspondantes, puisque l'on se place du point de vue de la pertinence du jeu offensif d'une équipe. Toute décision offensive, individuelle ou collective, implique des décisions défensives adaptées ou non. En termes informatiques, on peut distinguer deux processus concurrents qui communiquent en permanence par la relation binaire d'opposition notée "<->" selon les conventions d'écriture de Deleplace : processus d'attaque de l'équipe

étudiée <--> processus défensif de l'équipe adverse, tels que la tâche principale est celle d'attaque, celle de défense étant vue comme une conséquence.

- un *mouvement offensif* correspond au tryptique classique :

- conquête du ballon { début de la séquence }
- utilisation du ballon { séquence de jeu proprement dite }
- perte du ballon ou interruption de l'arbitre { fin de la séquence }

- la *réponse défensive* associée est caractérisée en termes collectifs d'un point de vue général : formes plutôt regroupée ou plutôt étalée, comme conséquence de l'action offensive.

2.3. Application au rugby à XV

Comme nous venons de le préciser, pour chacune des équipes (équipe A ou équipe B), il existe deux tâches parallèles : les processus d'attaque et de défense.

Ici on se place uniquement du point de vue d'une équipe et l'on n'étudie que son jeu offensif. On considère donc le processus attaque A et, comme conséquence, le processus défense B. Selon la terminologie de Deleplace [Deleplace 72] [Deleplace 79], on se limite ainsi aux matrices offensive A et défensive B résultante.

En utilisant les notations BNF et ER que l'on combine ici, on peut donner les productions BNF du langage de spécification de tout match de la classe de sports collectifs ici considérée. Cette grammaire formelle est issue de l'axiome <MATCH> [Villepreux 85] [Villepreux 87] [Villepreux 88a] [Villepreux 88b] [Villepreux 89] [Villepreux 91] [Peys 90] :

1. <MATCH> ::= (<MVT OFFENSIF> <REPOSE DEFENSIVE collective de l'adversaire>)⁺
2. <REPOSE DEFENSIVE> ::= plutôt regroupée | plutôt étirée latéralement
3. <MVT OFFENSIF> ::= <CONQUETE> <EXPLOITATION> <ARRET>
4. <CONQUETE> ::= <GAIN DU BALLON>
5. <GAIN DU BALLON> ::= <GAIN issu du JEU> | <GAIN issu du REGLEMENT>
6. <GAIN issu du JEU> ::= Mêlée | <TOUCHE> | Pénalité | <RECUPERATION>
7. <GAIN issu du REGLEMENT> ::= Envoi | Renvoi
8. <TOUCHE> ::= Classique | Raccourcie
9. <RECUPERATION> ::= Contre-attaque | sur Regroupement provoqué par l'adversaire
10. <EXPLOITATION> ::= <SEQUENCE DE JEU>
11. <SEQUENCE DE JEU> ::= (<MVT DYN.>)^{*} |
(<MVT DYN.> ^{*} <ARRET du MVT du BALLON>)^{*}
12. <ARRET du MVT du BALLON> ::= <POINT de FIXATION>
13. <POINT de FIXATION> ::= Regroupement temporisé | Regroupement Dynamique
14. <MVT DYN.> ::= <JG> | <JD> | <JP> { Mouvement des joueurs & du ballon }
15. <JG> ::= Jeu Pénétrant privilégiant l'Axe Profond
16. <JD> ::= Jeu Contournant privilégiant l'Axe Latéral | Jeu Pénétrant privilégiant l'Axe Latéral
17. <JP> ::= Jeu Offensif en vue de la récupération du ballon botté { Up and Under }
18. <ARRET> ::= Perte du ballon | <INTERRUPTION ARBITRAGE>
19. <INTERRUPTION ARBITRAGE> ::= Sortie du ballon | Faute de Jeu | <MARQUE>
20. <MARQUE> ::= Pénalité réussie | Drop réussi | Essai { Essai avec ou sans transformation réussie }

3. AUTOMATE DE SPÉCIFICATION D'UN MATCH

3.1. Formalisation en théorie des graphes

Une telle démarche se situe dans la lignée des travaux et de la contribution de Parlebas [Parlebas 85] qui a utilisé les graphes comme outil de modélisation aussi bien pour l'étude des sports, individuels ou collectifs, que pour celle des jeux sportifs traditionnels et ce, essentiellement du point de vue de la communication motrice [Parlebas 76a] [Parlebas 76b] [Parlebas 76c] [Parlebas 86]. La théorie proposée est usuellement connue sous le nom de Science de l'Action Motrice [Parlebas 81].

En effet, pour formaliser des tâches en interaction ou simplement rendre compte de structures relationnelles, une analyse en termes de graphes semble tout à fait judicieuse. Cette approche est suffisamment générale pour pouvoir être appliquée à la description de processus statiques ou dynamiques.

3.2. Modélisation pour la classe de sports collectifs considérée

On distingue un automate général dont les noeuds sont des sous-automates, si bien que la structure sous-jacente n'est rien d'autre qu'un automate d'automates.

Par automate, on désigne un graphe orienté modélisant le fonctionnement d'une structure dynamique [Harary 69] [Chen 71] [Berge 73] [Even 79] [Gondran & Minoux 85].

L'automate général de description d'un match admet :

- un seul type de lien : le lien de continuité, correspondant à la fluidité du jeu,
- deux états : un état initial, correspondant aux phases statiques de mises en jeu ou de remises en jeu, noté I et un état final, correspondant aux phases de jeu dynamiques, noté F,
- deux arcs : un issu de chaque état.

Cet automate est général et peut être appliqué à la description de tout match de la classe des sports collectifs de circulation de balle.

Chaque état, qui correspond à son tour à un ou plusieurs automates, est à expliciter en fonction du représentant choisi.

Conventions préliminaires :

On notera dans toute la suite :

- Lien (x_i) l'ensemble des transitions issues de l'état x_i
 - $\langle A \rangle$ l'automate A
 - Initial ($\langle A \rangle$) l'ensemble des états initiaux de $\langle A \rangle$
 - Final ($\langle A \rangle$) l'ensemble des états finaux de $\langle A \rangle$
- Enfin, $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$ ($n > 1$).

Avec ces notations, l'automate général $\langle A \rangle$ est précisé formellement par les relations suivantes :

1. $x_1 = \langle F \rangle$
2. $x_2 = \langle I \rangle$
3. Lien (x_1) = $\{ (x_1, x_2) \}$
4. Lien (x_2) = $\{ (x_2, x_1) \}$
5. Initial ($\langle A \rangle$) = Initial ($\{x_1, x_2\}$) = $\{ x_2 \}$
6. Final ($\langle A \rangle$) = Final ($\{x_1, x_2\}$) = $\{ x_1 \}$

Sa représentation graphique est donnée en Annexe A.

3.3. Application au rugby à XV

Nos hypothèses sont les suivantes :

- Toute *phase dynamique* équivaut à un mouvement des joueurs et du ballon.
- Toute *phase semi-dynamique* équivaut à un arrêt du mouvement du ballon.
- Toute *phase statique* équivaut à un arrêt de jeu.

En se plaçant du seul point de vue du jeu d'attaque pour l'équipe observée, le potentiel de balles utilisables (PBU), qui alimente ce jeu, est issu de deux sources :

- 1 - *le règlement*, par l'intermédiaire de l'arbitre : il va approvisionner les phases de jeu statiques,
- 2 - *l'adversaire*, par l'intermédiaire des récupérations de balle, à partir :
 - des points de fixation, qui constituent des phases semi-dynamiques et qui alimentent les phases dynamiques,
 - des contre-attaques, qui génèrent du jeu dynamique.

Muni de ces conventions, l'automate de description d'un match en rugby à XV admet :

- trois états :
 - *un état initial*, associé aux phases statiques issues des décisions d'arbitrage, noté PS. Il correspond à l'automate <I> du cas général.
 - *deux autres états finaux*, associés aux phases de jeu dynamique et semi-dynamique, respectivement notés PD et PSD. Ils correspondent à l'automate <F> du cas général.
- cinq arcs : deux issus de chaque état final, et un seul de l'état initial.

Avec les notations précédentes, l'automate <R> est précisé formellement par les relations suivantes :

1. $x_1 = \langle PD \rangle$
2. $x_2 = \langle PSD \rangle$
3. $x_3 = \langle PS \rangle$
4. Lien (x_1) = { (x_1, x_2), (x_1, x_3) }
5. Lien (x_2) = { (x_2, x_1), (x_2, x_3) }
6. Lien (x_3) = { (x_3, x_1) }
7. Initial (<R>) = Initial ({ x_1, x_2, x_3 }) = { x_3 }
8. Final (<R>) = Final ({ x_1, x_2, x_3 }) = { x_1, x_2 }

Il n'existe pas de transition des phases statiques vers les phases semi-dynamiques, le lien s'effectuant alors par l'intermédiaire des phases de jeu dynamiques (chemin de longueur deux).

Sa représentation graphique est donnée en Annexe B.

Les sous-automates qui suivent correspondent à chacun des noeuds de l'automate <R> du rugby à XV :

- *Sous-automate des phases de jeu dynamiques*, donné en Annexe C : il est composé de trois sommets :

- Jeu Groupé, noté JG,
- Jeu Déployé, noté JD,
- Jeu au Pied, noté JP.

Il y a ici, par définition, ni état initial ni état final.

Tous les sommets sont reliés bidirectionnellement, et admettent un arc de réflexivité, ce qui signifie que toute phase de jeu dynamique peut succéder à toute autre, y compris elle-même : il s'agit alors d'une occurrence différente, mais de même type.

- *Sous-automate des phases de jeu semi-dynamiques*, donné en Annexe D : il est composé de deux sommets :

- Ruck (ou Mêlée Ouverte), noté MO,
- Maul, noté MA.

Il y a ici, par définition, ni état initial ni état final.

Les liens qui existent sont l'arc de réflexivité sur MA et l'arc (x_0, x_1) = (MA, MO).

- *Sous-automate des phases de jeu statiques*, donné en Annexe E : il est composé de quatre sommets :

- Pénalité, noté P,
- Mêlée, noté M,
- Touche, noté T,
- Envoi, noté E,
- Renvoi, noté R.

E est le seul état initial, car il correspond à l'unique événement "coup d'envoi du match".

Les sommets P et M sont reliés bidirectionnellement et admettent un arc de réflexivité, ce qui signifie que l'arbitre peut décider de faire rejouer, dans ce cas, une phase de jeu identique à la précédente.

Les autres liens sont les arcs d'origine T, E, R et d'extrémité P.

Avec les notations précédentes, on obtient formellement pour la définition des sous-automates ici envisagés :

Sous-automate <PD> :

1. $x_{11} = \{ JG \}$
2. $x_{12} = \{ JD \}$
3. $x_{13} = \{ JP \}$
4. Lien (x_{1i}) = $\{(x_{1i}, x_{1j})\}$ pour tout $(i, j) \in [3] \times [3]$.
5. Initial (<PD>) = Initial ($\{x_{11}, x_{12}, x_{13}\}$) = $\{ \}$.
6. Final (<PD>) = Initial (<PD>)

Sous-automate <PSD> :

1. $x_{21} = \{ MA \}$
2. $x_{22} = \{ MO \}$
3. Lien (x_{21}) = $\{(x_{21}, x_{21}), (x_{21}, x_{22})\}$
4. Initial (<PSD>) = $\{ \}$
5. Final (<PSD>) = Initial (<PSD>)

Sous-automate <PS> :

1. $x_{31} = \{ P \}$
2. $x_{32} = \{ M \}$
3. $x_{33} = \{ T \}$
4. $x_{34} = \{ E \}$
5. $x_{35} = \{ R \}$
6. Lien (x_{31}) = $\{(x_{31}, x_{32})\}$
7. Lien (x_{3i}) = $\{(x_{3i}, x_{31})\}$ pour tout $i \in \{2, 3, 4, 5\}$.
8. Initial (<PS>) = $\{ x_{34} \}$
9. Final (<PS>) = $\{ \}$

4. CONCLUSION : INTÉRÊT D'UNE TELLE FORMALISATION.

Une analyse formelle faisant appel à des modèles issus de l'informatique théorique a donc été développée.

Pour ce qui est de l'approche en termes de graphes, nous avons su mettre en évidence, par delà les phénomènes classiques observables, des graphes implicitement sous-jacents et dégager quelques propriétés structurelles caractéristiques. Par exemple, une clique K_3 pour le sous-automate <PD> des phases de jeu dynamiques en rugby à XV. De telles structures fondamentales ont été mises en relief en raisonnant uniquement sur des graphes orientés non valués, car ici toute valuation serait redondante.

Pour ce qui est de l'approche spécification formelle, nous avons défini un langage de description suffisamment général pour pouvoir être appliqué à tout match de la classe des sports collectifs de circulation de balle. Il suffit pour cela de modifier les sous-automates en fonction du

règlement et des phases de jeu caractéristiques du représentant choisi, ce qui assure, outre une généralité indéniable, une grande souplesse d'utilisation. Ceci garantit en outre de nombreuses applications potentielles.

Explicitons également les multiples intérêts du formalisme de représentation adopté. D'une part, les règles lexico-syntaxiques des langages sont communément comprises et peuvent être formellement explicitées par leur grammaire, sous forme d'un ensemble de productions BNF, avec utilisation des Expressions Régulières. Une telle notation possède en effet le double avantage d'être à la fois facilement compréhensible et largement acceptée par la communauté scientifique. Enfin, il existe de nombreux algorithmes de génération automatique d'analyseurs à partir de la définition BNF d'un langage quelconque.

BIBLIOGRAPHIE

[Aho et al. 89] — AHO, A., SETHI, R. & ULLMAN, J., *Compilateurs : principes, techniques et outils*. Paris, Inter-éditions, Juillet 1989. Traduction française de l'ouvrage : *Compilers. Principles, Techniques, and Tools*, Reading, Addison-Wesley, Mass., March 1986.

[Backus 59] — BACKUS, J.W., "The syntax and semantics of the proposed International Algebraic Language of the Zürich ACM-GAMM Conference", *Proceedings of the International Conference on Information Processing*, UNESCO, 1959, 125-132.

[Berge 73] — BERGE, C., *Graphes et hypergraphes*, Deuxième édition, Paris, Dunod, 1973.

[Chen 71] — CHEN, W.K., *Applied Graph Theory*, Amsterdam, North-Holland et New York, American Elsevier Publ., 1971.

[Chomsky 56] — CHOMSKY, N., "Three models for the description of language", *IRE Trans. on Information Theory*, Vol.2, n°3, 1956, 113-124.

[Chomsky 59] — CHOMSKY, N., "On certain formal properties of grammars", *Information and Control*, Vol.2, n°2, 1959, 137-167.

[Chomsky 63] — CHOMSKY, N., "Formal properties of grammars", *Handbook of Math. Psych.*, Vol.2, New York, Wiley, 1963, 323-418.

[Conquet & Devaluez 78] — CONQUET, P. et DEVALUEZ, J., *Les fondamentaux du rugby*, Paris, Éditions Vigot, 1978.

[Conquet & Devaluez 82] — CONQUET, P. et DEVALUEZ, J., "L'ordre et le désordre", *Mensuel de la FFR*, n°821, 1982, 36-38.

[Conquet 88] — CONQUET, P., "La didactique du Rugby", *Rapport du Stage International de Rugby MARCIAC 88*, Sidi Bou Saïd, Tunisie, 2-9 juillet 1988, 145-229.

[Deleplace 72] — DELEPLACE, R., "L'enseignement du rugby", *Colloque des cadres techniques de la FFR*, brochure ronéotypée, 1972.

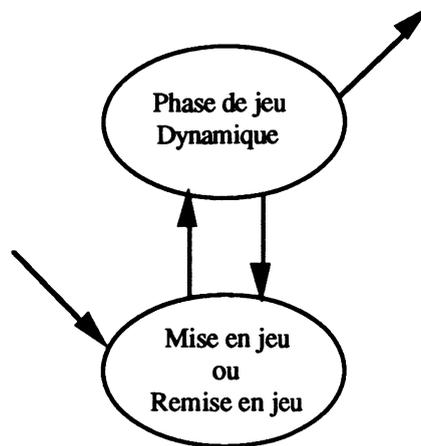
[Deleplace 79] — DELEPLACE, R., *Rugby de mouvement, rugby total*, Paris, Éditions EPS, 1979.

[Deleplace 90] — DELEPLACE, R., *Dans notre pays, comment obtenir le meilleur joueur possible ?* Forum sur la Culture Rugbystique organisé à l'occasion du Centenaire du Stade Toulousain, Toulouse, 20 décembre 1990.

- [Deleplace 91] — DELEPLACE, R., *Modélisation des phases de mouvement général*, Communication privée, Février 1991.
- [Even 79] — EVEN, S., *Graph Algorithms*, Computer Science Press, 1979.
- [Gondran & Minoux 85] — GONDRAN, M., MINOUX, M., *Graphes et algorithmes*, deuxième édition revue et augmentée, Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'EDF, Paris, Eyrolles, 1985.
- [Gréhaigne 89] — GRÉHAIGNE, J.F., *Football de mouvement : vers une approche systémique du jeu*, Thèse de Doctorat de 3ème cycle (Spécialité : Sciences & Techniques APS), Université de Bourgogne, Mars 1989.
- [Harary 69] — HARARY, F., *Graph Theory*, Reading, Mass., Addison-Wesley, 1969.
- [Hopcroft & Ullman 79] — HOPCROFT, J.E., ULLMAN, J.D., *Introduction to automata theory, languages and computation*, Reading, Mass., Addison-Wesley, 1979.
- [Lee 72] — LEE, J.A.N., "The formal definition of the BASIC language", *The Computer Journal*, Vol.15, n°1, 1972, 37-41.
- [Mahlo 74] — MAHLO, F., *L'acte tactique en jeu*, Paris, Vigot, Juillet 1974.
- [Meek 90] — MEEK, B., "The static semantics file", *SIGPLAN Notices*, Vol.25, n°4, avril 1990, 33-42.
- [Naur 60] — NAUR, P., "Report on the algorithmic language Algol 60", *Communication of the ACM*, Vol.3, n°5, 1960, 299-314.
- [Naur 63] — NAUR, P., "Revised report on the algorithmic language Algol 60", *Communication of the ACM*, Vol.6, n°1, 1963, 1-17, et aussi dans *Computer Journal*, Vol.5, 1963, 349-367.
- [Pagan 81] — PAGAN, F.G., *Formal specification of programming languages*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1981.
- [Parlebas 76a] — PARLEBAS, P., "Activités physiques et éducation motrice", 1ère édition, *Supplément à EPS*, n°139, Mai-Juin 1976. Ce supplément regroupe tous les articles publiés dans cette revue de 1967 à 1974. Deux nouvelles éditions sont parues. L'une en 1987 et l'autre en décembre 1990.
- [Parlebas 76b] — PARLEBAS, P., "Les universaux du jeu sportif collectif. Un exemple : la balle assise", *Revue EPS*, n°140, juillet-août 1976, 11-15.
- [Parlebas 76c] — PARLEBAS, P., "Les universaux du jeu sportif collectif. La modélisation du jeu sportif", *Revue EPS*, n°141, septembre-octobre 1976, 33-37.
- [Parlebas 81] — PARLEBAS, P., *Contribution à un lexique commenté en science de l'action motrice*, Paris, Publications INSEP, 1981.
- [Parlebas 85] — PARLEBAS, P., "Texte de présentation de Thèse de Doctorat d'Etat" (Spécialité : Lettres et Sciences Humaines) intitulée *Psychologie Sociale et Théorie des Jeux. Etude de certains jeux sportifs*, Université de Paris V et École Pratique des Hautes Études, soutenue à la Sorbonne en Octobre 1984, *Revue STAPS*, Vol.6, n°12, décembre 1985, 85-90.

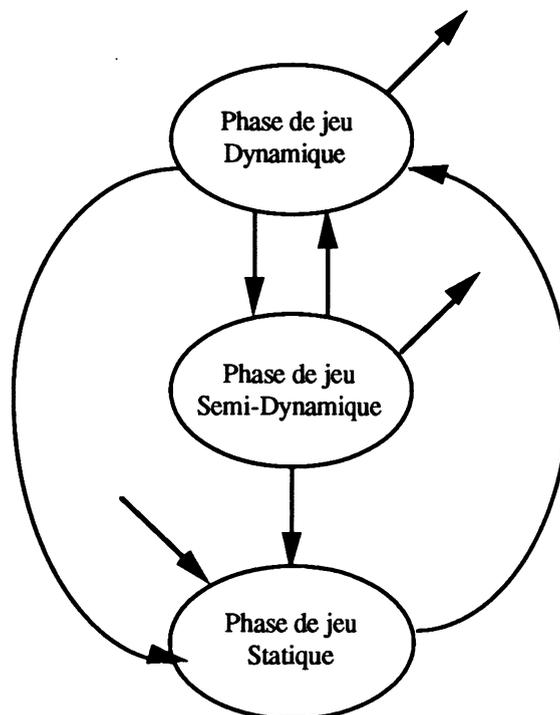
- [Parlebas 86] — PARLEBAS, P., *Éléments de sociologie du sport*, Paris, Presses Universitaires de France, Juin 1986.
- [Peys 90] — PEYS, J.P., *Rugby total et entraînement*, Paris, Vigot, Février 1990.
- [Téodorescu 77] — TÉODORESCU, L., *Théorie et méthodologie des jeux sportifs*, Paris, Editeurs Français Réunis, 1977.
- [Villepreux 85] — VILLEPREUX, P., *Jeu des lignes arrières*, Communication privée, Septembre 1985.
- [Villepreux 87] — VILLEPREUX, P., *Rugby de mouvement et disponibilité du joueur*, Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de l'INSEP, 1987.
- [Villepreux 88a] — VILLEPREUX, P., "Disponibilité du joueur", *Rapport du Stage International de Rugby MARCIAC 88*, Sidi Bou Saïd, Tunisie, 2-9 juillet 1988, 107-120.
- [Villepreux 88b] — VILLEPREUX, P., "Débat avec Herrero, Quilis et Barrière", *Rapport du Stage International de Rugby MARCIAC 88*, Sidi Bou Saïd, Tunisie, 2-9 juillet 1988, 100-106.
- [Villepreux 89] — VILLEPREUX, P., "Entraînement pour un rugby moderne", *Actes des IIIèmes Journées Internationales d'Automne de l'ACAPS*, (conférence invitée), Poitiers, 29-31 octobre 1989, 127.
- [Villepreux 91] — VILLEPREUX, P., *Le Rugby*, Denoël, Paris, ouvrage à paraître en septembre-octobre 1991.
- [Von Bertalanffy 80] — Von BERTALANFFY, L., *Théorie générale des systèmes*, Paris, Dunod, 1980.
- [Williams 80] — WILLIAMS, M.H., "A formal notation for specifying Static Semantic Rules", *Computer Languages*, Vol.5, n°1, 1980, 37-55.
- [Williams 81] — WILLIAMS, M.H., "Methods for specifying Static Semantics", *Computer Languages*, Vol.6, n°1, 1981, 1-17.

ANNEXE A



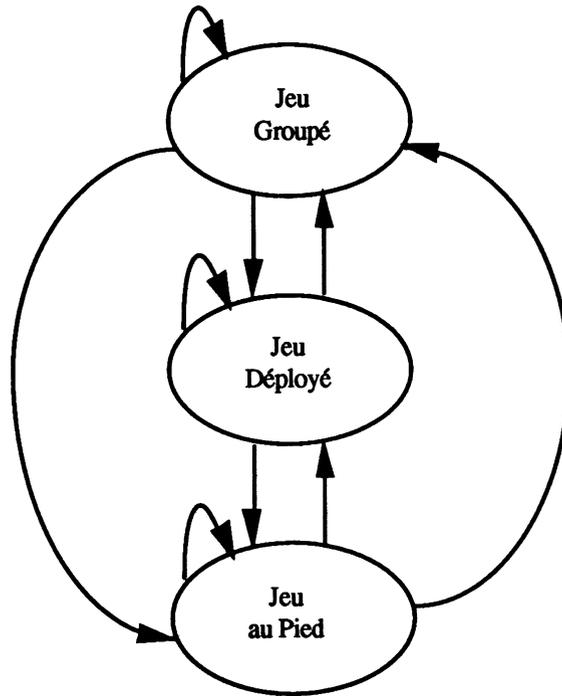
Automate de spécification d'un match
pour la classe de sports collectifs
considérée.

ANNEXE B



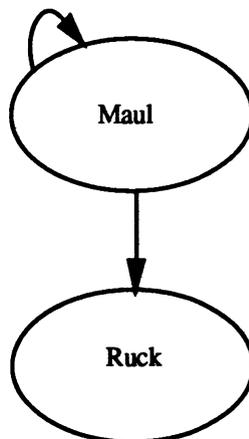
Automate de spécification d'un match
en Rugby à XV.

ANNEXE C



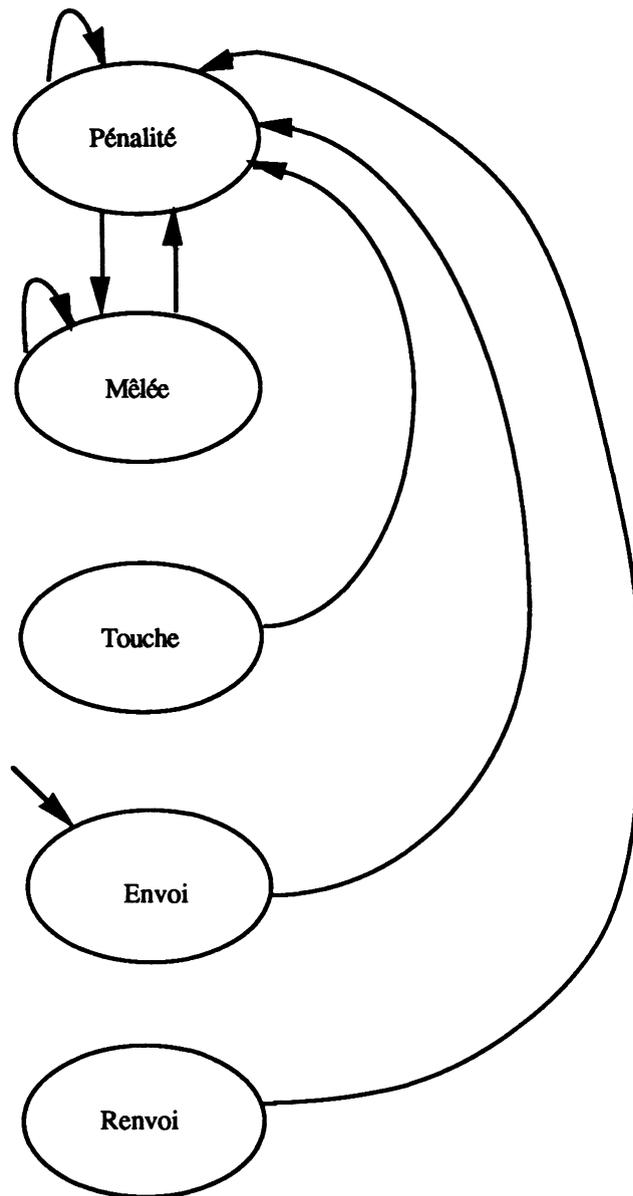
Sous-automate des phases de jeu dynamiques en Rugby à XV.

ANNEXE D



Sous-automate des phases de jeu semi-dynamiques en Rugby à XV.

ANNEXE E



Sous-automate des phases de jeu statiques
en Rugby à XV.