

GIL DENIS

ALAIN PIZZINATO

**Formalisation des connaissances pour la simulation du
service-retour en tennis : le système lift**

Mathématiques et sciences humaines, tome 121 (1993), p. 5-21

http://www.numdam.org/item?id=MSH_1993__121__5_0

© Centre d'analyse et de mathématiques sociales de l'EHESS, 1993, 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/>

FORMALISATION DES CONNAISSANCES POUR LA SIMULATION DU SERVICE-RETOUR EN TENNIS : LE SYSTÈME LIFT. ¹

Gil DENIS et Alain PIZZINATO ²

RÉSUMÉ— *Dans cet article, nous présentons les aspects essentiels de la modélisation du processus décisionnel des joueurs de tennis dans une phase particulière de ce jeu sportif: le service - retour. Notre démarche se focalise sur la représentation des connaissances s'exerçant dans un continuum temporel scindé en micro-cycles et sur la construction de structures permettant d'envisager l'auto-apprentissage des caractéristiques technico-tactiques des joueurs par le système. Elle s'appuie sur la mise en oeuvre d'une expertise du domaine constitué par un entraîneur-formateur. La modélisation envisagée est entièrement conditionnée par le souci de rendre opérationnel un outil informatique de simulation de la phase de service -retour à des fins d'évaluation sportive.*

ABSTRACT — *Knowledge representation for the simulation of the serve-return phase in tennis : "LIFT" System. In this article we are disclosing the main aspects of tennis players' decision-making modelling in a specific phase of game : serve and return. Our approach is focusing on knowledge representation throughout a continuous operating period divided in micro-cycles and on knowledge structuration allowing us to conceive any player's self-learning process through the system as far as tactical decision making features are concerned. It is relying on an expert probation of the field by a coach/teacher. The conceived formal model is thoroughly subjected to one concern enabling a computer simulator to become operational during the phase serve - return of serve in order to provide sport assessment.*

1. INTRODUCTION ET MOTIVATIONS

Le système LIFT (Logique Informatique pour la Formalisation des connaissances en Tennis) a pour but de représenter et de simuler le processus de prise de décision de joueurs de tennis dans la phase de service - retour. Fondamentalement, il s'agit de reproduire l'estimation des caractéristiques du service, la stratégie employée (service gagnant, service sur coup faible, service excentré, effet de surprise), la zone visée (centrée, croisée, sur le joueur) et la nature du service utilisé (slice, lift, coup plat). Sa vocation est de renseigner l'entraîneur, à la fin d'une rencontre ou pendant son déroulement, sur les écarts entre les solutions tactiques de son joueur et celles d'un modèle optimal. Sa définition a donc été précédée de deux étapes : acquisition des connaissances puis formalisation au sein du modèle optimal.

Notre démarche est fondée sur une méthodologie de type "intelligence artificielle" jugée complémentaire à d'autres approches, notamment chronométrique, probabiliste et opératoire

¹ Ce travail s'est inscrit dans le cadre d'une thèse de Doctorat en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives.

² Service d'Etudes et de Recherche en Informatique Appliquée aux Activités Physiques et Sportives (SERIA)
Laboratoire d'Analyses Diversifiées des Activités Physiques et Sportives (LADAPS)
Université de NANCY 1.

[Denis & Pizzinato 92a]. Elle se situe dans la lignée des travaux visant à exploiter la connaissance humaine dans la résolution de problèmes d'ordre sportif, notamment ceux réalisés en natation sportive [Denis 88] [Payen 89] [Denis 92], en judo [Calmet & Matet 89] [Calmet 91] [Calmet & Matet 92], en rugby [Singer & Villepreux 91] [Singer et al. 91] [Singer & Villepreux 92] [Singer et al. 92a] [Singer et al. 92b], en volley [Parlebas 88] [Kraemer & Predine 91], en basket [Grosgeorges 86] [Grosgeorges et al. 91] ainsi qu'en voile avec les systèmes experts d'aide à la navigation [Gouard 93]. Elle s'appuie donc sur un cadre conceptuel lié à l'expertise d'un entraîneur [Pizzinato 89]. Ce dernier, bien que non intervenant dans la situation motrice réelle (la rencontre), est considéré comme expert. Les travaux de [Bouet 83] nous ont, en effet, conduit à renoncer à l'idée initiale d'une expertise en temps réel sur un joueur "en situation". Bien que cette démarche prenne à contre-pied «le décalage entre les idées reçues et la réalité des faits sur le terrain» observé par Parlebas en Volley [Parlebas 88], nous pensons que cet angle particulier d'analyse conduit à une connaissance plus riche. C'est toutefois sur le cadre très formel développé par cet auteur [Parlebas 81] [Parlebas 86] [Parlebas 90] que nous situons les concepts de décision, de décision tactique et de stratégie.

La formalisation du cadre conceptuel sous la forme d'un modèle optimal opératoire a donc constitué la phase la plus importante du projet LIFT. Nous nous focaliserons sur deux de ses aspects les plus représentatifs, à savoir la chronologie non linéaire des faits (concept de périodicité) et les conditions de transformation d'un modèle théorique pré-établi en un modèle optimal (concept d'auto-apprentissage).

Dans ce qui suit, nous allons tout d'abord procéder à une description des composants du cadre conceptuel avant de proposer une formalisation des procédures d'interrogation des faits manipulés. Une courte simulation permettra également de mieux comprendre le fonctionnement du système LIFT.

2. LES COMPOSANTS DU MODÈLE CONCEPTUEL.

Le choix de l'étude de la phase service-retour de service trouve son origine dans le constat de l'importance qu'elle prend actuellement dans le gain d'une rencontre. Cette problématique implique ainsi fortement les deux joueurs dans les deux rôles, serveur et relanceur. Le joueur en position de serveur est dans une situation très avantageuse et doit donc en profiter pour gagner systématiquement sa mise en jeu. Le joueur en situation de retour de service doit tout d'abord tenter de poursuivre l'échange, puis envisager le gain du service adverse, ce qui le conduit généralement au gain de la manche voire de la rencontre si l'on se trouve dans la dernière manche.

Si l'on se place maintenant du côté du relanceur, le problème décisionnel que nous rencontrons peut être défini en ces termes : compte tenu des vitesses de balles importantes produites par le joueur au service (notamment dans le cadre des premiers services) le relanceur n'a pas la possibilité matérielle d'attendre des informations provenant des caractéristiques des trajectoires de balles servies pour produire sa réponse. Il est dans l'obligation de mettre en œuvre toute une stratégie de recherche d'informations *avant* la frappe adverse de façon à préorienter voire anticiper le coup délivré par le serveur.

Dans cet esprit, l'observation de l'orientation du lancer de balle (au-dessus de la tête, devant le joueur, vers l'arrière du joueur ou vers la droite pour un serveur droitier) associée à la connaissance théorique des types de service réalisables sur tel ou tel type de lancer (par exemple un lancer de balle vers l'arrière du joueur est associé à un service lifté et un lancer de balle sur la droite d'un joueur droitier à un service slicé) permet une première possibilité de décision. Cependant, compte tenu des caractéristiques techniques individuelles des différents joueurs de tennis, cette liaison n'est pas pertinente, soit parce que le serveur lance systématiquement sa balle au même endroit tout en faisant varier la nature de son service (variation des effets et des zones atteintes) soit parce qu'il réalise des services à effets en utilisant des lancers de balle autres que ceux décrits par la théorie, soit enfin parce qu'il cherche à produire des "leures" afin de provoquer une erreur de décision chez le relanceur. A noter

cependant que ce dernier cas reste peu fréquent dans la mesure où chaque type de service possède ses contraintes sur le plan de l'exécution technique (contraintes essentiellement d'ordre biomécanique). Une modification du service dans ce sens serait dangereuse pour l'efficacité du coup délivré et il s'avère que dans la plupart des cas "le jeu n'en vaut pas la chandelle" si l'on considère qu'un premier service réalisé normalement conduit à la mise en difficulté du relanceur même si ce dernier détecte une partie des intentions du serveur.

Ce constat impose donc au relanceur de fonder sa décision sur des éléments autres que ceux saisis grâce à la prise d'information visuelle. Sans vouloir à présent aborder ce qui sera développé plus précisément dans la suite de ce travail, nous pouvons indiquer que la première information pertinente sur laquelle on peut s'appuyer concerne la connaissance préalable des caractéristiques du service de tel ou tel joueur. Pour compléter cet élément décisionnel ou pour le remplacer si les deux joueurs considérés ne se sont jamais rencontrés auparavant, nous devons faire référence à la principale source d'informations pertinentes pour les joueurs, celle que constitue l'analyse des événements qui se déroulent tout au long de la rencontre. Les joueurs mettent ainsi en œuvre une recherche de caractérisation des actions de chacun d'entre eux en situation de serveur ou de relanceur et qui porte par exemple sur les zones les plus fréquemment atteintes ou sur les types de service couramment délivrés en fonction du côté de service (droit et gauche).

Enfin, cette analyse ne peut faire l'économie d'une prise en considération d'un élément très important de toute confrontation duelle que constitue le problème de la pression subie par les joueurs en fonction de l'état du score. Mené 5 jeux à 4 par le serveur dans la manche décisive avec un score de 40 à 30 dans ce dixième jeu, le relanceur ne peut se permettre la même prise de décision approximative (ce qui peut se traduire en termes probabilistes par une option décisionnelle choisie pour une valeur de p égale à .7) que celle qu'il réaliserait à 40 à 30 pour le serveur en début de partie.

C'est donc ce type de fonctionnement "habituellement" repéré chez les joueurs de tennis dans la phase service - retour de service que nous avons tenté de comprendre, de représenter puis de simuler. Les règles utilisées matérialisent cet objectif.

La prise de décision d'un joueur est essentiellement guidée par des règles tactiques relativement universelles pour le niveau que nous étudions. Ces règles sont alimentées soit par des données stables relevant d'une connaissance préalable des caractéristiques morphologiques du joueur adverse, soit par des données instables essentiellement fondées sur des informations visuelles mais également sur des connaissances sur le niveau technique et tactique de l'adversaire. Nous sommes amenés à distinguer trois grandes classes de facteurs complémentaires [Denis & Pizzinato 92a] [Denis & Pizzinato 92b] :

- les conditions spatiales du coup : la position du serveur au moment de la frappe par rapport à la ligne médiane du court, le type de lancer de balle utilisé, la latéralité des deux joueurs, ainsi qu'une estimation de la rapidité de la surface.
- l'état des différents scores, du jeu, du set et de la rencontre, ainsi que les conditions de "pression" qu'ils engendrent sur le joueur.
- le niveau de certitude lié à la connaissance du point faible du retourneur.

Globalement il s'agit de déterminer le type de stratégie auquel va probablement recourir le serveur (*stratégie*) pour l'échange considéré. Deux facteurs sont alors prépondérants. S'il s'agit d'une première balle de service (*balle*), la probabilité d'un service gagnant est forte alors qu'une deuxième balle de service verra plutôt un service joué sur le coup faible du retourneur. La connaissance de ce point faible joue alors un rôle important. Les autres caractéristiques du service, à savoir la zone du carré de service qui sera visée (*zone_cible*), et le type d'effet qui sera utilisé (*type_balle*) découlent de la résolution de la variable *stratégie*, ainsi que de la combinaison d'autres facteurs tel que la latéralité des joueurs (*Lat_R* ; *Lat_S*). Ce cadre très général ne rend pas compte de l'impact du temps. Pourtant, deux situations ayant les mêmes caractéristiques spatiales ne seront pas interprétées de la même manière selon leur place dans la

rencontre. A priori, un joueur n'ayant pas de réussite sur des services rapides ne choisira pas le service gagnant même sur première balle, ou du moins, la probabilité sera plus faible. Il nous faut donc repérer la structure temporelle qui préside à l'organisation des faits.

3. UNE DOUBLE STRUCTURE TEMPORELLE.

L'échange est donc l'unité de temps. Nous avons affaire à l'analyse de n échanges formant une rencontre. Toute analyse Ae d'un échange repéré dans le temps d'une rencontre agit sur les analyses suivantes : $Ae_t = f(Ae_{t-1})$. Toutefois, cette action n'est pas toujours possible. Elle ne peut être efficace que lorsque le nombre de données caractérisant les échanges antérieurs est suffisant. Si nous indexons la variable t au nombre d'échanges réussis (CEr), nous pouvons poser : $Ae_t = f(Ae_{t-1})$ pour $CEr > 6$.

Il existe donc une période pendant laquelle la prise de décision est entièrement fondée sur un modèle pré-établi. Par la suite, ce modèle de base se transforme sous l'effet des n analyses mémorisant les conditions particulières qui les ont engendrées.

Toutefois, la linéarité du temps est prise en défaut par le découpage réglementaire de la rencontre en *sets* et en *jeux*. Rythmé par le score, ce découpage impose une instabilité des faits. L'échange numéro 23 au Compteur des Echanges Réussis ($CEr = 23$) peut être aussi l'échange numéro 1 du cinquième jeu et/ou l'échange numéro 2 du premier set. Au repérage absolu sur un continuum normé, nous devons donc juxtaposer un repérage en terme de période (figure 1). La valeur attribuée à un facteur aura alors une durée de vie égale à la période pour laquelle il demeure constant. Un facteur est donc lié à un statut préalablement déterminé fixant sa périodicité. Certains facteurs ont une périodicité égale à celle de la rencontre. Ils sont donc invariants. C'est le cas de *Surf_ter* caractérisant la rapidité de la surface du terrain. D'autres sont créés pendant un échange et sont inhibés à la fin de chaque jeu ou de chaque set. Par exemple, le fait *score_set_part* caractérisant le degré de pression du score de set sur l'un des joueurs verra sa valeur remise en cause uniquement à la fin de chaque set. La plupart, ont une périodicité égale à celle de l'échange. Le chapitre suivant évoquera la manière de gérer ce principe de périodicité.

Nous avons là l'essentiel de la double structure temporelle du système LIFT : d'une part un indicateur divisant le continuum en deux temps fondamentaux, et d'autre part des repères rendant compte de cycles spécifiques (ou périodes) à l'intérieur du continuum.

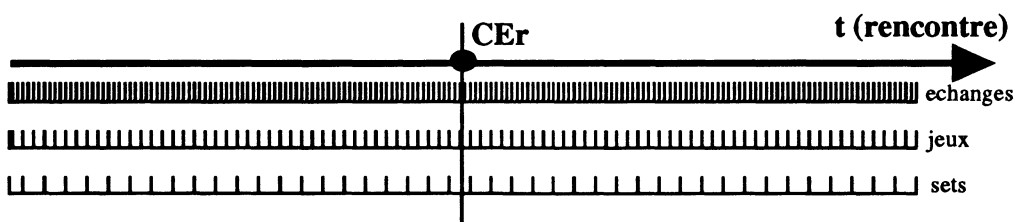


Figure 1 : Continuum et périodicité de la rencontre

4. LA FORMALISATION DES CONNAISSANCES DANS LIFT.

LIFT manipule des faits qu'il déduit de fonctions dont les algorithmes décrivent des opérations particulières. Une fonction marque la dépendance d'un fait avec d'autres faits. Fondamentalement, elle présente les mêmes caractéristiques que les règles de production des systèmes experts puisqu'elle contient les conditions de déclenchement et les effets de l'opération qu'elle supporte. La fonction $Surf_ter := f(terrain)$, par exemple, stipule que le fait *Surf_ter* est conditionné par une règle manipulant le fait terrain (ou argument de la fonction). Ce fait, après activation de sa fonction, est soit renseigné par une valeur reconnue, soit conserve

sa valeur d'initialisation *IND* signifiant qu'il est inconnu dans la pseudo base de faits. Systématiquement, la valeur d'un fait est accompagnée d'un coefficient de vraisemblance *p_fait*. La figure 2 donne un exemple de la représentation de la fonction évoquée ici.

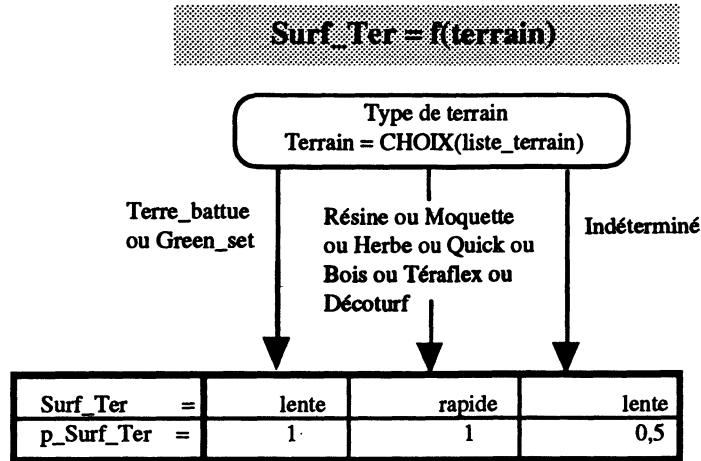


Figure 2 : Représentation de la fonction $\text{Surf_Ter} = f(\text{terrain})$

Une fonction est activée par une autre fonction d'un niveau plus général ou plus élevé. Le processus de déclenchement de la recherche des caractéristiques d'une analyse est lui-même une fonction. Nous disposons donc des fonctions de base suivantes :

$\text{stratégie} := f(\text{balle}, \text{pos_serveur}, \text{phase_attente}, \text{PtFa})$
 $\text{zone_cible} := f(\text{stratégie}, \text{phase_attente})$
 $\text{type_balle} := f(\text{stratégie}, \text{zone_cible}, \text{RapLat})$

Notons que ces trois fonctions sont hiérarchisées dans la mesure où il existe un effet de dépendance descendant. Cette hiérarchisation est régie par la fonction ayant le plus haut niveau dans LIFT : $\text{conclusion_analyse} := f(\text{stratégie}, \text{zone_cible}, \text{type_balle})$.

A côté de ces fonctions décrivant des opérations spécifiques sur les faits, existent des fonctions plus générales comportant des algorithmes de gestion de listes. Ces fonctions reposent sur un principe important du système LIFT : aucun fait ne peut comporter une valeur inhabituelle. Cela signifie qu'en l'absence d'informations déduites le système procède à une demande à l'utilisateur par l'intermédiaire d'une liste comportant l'ensemble des possibles (y compris la valeur '*indéterminé*') du domaine du fait. Le recours à la valeur '*indéterminé*' conduit d'abord à une diminution de la probabilité liée au fait, puis à une non analyse lorsque l'ensemble des faits "déclencheurs" d'une fonction de base sont inférieurs à 0,5 (sur une échelle allant de 0 à 1).

Un troisième type de fonctions est implanté dans LIFT. Il s'agit des fonctions d'interrogation de matrices. Elles rendent compte de la nécessité de moduler l'effet des règles pour tenir compte des analyses précédentes. Fortement impliquées dans le phénomène d'auto-apprentissage, nous les étudierons dans le chapitre suivant.

Enfin, le dernier type de fonction concerne la gestion de la périodicité des faits. Ce processus nécessite la mise en place de structures aptes à situer les moments de rupture des périodes (*fin de l'échange, fin du jeu, fin du set*). Par exemple, la fin d'un jeu sera évaluée par la fonction $\text{Fin_Jeu} := f(\text{score_jeu}, \text{gagnant})$ (figure 3) interrogeant le score du jeu ainsi que le statut du gagnant. Ces fonctions permettent donc de détecter les fins de périodes significatives et de procéder à l'inhibition des faits en fonction de leur périodicité particulière. Cette manière de procéder s'inspire des principes de la méthode REMORA de gestion des systèmes d'informations incluant la notion de temps [Rolland et al. 88]. Paradoxalement, la fonction de destruction du fait se nomme *initialise*. Cela provient du fait qu'utilisant un langage

algorithmique, nous procédons, en définitive, à une initialisation de variable. Par exemple, lorsque la fin d'un échange sera détecté, le fait *stratégie* sera initialisé de la sorte : *stratégie* := *initialise(IND)*. Recevant la valeur *IND*, sa fonction sera interrogée, créant ainsi le moteur du système. Toutefois, certains faits ne suivent pas cette logique, soit parce que leur valeur d'initialisation doit tenir compte de leur ancienne valeur, c'est le cas de tous les compteurs d'échanges, soit parce que le règlement du tennis impose une alternance de leur valeur comme pour le côté de service. Dans ce cas, le fait n'est pas initialisé mais mis à jour par une fonction *mise_a_jour*. Nous comprenons alors que chaque fait est non seulement lié à un statut de périodicité, mais également à une valeur d'initialisation et à un statut de mise à jour. La fonction *mise_a_jour* n'est ni plus ni moins qu'un algorithme donnant la valeur suivante dans la liste caractérisant le fait avec un effet de boucle dans le cas d'un domaine limité. Par exemple, le fait *CEr* (compteur des échanges réussis) verra sa valeur incrémentée d'une unité parce que son domaine correspond aux entiers infinis, alors que le fait *Cote_s* (caractérisant le côté du service) prendra ses valeurs alternativement dans un ensemble délimité composé des éléments 'droite' et 'gauche'.

Notons également que la valeur de certains faits est mémorisée dans des tableaux de données avant d'être initialisée. Il est donc possible d'interroger leur histoire récente (seuls les valeurs des trois derniers échanges sont conservées) pour en déduire une certaine permanence. Cette interrogation repose sur la tendance des joueurs à répéter un coup gagnant mais également à le faire varier après x répétitions pour ne pas habituer l'adversaire. L'analyse systématique des trois derniers échanges permet de renseigner sur l'existence d'une continuité des coups. Dans ce cas, le modèle général sera court-circuité par un modèle plus simple proposant directement une solution soit de continuité, soit de rupture. Cette procédure porte le nom de *sur_analyse*. Elle est représentée par une fonction nommée *conclusion_sur_analyse* de même niveau que la fonction *conclusion_analyse*.

Nous avons là un système capable de raisonner ponctuellement sur une situation donnée (*conclusion_analyse*) et à court terme sur la continuité des comportements (*conclusion_sur_analyse*). Il nous manque alors une structure susceptible de déduire des informations sur les comportements à long terme.

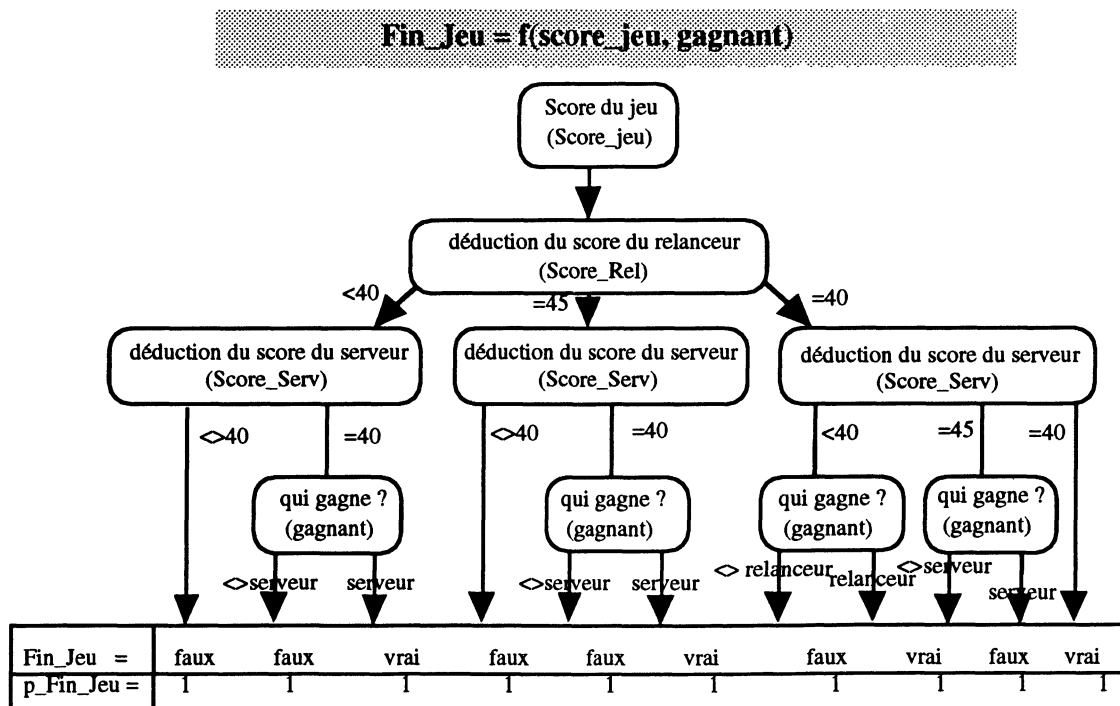


Figure 3 : Représentation d'une des fonctions repérant la fin d'une période.

5. LES OPÉRATIONS ASSOCIÉES AUX MATRICES.

L'originalité du système LIFT et certainement sa pertinence, reposent sur sa possibilité de relativiser le modèle théorique de base en fonction des analyses antérieures. Le mécanisme de raisonnement est donc figé tant que l'indicateur *phase_attente* (booléen) stipule que le nombre de données recueillies est insuffisant, puis se libère des règles prédéterminées. L'expert définit donc des situations typiques qu'ils souhaite voir mémoriser et la manière d'interroger cette mémoire. Par exemple, à chaque fois que le serveur utilise une stratégie de type *service_gagnant*, une structure conserve en mémoire les éléments caractérisant cette situation précise, à savoir la zone qui a été visée (*zone_cible*) et le côté du service (*Cote_s*). La structure est une matrice à n dimensions qui rend compte de la situation précisée par l'expert par l'intermédiaire des dimensions qui la composent. Comme langage de représentation, nous faisons appel au formalisme de la logique des prédicats (ou logique du premier ordre). Ce formalisme, fondé sur la quantification des propositions, est muni des deux opérateurs de base que sont les quantificateurs universel $\forall$ et existentiel $\exists$. Soient x, y, z trois éléments quelconques des ensembles X, Y, Z respectivement associés aux dimensions de la matrice M . Il vient au sein du formalisme de la logique d'ordre 1 : $(\forall x \in X) (\forall y \in Y) (\forall z \in Z)$ le prédicat $M(x, y, z)$ modélise le comportement d'un ou des deux joueurs via les conditions du jeu ou les habilités motrices x, y, z . Par exemple, si $X = \text{Liste_cote_service}$, $Y = \text{Liste_point_faible}$ et $Z = \text{Liste_valeur_service}$, alors $MAT_PTFA(x, y, z)$ a pour sémantique de repérer le point faible y du relanceur par rapport au côté x du terrain où s'est déroulé un service de valeur z . Chaque cellule de cette matrice comporte donc un compteur mémorisant le recours à un type de service particulier (pointé dans *liste_point_faible*), en fonction du côté de service (pointé dans *liste_cote_service*) et son résultat (pointé dans *liste_valeur_service*). La figure 4 donne la représentation mathématique de cette matrice.

MATRICE DES POINTS FAIBLES pour
x = éléments du côté de service (droite/gauche)
y = éléments de la liste des points faibles (revers/coup-droit/joueur)
z = éléments de la liste des résultats du coup joué
(favorable/défavorable)

MAT_PTFA(x,y,z)		revers	coup_droit	joueur
droite	favorable	(1,1,1)	(1,2,1)	(1,3,1)
	défavorable	(1,1,2)	(1,2,2)	(1,3,2)
gauche	favorable	(2,1,1)	(2,2,1)	(2,3,1)
	défavorable	(2,1,2)	(2,2,2)	(2,3,2)

Figure 4 : Matrice des points faibles

Avec la définition même de la structure de la matrice, l'expert livre son mode d'emploi. Il cherchera à connaître la configuration (une modalité par dimension) correspondant à la cellule contenant la plus petite valeur (fonction *Min*), la plus grande valeur (fonction *Max*) ou la valeur la plus fréquente (fonction *Mode*). Il pourra également disposer d'un indice rendant compte de la répartition des informations dans la matrice (fonction *répartition*) pour savoir si une valeur se dégage de la matrice, ou si plusieurs valeurs fortes sont égales ou avec un écart insignifiant. Ces fonctions ne sont pas spécifiques à chaque matrice et forment un langage commun d'analyse de ces structures. Toutefois, elles sont accompagnées de conditions limitant leur portée dans la matrice. C'est ainsi que nous pouvons interroger la matrice des points faibles $MAT_PTFA(x, y, z)$ en lui spécifiant que l'opération doit être menée pour tout élément de Y et de

Z mais pour $x = 1$. Par exemple, le système peut chercher à déterminer le point faible y ayant le nombre de positions favorables ($z = 1$) le plus élevé pour un côté de service connu ($x = 1$). Dans ce cas, le fait *strategie_PF* qui contiendra l'indice de y répondant à l'interrogation sera obtenu par l'opération suivante :

$$(\forall y \in Y) \text{ strategie_PF} := \text{MAX}(\text{Mat_PtFa}(\text{Cote_s}, y, 1))$$

De même, le système pourra obtenir un indice reflétant la répartition des données dans la matrice (mais limité à un côté de service) en posant l'opération suivante :

$$(\forall y \in Y) (\forall z \in Z) \text{ repart_mat_ptfa} := \text{REPARTITION}(\text{Mat_PtFa}(\text{Cote_s}, y, z))$$

Cette fonction renvoie :

1 : si une cellule est significativement supérieure aux autres;

n : si plusieurs cellules sont de forces similaires et significatives;

0 : autrement.

6. L'EFFET D'AUTO-APPRENTISSAGE.

Paradoxalement, la matrice cherchant à rendre compte de l'évolution ou de la stabilité des comportements dans le temps, n'est fiable que lorsque le match est bien avancé. Cet aspect, outre qu'il simule parfaitement les conditions réelles du jeu, renvoie à la notion d'apprentissage. En effet, les matrices utilisées couvrent l'ensemble des situations typiques qu'analysent un joueur dans le processus de prise de décision. En rendant des valeurs caractéristiques, elles modifient les associations de bases qui forment le cadre de référence théorique. Par exemple, sur une deuxième balle de service avec un relanceur gaucher, le système proposera un service peu rapide à effet favorisant l'excentration du coup, ce qui correspond à la volonté de jouer sur le revers de l'adversaire. Par la suite, l'interrogation des matrices révélera le taux de réussite de cette stratégie dans les différents compartiments du jeu (une stratégie peut être payante sur le côté droit du service et se révéler désastreuse sur le côté gauche) et orientera éventuellement une autre solution conforme aux données en présence. En somme, ces structures et leur langage d'interrogation simulent l'auto-apprentissage des caractéristiques des deux joueurs par le système.

Mais cette mécanique bien huilée peut gripper si elle ne prend pas en compte une dimension fondamentale des jeux sportifs et particulièrement du tennis. En effet, dans les systèmes à fortes probabilités, le salut semble résider dans le bon emploi d'une arme visant à déstabiliser l'adversaire : l'effet de surprise. Les règles de fonctionnement du système, qu'elles soient liées à un modèle théorique ou qu'elles soient guidées par les données des matrices ne peuvent rendre compte de ce phénomène particulier, puisque l'effet de surprise va à l'encontre d'une décision logique. Ses conditions de déclenchement sont très difficilement repérables tant elles sont liées à des contingences externes au jeu lui-même. Toutefois, dans une certaine mesure, il est possible de prévoir l'apparition d'un bluff. En effet, le processus de prise de décision en tennis privilégie la prise d'information visuelle sur le lancer de balle au moment du service. La position de la balle au sommet de sa trajectoire par rapport à un plan antéro-postérieur est un indicateur très fiable des caractéristiques probables du service. Et puisque les conditions d'auto-apprentissage du système nous permettent de resserrer l'ensemble des possibles à partir d'un type de lancer de balle observé, nous pouvons détecter une contradiction formelle entre ce lancer de balle et les autres éléments déduits par le modèle. A cette fin, LIFT soumet systématiquement ses déductions portant sur la stratégie employée à un filtre constitué d'une matrice mémorisant l'adéquation des conditions stratégiques avec le type de lancer de balle. Le mécanisme de "sur analyse" formalisé par la fonction *conclusion_sur_analyse* évoquée dans le quatrième chapitre suit un but identique : il vise à surprendre l'adversaire. Capable de repérer des séries redondantes (caractéristiques essentielles d'un service se reproduisant lorsque le coup est gagnant), il tente de prévoir l'apparition d'une rupture irrationnelle (puisque le bon sens conduit à reproduire une situation dont le résultat est positif) mais peut-être profitable (puisque l'adversaire peut rompre, à son profit, cette série en prévoyant sa répétition). Mais ce comportement ne peut pas être modélisé à priori puisqu'il

dépend à la fois des capacités du relanceur à repérer la permanence des caractéristiques de ces séries et de celles du serveur à modifier son coup sans alerter le relanceur. Ce mécanisme est donc bien entendu intégré dans la logique des matrices d'auto-apprentissage.

L'effet d'auto-apprentissage est donc la dimension fondamentale du système par laquelle ce dernier s'échappe du déterminisme des règles pré-établies correspondant à une forte probabilité connue d'apparition d'un comportement, pour se construire une structure évolutive répondant aux conditions particulière de la rencontre analysée. C'est ce que veut montrer concrètement la description de certaines phases d'une rencontre réelle analysée par le système LIFT.

7. LIFT EN TEMPS RÉEL.

Pour imager le fonctionnement du programme logique LIFT, nous nous proposons de mettre en évidence l'évolution de ses analyses au cours de la rencontre.

7.1. Phase de déclaration des paramètres de base.

Certains faits sont considérés comme connus par les joueurs (informations partagées) avant le début de la rencontre. Ces variables nommées paramètres de base sont invariants au cours de la rencontre. L'utilisateur va déclarer les valeurs :

- des variables de latéralité (du serveur et du relanceur) ;
- des variables de connaissance préalable du point faible des deux joueurs ;
- de la variable caractérisant le type de terrain.

Admettons que les valeurs suivantes ont été saisies :

Lat_S := *DROITIER* ; *Lat_R* := *DROITIER* ;
Pt_Fa(S) := *IND* ; *Pt_Fa(R)* := *IND* ;
Terrian := *BOIS* ; *Surf_Ter* := *RAPIDE* ;

Ces éléments sont directement transférés dans la base de faits.

7.2. Phase d'analyse d'un échange

Les paramètres de base étant fixés, le système peut commencer son analyse. Dans un premier temps, la base des règles du jeu a déterminé le côté de service. Ce fait est, en effet, lié au règlement du tennis. Puis, il a initialisé les différents scores, ainsi que l'ensemble des variables de périodicité inférieure à celles de la rencontre. Dans un deuxième temps, le système a tenté de déclencher la fonction principale de conclusion-sur-analyse. Les conditions n'étant pas requises, ce fait a été stocké dans la base de faits et affiché dans la cellule "Sur_Analyse". La fonction *conclusion_analyse* est donc activée. En l'absence d'informations, le revers est considéré comme le point faible du relanceur, *Pt_Fa(R)*. La base de connaissances prévoit, en effet, que cette valeur est déterminée par défaut tant que la quantité d'informations sur le match n'est pas suffisante ($CEr \leq 6$).

A un moment de son analyse, le système requiert la participation de l'utilisateur pour valuer un fait ne pouvant pas être déduit. La position du serveur par rapport à la ligne centrale est classée comme un fait résultant d'une prise d'information du relanceur. Un message est donc envoyé vers l'utilisateur visant à renseigner le système sur ce fait. Ce message est d'ordre impératif, contrairement à la plupart de ceux émis par LIFT. Il prévoit une liste de réponses possibles pour valuer avec certitude le fait : *Pos_serveur* := *CHOIX(liste_Pos_Serveur)*. Dans notre exemple, *Pos_serveur* := *CENTREE (100)*. Le système est maintenant capable de situer le joueur dans l'espace. Les conditions de score, de latéralité, d'adéquation de la latéralité avec le côté du service et de positionnement du serveur étant fixées, il envisage la recherche d'une stratégie probable.

L'analyse se poursuit avec une question (message non impératif) sur le lancer de balle. Ce fait est un passage obligé puisque cette prise d'information conditionne en grande partie les déductions. Il est renseigné par la fonction

lancer_balle := CHOIX(liste_lancer_balle) pour p.lancer := x.

Le message non impératif permet à l'utilisateur d'introduire un doute vis-à-vis de ce qu'il observe. Ce doute se traduit par un coefficient de vraisemblance nommé *p.fait...* Nous admettons que le lancer de balle observé est de type "HAUT".

7.3. Phase de proposition des déductions

Les deux faits résultant d'une prise d'information ont été transférés dans la base de faits. La condition *Phase_attente*, indiquant que le système ne dispose pas de suffisamment de connaissances sur le déroulé de la rencontre, étant positive, LIFT va utiliser les règles du cadre théorique pour déterminer chronologiquement :

a) la stratégie probable : Considérant que le coup analysé correspond à la première balle de service (*balle := 1*), que la position du serveur n'est pas caractéristique (la position du serveur au centre du terrain correspond en effet à une position classique) et qu'aucune donnée (sur_analyse ou mémoire du match) ne peut orienter la recherche, la probabilité d'une stratégie de type "jouer sur le coup faible du relanceur" est égale à celle de type "jouer sur le coup fort du serveur - service gagnant". Le système doit donc activer les règles lui permettant d'établir une proposition fondée sur les autres faits dont il dispose. Le cadre théorique permet de mener cette investigation en incrémentant les probabilités respectives des deux stratégies possibles en fonction des faits liés à la surface du terrain (une surface rapide augmente notablement la probabilité d'une stratégie de type "service gagnant"), de l'adéquation entre la latéralité du serveur et le côté de service (un serveur droitier servant à droite va probablement tenter un "ACE" sur sa première balle de service), du type de lancer de balle observé (un lancer "HAUT", comme dans notre exemple, sera associé à une stratégie de type "jouer sur le point faible du relanceur"), et de l'analyse des conditions de pression résultant de l'état des scores. La figure 6 met en évidence ce cadre stricte de raisonnement. Dans notre cas, il aboutit à la proposition d'une stratégie de type "service gagnant" avec une probabilité relativement faible (70% de certitude) due à la présence d'un type de lancer de balle en contradiction avec les autres faits : *strategie := SERVICE_GAGNANT (70)*

b) la zone visée et le type de balle : Ces éléments complémentaires sont entièrement conditionnés par la résolution précédente. Dans le cas d'une stratégie de type "service gagnant" comme celle proposée plus haut, une règle prévoit que

zone_cible := CENTRE (70) et TYPE_BALLE := IND (100)

L'expert considère, en effet, que sur ce type de stratégie, le joueur cherchera à faire passer sa balle à l'endroit le plus bas du filet, et que le type de balle utilisé (l'effet qui sera donné) n'a aucune importance vu les caractéristiques de vitesse de ce coup.

Il propose donc ses déductions en les accompagnant d'un pourcentage de probabilité marquant son degré de confiance vis à vis des informations qu'il a pu traiter. Tout au long de cette analyse, les faits traités seront affichés dans leur cellule. Les cellules des faits ignorés (non déterminés) resteront vierges ou recevront la mention "IND" si le fait en question n'est pas valué par le système mais a été manipulé lors d'une analyse antérieure. La figure 5 reproduit l'écran de l'ordinateur au moment de la proposition d'une stratégie.

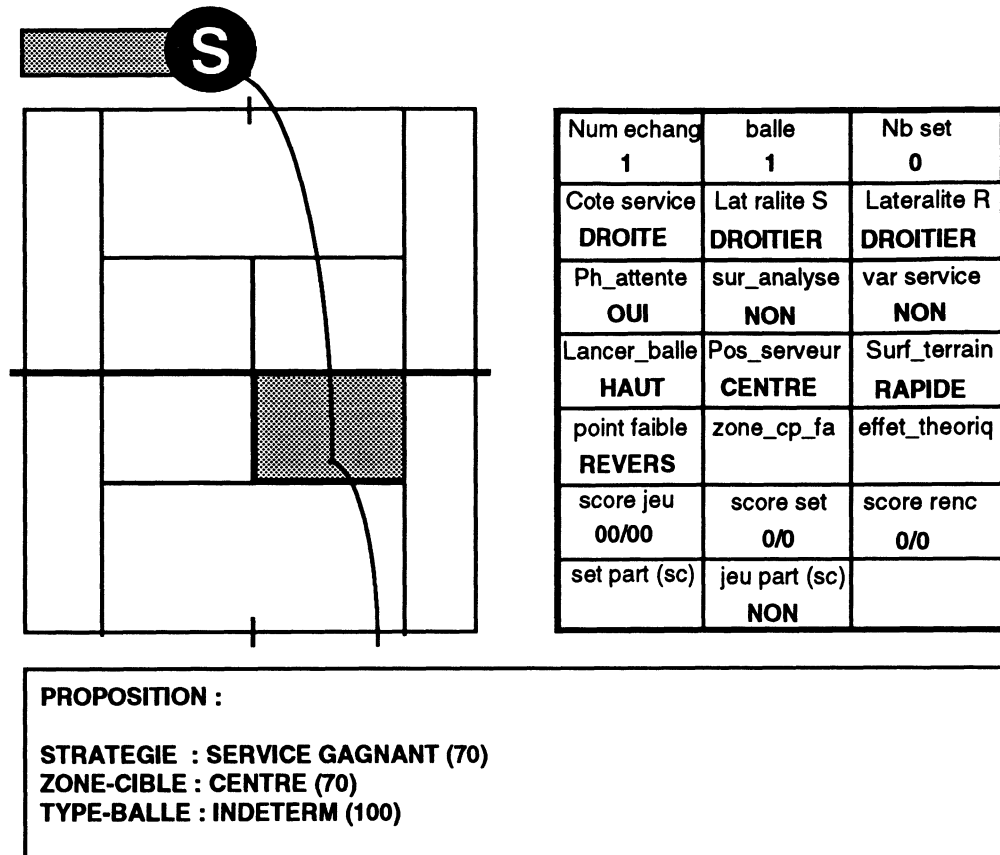


Figure 5 : Etat de la base de faits (extrait) affiché par LIFT, fondant la stratégie proposée.

7.4. Phase d'évaluation de l'échange.

LIFT cherche maintenant à connaître les caractéristiques réelles de l'échange. Cette évaluation lui permettra "d'apprendre" les habitudes des joueurs. Il a donc besoin d'apprendre les caractéristiques réelles de l'échange, ainsi que le résultat, pour mettre à jour ses matrices et variables.

LIFT est maintenant prêt pour analyser un deuxième échange, en tenant compte de son histoire. Plaçons nous maintenant à des moments différents du décours du jeu pour apprécier les capacités d'apprentissage du système.

7.5. Les mécanismes évolutifs de lift.

L'échange numéro seize reprend exactement les mêmes données (première balle, serveur placé au centre, lancer de balle de type "haut"). Toutefois, le système considère maintenant que le match est suffisamment avancé pour commencer à tenir compte des habitudes développées par les joueurs. La figure 7 comparée à la figure 6 précédemment analysée montre la différence d'investigation. Les règles figées du cadre théorique sont délaissées pour laisser la place à des analyses menées sur les matrices mémorisant les différents compartiments du jeu. Il s'agit alors de détecter si les comportements des joueurs se démarquent des règles pré-établies dans le cadre théorique et d'ajuster ce cadre. L'état des matrices questionnées au moyen d'outils proches des statistiques (min, max, écart, répartition, etc....) permet de répondre à une série de questions révélatrices du raisonnement mené. Lors de l'échange considéré, la matrice caractérisant les

lancers de balle et leur corrélation avec la stratégie employée montre que le serveur n'est pas capable d'utiliser une même stratégie en faisant varier le lancer de balle et qu'il ne peut faire varier la stratégie pour un même lancer de balle (*Caract_serveur_SG* := *VARIE_RIEN*). Il suffit alors de vérifier si le lancer de balle observé sur l'échange est régulièrement utilisé en stratégie de type "service gagnant" pour connaître celle qui sera certainement utilisée. Dans notre exemple, les matrices indiquent que le lancer de type "haut" n'est pas employé par le joueur pour le type de stratégie de type "service gagnant". De ce fait, la stratégie "jouer sur le point faible" est retenue. Pour caractériser ce point faible, LIFT interroge également ses matrices. Toutefois, au seizième échange, la répartition des données de la matrice adéquate n'est pas suffisamment caractéristique pour établir ce comportement. Il sera donc attribué par défaut à partir des règles du cadre théorique avec une probabilité faible : *Pt_Fa(R)* := *REVERS* (70). La détermination de la zone-cible répond à la même logique. *zone_cible* := *CENTRE* (70).

Il est alors intéressant de se porter à l'échange numéro 34. Nous retrouvons de nouveau les mêmes informations. Mais la matrice permettant de caractériser le point-faible du relanceur est maintenant suffisamment bien pourvue pour mieux cerner le coup attendu. Contrairement à l'échange analysé précédemment, LIFT va pouvoir caractériser ce point avec une probabilité plus grande : *Pt_Fa(R)* := *COUP_DROIT* (100). En effet, la probabilité de l'existence du point faible sur le coup-droit du relanceur et non sur son revers a été détectée depuis plusieurs échanges, mais la répartition des données dans la matrice n'était pas jugée suffisamment caractéristique pour remettre en cause le cadre théorique, condition qui a été remplie lors du trente quatrième échange.

Il est bien entendu impossible de décrire toutes les réactions du système. Cette description vise seulement à montrer la dépendance du système vis-à-vis du cadre théorique déterminé par un expert du domaine, mais également ses capacités à le remettre en cause dès lors que les conditions s'y prêtent.

(Balle=1, Pos_Serv=Centre, phase_attente=oui)

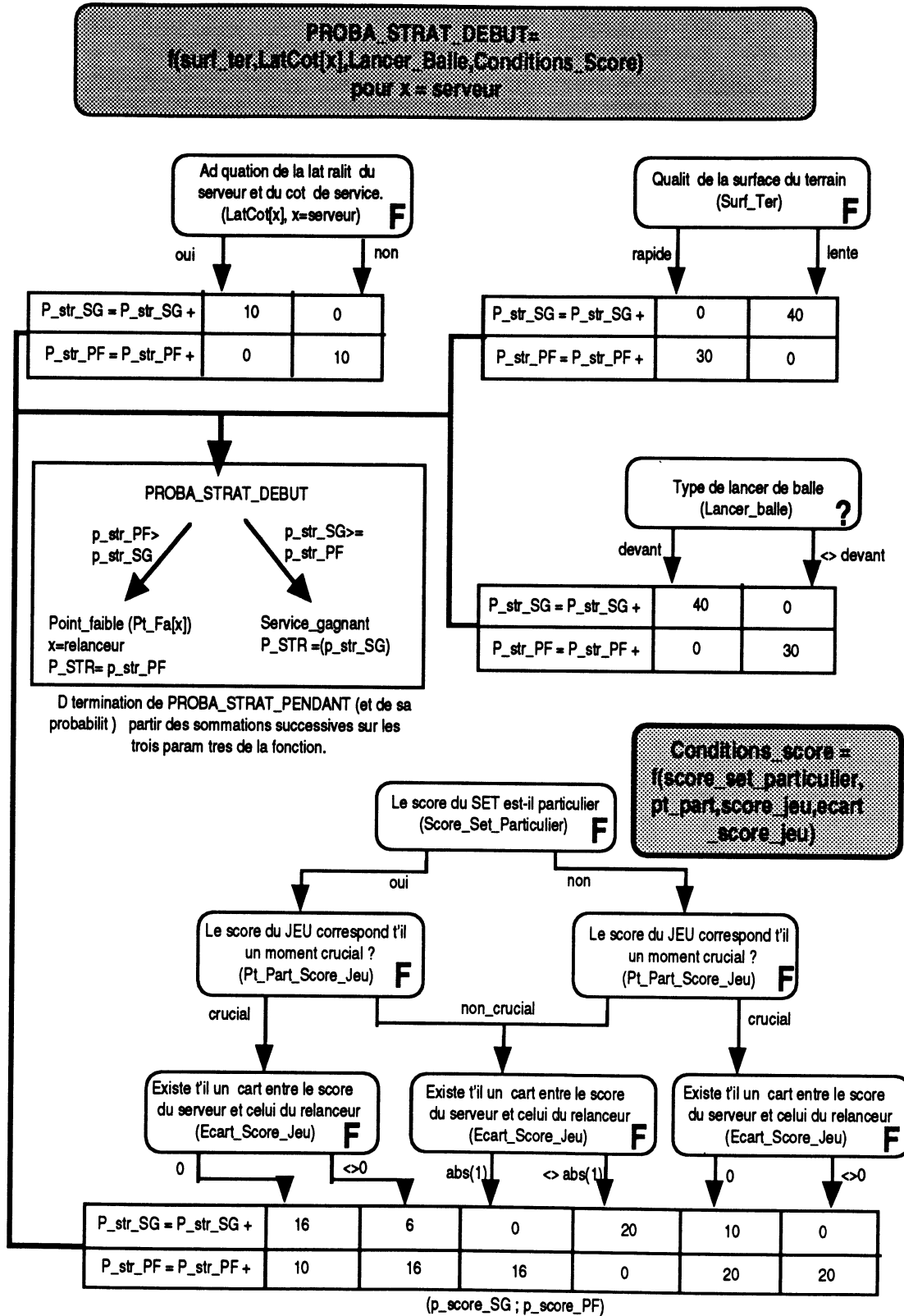


Figure 6 : Cadre th eorique dans lequel s'elabore la strategie (phase_attente = OUI)

(Balle=1, Pos_Serv=Centr e, phase_attente=non)

PROBA_STRAT_PENDANT =
f(caract_serveur_SG, fr quence_Ace, ad quation_lancers, conditions_score)

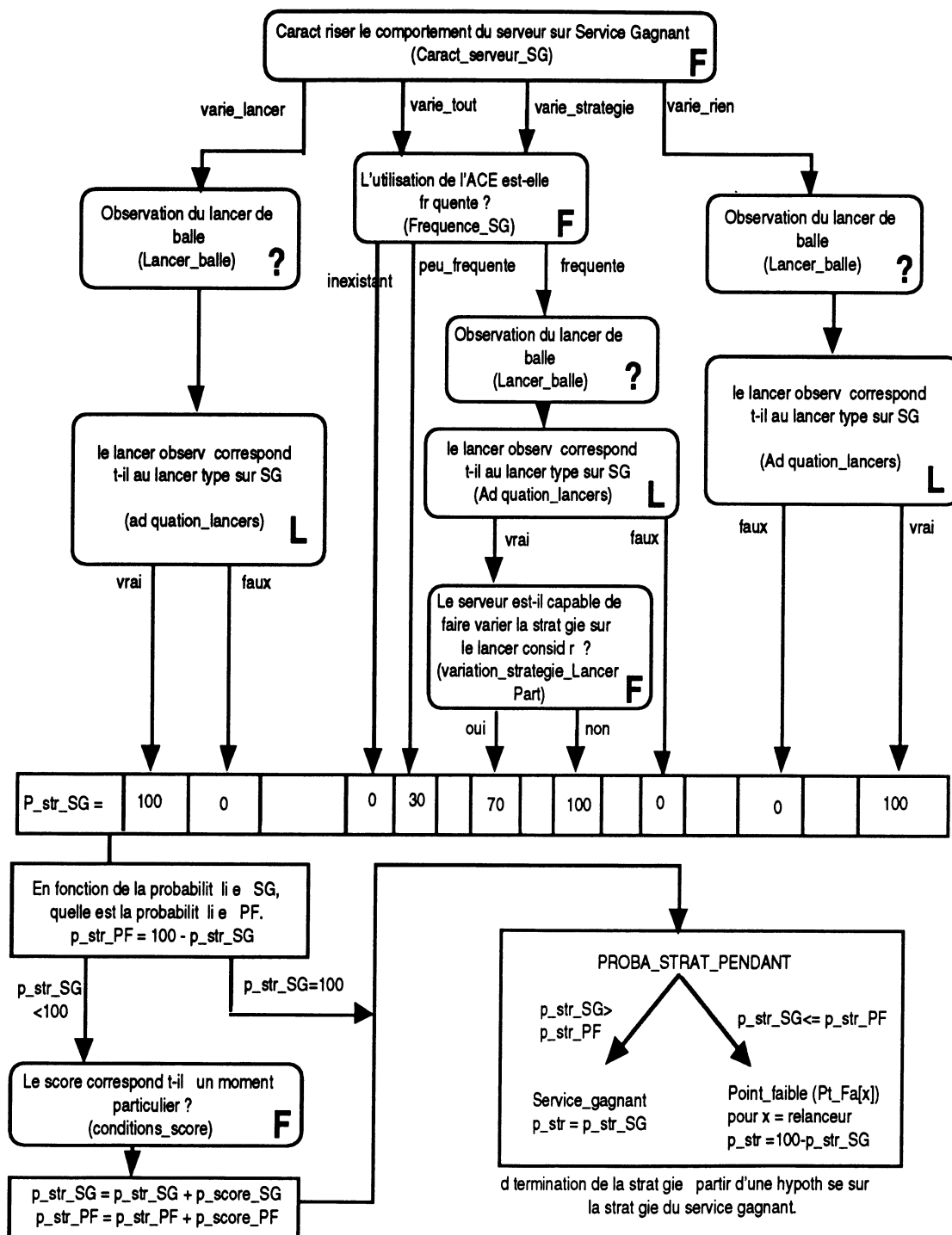


Figure 7 : Cadre évolutif de la détermination de la stratégie (*phase_attente = NON*)

8. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le système LIFT possède deux caractéristiques essentielles. D'une part il repère un fonctionnement théorique fondé essentiellement sur une conception tactique du jeu intégrant une logique spécifique de micro-cycles (ou périodes) et d'autre part il transforme ce modèle de base pour s'adapter aux caractéristiques technico-tactiques des joueurs en présence.

Ce modèle présente toutefois des inconvénients majeurs. En premier lieu, s'il est capable de mesurer l'adéquation d'un coup avec les éléments en présence, il lui est difficile de dissocier une erreur technique d'une volonté tactique inhabituelle. En second lieu, si ses structures peuvent rendre compte du comportement des deux joueurs et surtout de l'adaptation de leurs solutions, il ne peut guère renseigner sur l'origine de cette adaptation. Or cet aspect est important car le processus de décision doit être élaboré en tenant compte du fait qu'il n'est pas un produit final, mais bien une information délivrée à un adversaire qui dispose de ses propres possibilités de réponse. Il délivre donc un message sur l'organisation du serveur, de même que le résultat dépendant de la réponse du relanceur agit comme un révélateur de la compréhension de ce dernier sur la stratégie employée par son adversaire. Mais quelle est la part de cette compréhension dans les solutions futures ?

Nonobstant ces limites, l'approche utilisée comporte l'avantage de considérer le processus décisionnel dans sa globalité et non sous le jour d'un découpage arbitraire. Elle pose toutefois le problème du transfert des connaissances "en situation". Les activités sportives se prêtent difficilement à cet exercice, du moins en l'état actuel des méthodologies accessibles. Que se passe-t-il dans le cerveau de nos champions alors qu'ils ne disposent que d'une fraction de seconde pour analyser une situation et agir en conséquence ?

9. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [Bouet 83] M. BOUET, "Stratégie cognitive et décision en vol à voile", *Motricité Humaine*, n° 0,,1983, pp 18-24,.
- [Calmet & Matet 89] M. CALMET & P.MATET, "Technologies nouvelles et EPS", *Revue Nationale EPS*, n° 215, anvier-Février 1989, pp 58-59,.
- [Calmet 91] M. CALMET. *Enseignement assisté par ordinateur en judo., Proposition d'un programme d'EAO. Utilisation de nouvelles technologies dans la formation.*, Mémoire en vue de l'obtention du Brevet d'État 3, 1991.
- [Calmet & Matet 92] M. CALMET & P.MATET, "Nouvelles technologies, nouveaux documents en formation : deux systèmes experts en judo", *Actes du Premier Colloque International "Outils Informatiques : Applications au Sport et à l'Education Physique"* (OIASEP'92), Chatenay-Malabry, France, 26-27 Mai 1992.
- [Denis 88] G. DENIS, *De la formalisation des connaissances en natation sportive à la construction d'un outil d'aide à la décision pédagogique par ordinateur*, Mémoire de DEA en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives, Université de Nancy I, Novembre 1988.
- [Denis 92] G.DENIS, "Informatique et STAPS : introduire l'Intelligence Artificielle", *Actes du Premier Colloque International "Outils Informatiques : Applications au Sport et à l'Education Physique"* (OIASEP'92), Chatenay-Malabry, France, 26-27 Mai 1992.
- [Denis & Pizzinato 92a] G. DENIS, A. PIZZINATO, *Prise de décision et intelligence artificielle dans les sports d'opposition : exemple de la phase de "service - retour de service" en tennis.*, Thèse de Doctorat de l'Université de Nancy I (spécialité : Sciences et Techniques des Activités Physiques & Sportives), Tome I, 6 Février 1992, Nancy.
- [Denis & Pizzinato 92b] G. DENIS, A. PIZZINATO, *Prise de décision et intelligence artificielle dans les sports d'opposition : exemple de la phase de "service - retour de service" en tennis.*, Thèse de Doctorat de l'Université de Nancy I (spécialité : Sciences et Techniques des Activités Physiques & Sportives), Tome II, 6 Février 1992, Nancy.
- [Denis & Pizzinato 92c] G. DENIS, A. PIZZINATO, "L'intelligence artificielle permet de simuler la stratégie de service d'un joueur de tennis", *Revue Nationale CNRS-Info Numéro spécial : La recherche et le Sport au CNRS*, Paris, Juin 1992, pp 5-6.
- [Gouard 93] P GOUARD, "Conception et mise en oeuvre d'un centre expert de navigation (CENA)", *Actes du colloque national "Sport et informatique" de l'INSEP*, Paris : INSEP, Janvier 1993, pp 4,.
- [Grosgeorges 86] B. GROSGEORGES, *Les Sports Collectifs en Education Physique. EPS: Contenus et Didactique*, pp 63-69, Ed SNEP, 1986. Ouvrage issu des Actes du Colloque "Promotion de l'EPS et Didactique des APS" (PEPS/DAPS'85), 19-20 Octobre 1985.
- [Grosgeorges et al. 91] B. GROSGEORGES, P. DUPUIS & B. VEREZ, "Acquisition et analyse de déplacement en sports collectifs", *Revue Nationale Science et Motricité*, n° 13, Février 1991, pp 27-38.
- [Kraemer & Predine 91] D. KAEMER & E. PREDINE, "Approche d'un modèle en volley-ball", *Actes de l'Université d'été "Informatique et EPS" de Saint-Denis de la Réunion* Juillet 1991 (LA REUNION'91), pp 41-45, Ed : UFR STAPS de Nancy, 1991.

[Parlebas 81] P. PARLEBAS, *Contribution à un lexique commenté en Science de l'Action Motrice*. Publication de l'Institut National du Sport et de l'Education Physique (INSEP), Paris, 1981.

[Parlebas 86] P. PARLEBAS, *Eléments de Sociologie du Sport*, Editions Presses Universitaires de France, Paris, Juin 1986.

[Parlebas 88] P. PARLEBAS, "Analyse et modélisation du volley-ball de haute compétition : analyse des Championnats du monde de 1986", *Revue Nationale Science et Motricité*, n°4, 1988, pp 3-22.

[Parlebas 90] P. PARLEBAS, "Activités Physiques et Education Motrice", *Dossier EPS*, n° 4. Troisième Edition, Editions "Revue Education Physique et Sport", Paris, Décembre 1990.

[Payen 89] M. PAYEN, *Elaboration et validation d'un outil d'aide à la décision pédagogique à l'usage des enseignants d'Education Physique & Sportive, en natation au baccalauréat.*, Mémoire de DEA en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives, Université de Nancy I, 1989, pp 23-36.

[Payen 91] M. PAYEN, "Didactique natation et Intelligence artificielle", *Actes de l'Université d'été "Informatique et EPS"* de Saint-Denis de la Réunion juillet 1991 (LA REUNION'91), Ed : UFR STAPS de Nancy, 1991.

[Pizzinato 89] A. PIZZINATO, "La gestion de l'espace dans la prise de décision du joueur de tennis en situation de retour de service", *Revue nationale Science et Motricité*, n° 9, 1989, pp 23-27.

[Singer & Villepreux 91] B. SINGER & P. VILLEPREUX, "Vers une formalisation de l'analyse sémantique de matches en sports collectifs. Application au rugby à XV", *Revue Internationale Mathématiques, Informatique et Sciences Humaines*, Paris, France, n°114, Eté 1991, pp 19-33.

[Singer et al. 91] B. SINGER, P. VILLEPREUX, P. DALLE & F. BAUCHER, "RUGBY, ou comment il aurait fallu jouer", *Actes des IVèmes Journées Internationales d'Automne de l'Association des Chercheurs en Activités Physiques et Sportives (ACAPS'91)* Lille, France, 9-11, Novembre 1991, pp 118-119.

[Singer & Villepreux 92] B. SINGER, P. VILLEPREUX, "The RUGBY expert system, or How we should have played in rugby games", *Proceedings of the First International Conference on Computer Applications in Sport and Physical Education (CASPE'92)*, Natanya, Israël, January 2-6, 1992, pp 15-16.

[Singer & al. 92a] B. SINGER, J.L. SOUBIE & P. VILLEPREUX, "L'Intelligence Artificielle au service du rugby : construction d'une base de connaissances de prise de décision tactique", *Actes du Premier Colloque International "Outils Informatiques : Applications au sport et à l'Education Physique"* (OIASEP'92), Chatenay-Malabry, France, 26-27 Mai 1992.

[Singer & al. 92b] B. SINGER, J.L. SOUBIE & P. VILLEPREUX, "Le projet RUGBII", *Revue Nationale CNRS-Info* Numéro spécial : La recherche et le Sport au CNRS, Paris, pp 21, Juin 1992.

[Rolland et al. 88] C. ROLLAND, O. FOUCAULT, G. BENCI, *Conception des systèmes d'information : la méthode REMORA.*, Paris : Eyrolles, 1988.