



HAL
open science

Contribution à la formation des entraîneurs sportifs : caractérisation et représentation des actions de jeu : l'exemple du basket-ball

Rachid Ziane

► **To cite this version:**

Rachid Ziane. Contribution à la formation des entraîneurs sportifs : caractérisation et représentation des actions de jeu : l'exemple du basket-ball. Education. École normale supérieure de Cachan - ENS Cachan, 2004. Français. NNT: . tel-00133984

HAL Id: tel-00133984

<https://theses.hal.science/tel-00133984>

Submitted on 28 Feb 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE DE DOCTORAT
DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE CACHAN
EN SCIENCES DE L'EDUCATION - DIDACTIQUE

ECOLE DOCTORALE SCIENCES PRATIQUES

**Contribution à la formation des entraîneurs sportifs.
Caractérisation et représentation des actions de jeu :
L'exemple du basket-ball.**

Thèse présentée par
Rachid ZIANE

Sous la co-direction de
Jean-Louis MARTINAND et Bernard GROSGEORGE

Préparée à
l'Unité Mixte de Recherche Sciences, Techniques, Education et Formation

Soutenue le
30 Septembre 2004

Devant le jury composé de :

Jean-Francis GREHAIGNE (Président)
Professeur des Universités, IUFM de Franche Comté.

Bernard GROSGEORGE (Co-directeur)
Entraîneur National, DTN / Fédération Française de Basket-ball.

Jean-Louis MARTINAND (Co-directeur)
Professeur des Universités, UMR STEF / ENS de Cachan.

André MENAUT (Rapporteur)
Professeur des Universités, Université de Bordeaux 2.

Jacques PRIOUX (Rapporteur)
Professeur des Universités, Directeur du Département EPS
Antenne de Bretagne de l'ENS de Cachan.

REMERCIEMENTS

Je remercie Jean-Francis GREHAIGNE (IUFM de Franche Comté) d'avoir accepté les fonctions de président de jury.

André MENAUT (Université de Bordeaux 2) et Jacques PRIOUX (Antenne de Bretagne de l'ENS de Cachan) ont accepté d'assurer les fonctions de rapporteur. Je les remercie d'avoir expertisé mon travail.

Je remercie vivement Jean-Louis MARTINAND (UMR-STEF/ENS de Cachan) d'avoir accepté de co-diriger ce travail de thèse. Je le remercie plus particulièrement pour l'aide qu'il m'a apportée ainsi que pour son exigence intellectuelle sans compromis.

Je remercie également Bernard GROSGEORGE (DTN/FFBB) d'avoir co-dirigé ce travail. Qu'il soit assuré de ma profonde reconnaissance pour sa bienveillance et son accueil au sein de la *Direction Technique Nationale de la Fédération Française de Basket-Ball*.

Mes remerciements vont également à Laurent YOUNES (CMLA/ENS de Cachan) pour son aide précieuse et pour le temps qu'il m'a consacré.

Christophe GONZALES (Société Bayésia) et Pierre-Henri VUILLEMIN (Lip 6) m'ont permis de bénéficier de leurs compétences. Je les en remercie très cordialement.

Je remercie mes camarades de l'UMR-STEF et plus particulièrement Michaël HUCHETTE et Abdelkarim ZAÏD pour leur amitié, leur aide et pour le temps qu'ils m'ont consacré.

Comme pour mon travail de DEA, Philippe VARRIN (UMR-STEF/ENS de Cachan) m'a permis de débloquent plusieurs problèmes techniques. Je tiens à le remercier très chaleureusement pour sa disponibilité et son efficacité.

A la mémoire d'Alain DUREY,
sans lequel ce travail n'aurait sans doute pas pu être entrepris.

SOMMAIRE

<u>INTRODUCTION</u>	9
<u>1. Enjeux sportifs et horizon didactique</u>	10
<u>1.1. Questions et enjeux</u>	10
<u>1.2. Orientations théoriques</u>	12
<u>1.3. Problème de recherche</u>	13
<u>2. Dispositif de recherche</u>	16
<u>3. Contribution</u>	19
<u>CHAPITRE 1 : Le problème de la représentation d'actions de jeu</u>	21
<u>Introduction</u>	21
<u>1. Stratégie et tactique des actions de jeu</u>	23
<u>1.1. Sens originel des notions de stratégie et de tactique</u>	23
<u>1.2. Différentes acceptions des notions de stratégie et de tactique dans le domaine sportif</u>	25
<u>1.3. Sens des notions de stratégie et de tactique pour cette recherche</u>	29
<u>2. La lecture "sportive" d'actions de jeu</u>	31
<u>2.1. Signification de l'expression « lecture du jeu » pour les entraîneurs experts</u> ..	31
<u>2.2. Descripteurs des entraîneurs experts</u>	33
<u>2.3. Méthodes pour former à lire le jeu</u>	33
<u>2.4. Prise en compte des points de vue d'entraîneurs experts</u>	34
<u>3. Les représentations graphiques d'actions de jeu</u>	36
<u>3.1. Définition du concept d'« action de jeu »</u>	36
<u>3.2. Etude cinématique d'actions de jeu</u>	39
<u>3.3. Précédentes recherches de modélisation cinématique d'actions de jeu</u>	41
<u>3.4. Problèmes abordés</u>	57
<u>3.5. Méthodes et instruments employés</u>	57
<u>3.6. Résultats</u>	62
<u>3.7. Limites et obstacles</u>	62
<u>3.8. Reprises, adaptations, innovations</u>	64
<u>4. Modéliser des actions de jeu de basket-ball pour la formation des entraîneurs</u>	66
<u>4.1. Enjeux didactiques</u>	66
<u>4.2. Orientation vers des activités de modélisation</u>	66
<u>4.3. Rôles et types de modèles à construire</u>	67
<u>4.4. La modélisation d'actions de jeu de basket-ball</u>	67
<u>4.5. Le rapport aux modèles</u>	73

<u>Conclusion</u>	77
-------------------------	----

<u>CHAPITRE 2 : Modélisation des joueurs, des équipes et du ballon</u>	79
<u>Introduction</u>	79
<u>1. Etude des concepts et des graphismes schématiques utilisés par les entraîneurs experts</u>	80
1.1. Exemple d'analyse d'une action de jeu par un entraîneur expert	81
1.2. Concept et représentations symboliques du terrain de basket-ball.....	84
1.3. Concept de poste de jeu et représentations symboliques de joueurs.....	89
1.4. Concept et représentations symboliques d'équipes	91
1.5. Concept et représentation symbolique du ballon.....	92
1.6. Représentations graphiques des mouvements des équipes, des joueurs et du ballon.....	92
1.7. Représentations graphiques des relations entre les mouvements des équipes des joueurs et du ballon.....	94
1.8. Possibilités et limites.....	96
<u>2. Modélisations des joueurs, des équipes et du ballon</u>	98
2.1. Reprises et transformations	98
2.2. Modélisation du terrain	99
2.3. Modélisation des joueurs et du ballon.....	99
2.4. Modélisation des équipes.....	100
<u>Conclusion</u>	105
<u>CHAPITRE 3 : Modélisations cinématiques d'actions de jeu de basket-ball</u>	106
<u>Introduction</u>	106
<u>1. Sélection d'actions de jeu typiques</u>	106
<u>2. Localisation des joueurs et du ballon sur le terrain</u>	108
2.1. Enjeux techniques et didactiques	108
2.2. Problème initial.....	109
2.3. Conception du module de redressement d'images télévisuelles « grand public ».....	109
2.4. Contribution à la recherche.....	117
<u>3. Modélisations des mouvements des joueurs, des équipes et du ballon</u>	119
3.1. Modélisation des mouvements des joueurs et du ballon.....	119
3.2. Modélisation des mouvements des équipes	120
3.3. Modélisation des variations de vitesse des joueurs et du ballon.....	124
<u>Conclusion</u>	124

<u>CHAPITRE 4 : Modélisations et représentations graphiques des corrélations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon</u>	125
<u>Introduction</u>	125
<u>1. Modèles bayésiens</u>	126
<u>2. Discrimination des variables pertinentes</u>	129
<u>3. Modélisation des corrélations entre les mouvements des équipes</u>	131
3.1. <u>Modélisation des corrélations entre les changements de configurations des équipes</u>	131
3.2. <u>Modélisation des corrélations entre les variations des surfaces occupées par les équipes</u>	132
3.3. <u>Modélisation des corrélations entre les variations de distance entre les équipes, le ballon et la cible</u>	134
3.4. <u>Modélisation des corrélations entre les variations de vitesses des joueurs et du ballon</u>	137
3.5. <u>Conclusion</u>	137
<u>5. Exemple d'étude cinématique et probabiliste d'une action de jeu</u>	139
5.1. <u>Conception d'un outil d'interprétation des RB</u>	140
5.2. <u>Etude des configurations</u>	148
5.3. <u>Etude des surfaces occupées par les équipes</u>	156
5.4. <u>Etude des corrélations entre les distances séparant les équipes, le ballon et le panier</u>	158
5.5. <u>Etude des corrélations entre les variations de vitesse des joueurs et du ballon</u>	161
<u>Conclusion</u>	162
<u>CHAPITRE 5 : Nouvelles représentations graphiques d'actions de jeu</u>	163
<u>Introduction</u>	163
<u>1. Représentation graphique des mouvements des joueurs et du ballon</u>	164
<u>2. Représentation graphique des mouvements des barycentres des équipes et du ballon</u>	167
<u>3. Représentation graphique des variations de pente et de hauteur des droites de régression représentant les équipes</u>	168
<u>4. Représentation graphique des surfaces occupées par les équipes</u>	170
<u>5. Représentation graphique des distances entre les équipes, le ballon et le panier</u>	171
<u>6. Représentation graphique des variations de vitesses des joueurs</u>	175
<u>Conclusion</u>	176

<u>CONCLUSION GENERALE</u>	177
<u>1. Contributions</u>	177
<u>2. Extensions</u>	179
<u>2.1. Conception et réalisation de l’outil de description d’actions de jeu</u>	179
<u>2.2. S’exercer à la lecture d’actions de jeu à l’aide l’outil de description</u>	181
<u>2.3. Mise au point de l’outil de description d’actions de jeu</u>	182
<u>3. Perspectives</u>	183
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	184
<u>1. Références relatives à l’étude d’actions de jeux sportifs collectifs</u>	184
<u>2. Références relatives à la théorisation</u>	186
<u>3. Références relatives aux stratégies et aux tactiques du basket-ball</u>	187
<u>Table des illustrations</u>	192
<u>Mots clé :</u>	194
<u>Mots clé :</u>	194
<u>Résumé :</u>	194

INTRODUCTION

Educateur sportif de formation, j'ai exercé cette profession durant plusieurs années. Plus tard, je me suis orienté vers celle de formateur en sciences biologiques sur les *brevets d'Etat d'éducateur sportif* (BEES). Actuellement, j'exerce la profession d'enseignant d'*Education Physique et Sportive* (EPS). J'interviens également sur la formation des étudiants de Licence à l'UFR-STAPS d'Orsay. J'ai poursuivi ma formation parallèlement à mon parcours professionnel. Etudiant de maîtrise en *Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives* (STAPS), j'ai cherché à comprendre les résistances des stagiaires à l'apprentissage. Il s'agissait de comparer leurs représentations mentales avec celles des formateurs, au sujet des « *Savoirs et savoirs utiles en sciences biologiques pour la formation des éducateurs sportifs* ». Le *Diplôme d'Etudes Approfondies* (DEA) « *Enseignement et Diffusion des Sciences et des Techniques* » option « *Didactique des Activités Physiques et Sportives* »¹ a été l'occasion de préciser mon questionnement sur les formations d'éducateurs sportifs. Cet intérêt particulier pour la formation des entraîneurs a orienté mon parcours vers des activités de recherche en didactique des sciences et des techniques. Depuis le stage² de D.E.A. en laboratoire, Bernard Grosgeorge³ est mon principal interlocuteur de la *Direction Technique Nationale* (DTN) de la *Fédération Française de Basket-Ball*⁴ (FFBB). Pour cette recherche, notre collaboration a permis de réorienter ma démarche vers des questions plus pertinentes pour les formations d'entraîneurs. Le présent travail s'inscrit dans le prolongement de sa thèse (Grosgeorge, 1992).

¹ Associant le LIREST de l'E.N.S. de Cachan au CEDAPS de la division STAPS de l'UFR d'Orsay.

² Une analyse biomécanique du lancer-franc visant à redéfinir des consignes d'entraînement.

³ Bernard Grosgeorge est Professeur Agrégé d'EPS détaché à la FFBB. Il occupe des responsabilités d'entraîneur national. Il est auteur d'une thèse de doctorat sur le basket-ball (Grosgeorge 1992). Avec Gérard Bosc, il est le principal auteur d'articles techniques de ces vingt dernières années.

⁴ F.F.B.B : 117, rue du château des rentiers - 75013 PARIS - Site web : <http://www.basketfrance.com>

1. Enjeux sportifs et horizon didactique

A chaque étape d'avancement des travaux, les questions de la DTN se sont affinées et précisées. Pour mieux traduire les résultats produits dans les termes spécifiques des attentes de la DTN, il a fallu prendre en compte ces questions.

1.1. Questions et enjeux

La présente recherche a pour objet de répondre à deux questions posées par la *Direction Technique Nationale* de la *Fédération Française de Basket-Ball* :

- *Comment représenter graphiquement les relations entre les mouvements d'équipes opposées au cours d'actions de jeu ?*
- *Comment décrire ces relations ?*

Pour élaborer des stratégies de jeu, les entraîneurs doivent savoir décrypter les tactiques employées par les équipes adverses. Cette activité est appelée *lecture d'actions de jeu*⁵. Les deux questions de la DTN sont relatives à l'apprentissage de la *lecture d'actions de jeu* des entraîneurs stagiaires en formation.

Les entraîneurs experts sont les formateurs des entraîneurs stagiaires pour les parties spécifiques des formations (e.g. : *brevet d'Etat d'éducateur sportif*^{6,7}). Au cours de ces formations, les formateurs sont amenés à commenter des séquences vidéo d'actions de jeu filmées depuis les tribunes. Pour accompagner leur discours, ils élaborent des *graphismes schématiques*⁸ qu'ils utilisent comme outils pédagogiques. Ces graphismes schématiques représentent pour la plupart des vues surplombantes d'actions de jeu élaborées à partir de leurs représentations mentales. Pour construire ces graphismes schématiques, les

⁵ Lecture du jeu : « Utilisée dans un sens large, la notion de lecture se superpose avec celle de compréhension... » Ballarini & Grosgeorge (1996).

⁶ Les formations aux Brevets d'Etat d'Educateur Sportif (BEES) comprennent :

- une *formation commune* aux différentes disciplines sportives,
- une *formation* spécifique à une discipline particulière (e.g. : basket-ball, judo, tennis de table).

⁷ La formation commune est assurée par l'Etat (DDJS, CREPS) et la partie spécifique, par les fédérations sportives délégataires (e.g. : FFBB, FFJDA, FFTT). Les formateurs intervenants sur les parties spécifiques sont les cadres techniques des fédérations : Il s'agit pour la plupart d'entraîneurs sportifs experts.

⁸ Ils utilisent pour cela des logiciels disponibles sur le Net, tels que : CoachEdge ou Playbook.

entraîneurs experts effectuent mentalement une transposition de point de vue des tribunes en un point de vue surplombant. Cette opération est difficile. Aussi, ces graphismes schématiques sont imprécis tant du point de vue spatial (e.g. : la localisation des joueurs et du ballon) que temporel (e.g. : la synchronisation des mouvements). De plus, ils ne représentent que des « *états successifs* »⁹ (Barthès & Bouthier ; 2000).

Leurs descriptions des séquences vidéo d'actions de jeu, sont fondées sur des concepts dont le sens est éloigné du sens commun. Certains de ces concepts sont mêmes polysémiques et employé de façon équivoque (e.g. : attaque, défense¹⁰). Bien que fondées sur une expérience incontestable, ces descriptions sont difficilement vérifiables.

Finalement, ni les séquences vidéo d'actions de jeu, ni les graphismes schématiques, ni les descriptions qui les accompagnent ne permettent aux formateurs de répondre à des questions précises sur les relations entre les mouvements d'équipes opposées. Pour décrire les relations entre les mouvements d'équipes opposées, les formateurs ont besoin de disposer de données objectives et fiables, de concepts et de représentations graphiques.

Pour cela, il est nécessaire de construire un point de vue objectif, c'est-à-dire indépendant des observateurs (e.g. : joueurs, entraîneurs, spectateurs) et fondé sur des grandeurs observables (e.g. : vitesses, distances). Il est alors nécessaire de rendre possible l'étude cinématique d'actions de jeu, donc de reconstruire des points de vue surplombants.

⁹ Ce qui détermine le passage d'un graphisme schématique à l'autre est la survenue, durant l'action de jeu, d'une passe.

¹⁰ Le concept d'attaque et celui de défense, désignent tantôt le statut des équipes, tantôt l'activité de ces équipes.

1.2. Orientations théoriques

Le cadre théorique et le problème de recherche sont présentés dans le *Chapitre 1* de ce mémoire.

Cette recherche apparaît dans un contexte où il existe déjà de nombreux travaux visant à mettre en évidence et à représenter graphiquement les *stratégies* et les *tactiques* employées par des équipes de sports collectifs. Or, les termes même de *stratégie* et de *tactique* sont ambigus lorsqu'ils sont utilisés dans le domaine sportif. Pour mener cette recherche, il a été nécessaire de préciser le sens de ces termes.

Pour mettre au point le problème de recherche, il était indispensable de prendre en compte les points de vue des entraîneurs experts et ceux des chercheurs qui ont modélisé des actions de jeu. Pour cela, il a fallu étudier la littérature technique sur la *lecture d'actions de jeu* et la littérature scientifique sur la *représentation graphique d'actions de jeu*.

L'objectif de l'étude de la littérature technique était plus précisément de prendre en compte les points de vue formalisés des entraîneurs experts. Pour cela, cette étude a porté sur les techniques de *lecture d'actions de jeu* des entraîneurs experts. Ce travail a plus précisément consisté à étudier :

- le sens que les entraîneurs experts donnent à l'expression « *lecture d'actions de jeu* »,
- les descripteurs utilisés par les entraîneurs experts pour lire des actions de jeu,
- les principes auxquels les entraîneurs experts se réfèrent pour former des entraîneurs stagiaires et des joueurs à la lecture d'actions de jeu.

L'objectif de l'étude de la littérature scientifique était de s'inspirer des précédentes recherches de caractérisation et de représentation graphique d'actions de jeux sportifs. Pour cela, cette étude a porté sur les recherches menées à partir de données cinématiques. Les points qui ont été étudiés sont :

- les problèmes abordés par les chercheurs,
- les méthodes et les outils employés,
- les résultats obtenus,
- les obstacles techniques rencontrés,
- les limites d'utilisation des résultats par les formateurs et les entraîneurs sportifs.

1.3. Problème de recherche

Le cadre théorique a permis de transformer les deux questions initiales de la DTN en un problème de recherche :

Comment concevoir et réaliser, pour les formateurs d'entraîneurs :

- *un outil d'« étude cinématique » d'actions de jeu,*
- *un outil de « description cinématique » d'actions de jeu ?*

Ces outils auront à jouer un rôle d'aides didactiques : permettre aux formateurs d'entraîneurs de décrire objectivement quelques séquences vidéo d'actions de jeu typiques.

L'outil d'« étude cinématique » devra permettre de modéliser les corrélations entre certaines variables cinématiques (i.e. : configurations, surfaces, distances, vitesses) en utilisant un logiciel spécifique. Pour cela, il devra permettre de caractériser et de représenter graphiquement les mouvements des joueurs et du ballon à partir de fichiers constitués de leurs coordonnées à l'écran.

L'outil de « description cinématique » devra permettre aux formateurs de décrire avec précision les interactions des équipes du point de vue des variations : de leurs *configurations*¹¹, des *surfaces*¹² qu'elles occupent et des distances entre joueurs, ballon, panier. Pour cela, cet outil devra donner la possibilité de visionner des séquences vidéo d'actions de jeu typiques puis des modèles graphiques cinématiques montrant les relations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon au cours de ces actions de jeu. Ces modèles graphiques compléteront ainsi des graphismes schématiques d'entraîneurs experts, commentés et représentant ces actions de jeu typiques.

La conception et la réalisation de ces deux outils seront fondées sur des données cinématiques issues de séquences vidéo. Aussi, en accord avec la DTN, un ensemble de soixante-cinq séquences vidéo d'actions de jeu a été constitué pour être étudié. Ces séquences vidéo, filmées depuis les tribunes, rendent compte d'actions de jeu qui ont eu

¹¹ Configuration : « *The configuration of play is defined by the positions of the players at time T* » Gréhaigne, Bouthier & David (1995).

¹² Surface occupée par une équipe : C'est un modèle qui représente la plus petite surface comprenant les cinq joueurs de l'équipe réduits à des points en projection horizontale. Cette surface est détournée par les joueurs les plus en position périphérique.

lieu pendant les Jeux Olympiques de Sydney (2000). Ces séquences ont été volontairement sélectionnées pour ne rendre compte que d'une forme de jeu particulière. En effet, pour les entraîneurs, il y a différentes formes de jeu : le *jeu rapide* ou *jeu de contre-attaque*, le *jeu de transition* et l'*attaque placée*. Mais d'après Grosgeorge¹³, pour chacune de ces formes de jeu, les entraîneurs distinguent trois types de préparations collectives de tirs :

- celles avec prise de tirs de joueurs qui se trouvent à l'intérieur de la *zone réservée*¹⁴,
- celles avec tirs de récupération après un tir manqué,
- celles avec prise de tirs extérieurs à la zone réservée.

Tous les types de préparation collective de tirs n'ont été pas étudiés. En effet, les séquences vidéo sélectionnées ne montrent que des *attaques placées avec des prises de tirs extérieurs*. Trois arguments ont été avancés par la DTN, pour justifier ce choix de n'étudier que cette forme d'actions de jeu :

1. « *c'est la seule forme d'actions de jeu qui permette d'étudier des stratégies élaborées et des adaptations tactiques* »,
2. les contre-attaques n'ont pas été incluses dans l'étude car « *on peut très bien les expliquer par une prise de vitesse de l'attaque sur la défense* »,
3. les tirs de joueurs qui se trouvent à l'intérieur de la zone réservée ont également été exclus car « *ils relèvent davantage d'une lutte basée sur des techniques gestuelles* ».

La mise au point de l'outil de « *description cinématique* », par un dispositif expérimental lors de formations d'entraîneurs, n'a pas été réalisée. En effet, pour mener cette recherche, il a fallu dépasser deux obstacles techniques complexes.

Le premier obstacle était de retrouver les coordonnées sur le terrain des joueurs et du ballon. Sans ces coordonnées, il aurait été impossible d'effectuer le moindre calcul valide pour étudier les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon du point de vue cinématique. Pour obtenir ces coordonnées, il a fallu reconstruire des vues surplombantes

¹³ Notes personnelles d'entretien.

¹⁴ La *zone réservée* est aussi appelée *zone restrictive* ou encore « *raquette* ». C'est la zone, tracée au sol, de forme trapézoïdale qui se trouve sous le panier.

de chaque action de jeu à partir des séquences vidéo filmées depuis les tribunes. La méthode utilisée a consisté à concevoir, réaliser et mettre au point un « *module de redressement d'images* ».

Le second obstacle a été de répondre à des questions précises au sujet des relations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon. Pour cela il a fallu concevoir et mettre au point de nouveaux concepts et modèles interpréteurs qui offrent des perspectives d'étude cinématique.

Dépasser ces deux obstacles a abouti à des contributions originales, mais a occupé une part importante du temps de cette recherche.

Finalement, le problème de recherche a été décliné en deux sous-problèmes, qui sont présentés dans deux chapitres distincts de ce mémoire :

- Chapitre 2 : « *Modélisation des joueurs, des équipes et du ballon* »,
- Chapitre 3 : « *Modélisations des mouvements des joueurs, des équipes et du ballon et des corrélations entre ces mouvements* ».

2. Dispositif de recherche

Les deux sous-problèmes de recherche n'ont pas été traités indépendamment l'un de l'autre. La conception de l'« *outil d'étude cinématique* » et de l'« *outil de description d'actions de jeu* », a été menée en anticipant sur le rôle que les modèles auront à jouer dans les formations d'entraîneurs.

Pour rendre possible la description d'actions de jeu du point de vue cinématique, des concepts et des modèles ont été mis au point en s'inspirant de ceux utilisés par d'autres chercheurs. La méthode a consisté à adapter des modèles mis au point pour étudier des actions de jeu de football en vue d'étudier des actions de jeu de basket-ball. Ces modèles permettent de décrire avec précision les variations :

- de configuration des équipes,
- de surface occupée par chaque équipe,
- de distance entre joueurs, ballon, panier,
- de vitesse des joueurs et du ballon.

Pour vérifier si des points de vue, qui n'avaient pas été envisagés jusqu'à présent, sont pertinents pour étudier les actions de jeu, de nouveaux modèles interpréteurs ont été mis au point : Par exemple, pour étudier des actions de jeu de basket-ball du point de vue des corrélations entre les variations des surfaces occupées par les équipes. Pour cela, il a fallu mettre au point les modèles suivants :

- le rapport mathématique : de la surface occupée par l'équipe attaquante, sur la surface occupée par l'équipe en défense,
- la vitesse d'expansion de la surface occupée par l'équipe attaquante,
- la vitesse d'expansion de la surface occupée par l'équipe en défense,
- le rapport de la vitesse d'expansion de l'équipe attaquante sur la vitesse d'expansion de l'équipe en défense.

Et, pour étudier des actions de jeu de basket-ball du point de vue des corrélations entre les variations de distances qui séparent les équipes du ballon et du panier, il a fallu mettre au point d'autres modèles :

- la distance entre le ballon et le barycentre de l'équipe attaquante,
- la distance entre le ballon et le barycentre de l'équipe en défense,

- la distance entre le panier et le barycentre de l'équipe attaquante,
- la distance entre le panier et le barycentre de l'équipe en défense,
- la distance entre le barycentre de l'équipe attaquante et le barycentre de l'équipe en défense.

La mise au point de l'outil d'« étude cinématique », a été réalisée à partir de données issues de séquences vidéo d'actions de jeu numérisées. Les séquences vidéo retenues en accord avec la DTN ont d'abord servi à mettre au point le module de redressement d'images¹⁵, puis l'outil d'« étude cinématique ». Ce module a été conçu avec la collaboration du mathématicien Laurent Younes¹⁶. Les coordonnées des joueurs et du ballon à l'écran ont été enregistrées en utilisant un logiciel spécifique. L'utilisation du module de redressement d'images a permis de recalculer les coordonnées des joueurs et du ballon sur le terrain à partir de leurs coordonnées à l'écran. Les nouvelles coordonnées obtenues ont servi à calculer, pour chaque séquence vidéo d'action de jeu et pour chaque image, les surfaces, les distances, les vitesses et les rapports de variables qui nous intéressent.

Pour modéliser et représenter graphiquement les relations entre les mouvements des joueurs et du ballon au cours d'actions de jeu, la technique des *réseaux bayésiens*¹⁷ (RB) a été utilisée. Les RB sont des représentations graphiques de corrélations entre des variables. Pour Leray (1998), ce sont des outils de traitement de données qui permettent de modéliser des *relations de dépendance causale* entre des variables.

Cependant, deux raisons m'incitent à ne pas prétendre utiliser les RB pour rechercher des dépendances causales :

- Pour modéliser les mouvements des joueurs, de nombreux déterminants n'ont pas été pris en compte, par exemple : les masses des joueurs et leurs envergures.
- Les mouvements des joueurs ne sont pas des phénomènes exclusivement soumis aux lois de la physique : ils ne se reproduisent pas de façon systématique. Les joueurs sont amenés à prendre des initiatives voire à innover. D'ailleurs, la recherche

¹⁵ Ce module de redressement d'images est constitué de matrices transposées sur Excel™.

¹⁶ Laurent Younes est directeur de recherche en mathématiques à l'ENS de Cachan. Spécialiste des problèmes de traitement d'images, il travaille au *Centre de Mathématiques et Leurs Applications* (CMLA).

¹⁷ Les réseaux bayésiens sont des graphes orientés qui permettent de modéliser et de représenter l'incertitude de relations de dépendance entre des variables aléatoires.

de performances sportives consiste, en grande partie, à chercher à contourner les lois de la physique.

Ces deux raisons conduisent à utiliser les RB pour rechercher des corrélations entre variables relatives aux mouvements des joueurs et du ballon et non pas des dépendances causales entre ces variables.

Les nouvelles données cinématiques obtenues par calcul (e.g. : vitesses, surfaces, distances...) ont ainsi servi à concevoir des RB représentant les corrélations existantes entre des variables cinématiques ainsi que la force de ces corrélations.

Cependant, après différentes présentations à des entraîneurs et à des chercheurs en STAPS, plusieurs problèmes sont apparus :

- de par leur forme, les RB sont très différents des séquences vidéo d'actions de jeu et des représentations graphiques auxquelles les entraîneurs sont habitués,
- l'interprétation des RB n'est pas évidente pour les non-initiés.

Pour permettre aux entraîneurs de mieux se représenter les corrélations entre variables, mises en évidence par les RB, il a fallu réaliser :

- trois tableaux pour interpréter les RB produits,
- d'autres représentations graphiques plus lisibles, dont des tracés représentant les mouvements des joueurs et du ballon.

Pour concevoir et réaliser l'outil de description cinématique d'actions de jeu, c'est la forme d'un diaporama qui a été retenue. En effet, cette forme de présentation est de plus en plus utilisée par les entraîneurs experts. Le diaporama réalisé permet de présenter pour chacune des soixante-cinq actions de jeu :

- la séquence vidéo de l'action de jeu filmée depuis les tribunes,
- une série de diagrammes commentés par un expert, décrivant le déroulement de l'action de jeu,
- une série de RB montrant les corrélations entre des variables cinématiques propres à cette action de jeu,
- une série de représentations graphiques, plus lisibles que les RB, représentant les variables dont les corrélations sont fortes.

3. Contribution

Contribution didactique : Ce travail met à la disposition des formateurs d'entraîneurs : de nouveaux concepts, modèles et représentations graphiques, pour décrire les corrélations entre les mouvements d'équipes opposées au cours d'actions de jeu. Ces aides didactiques sont fondées sur l'étude des concepts et des graphismes schématiques utilisés par les entraîneurs experts. Les possibilités et les limites de ces outils d'experts ont servi d'inspiration pour modéliser et représenter graphiquement les joueurs, les équipes et le ballon, leurs mouvements et les corrélations entre leurs mouvements. Certaines caractéristiques ont été reprises, d'autres ont été transformées.

Contribution cinématique : Depuis qu'il est interdit de filmer en compétition de haut-niveau, les seules images disponibles pour étudier des actions de jeu sont des "*images télé grand public*". Ces images offrant un point de vue des tribunes et étant produites à partir de caméras en mouvements (i.e. : balayages et grossissements), la localisation précise sur le terrain, des joueurs et du ballon, est devenue un obstacle rédhibitoire pour étudier du point de vue cinématique leurs mouvements. Cet obstacle est rencontré depuis plusieurs années par différentes fédérations de sports collectifs et par le département de la *Préparation Olympique* (PO) de l'*Institut National du Sport et de l'Education Physique* (INSEP). Pour dépasser cet obstacle, un module de redressement d'images automatisé fonctionnant sous Excel™ a été conçu et réalisé. Il ouvre des possibilités d'études cinématiques et de descriptions permises par l'accès à une vue surplombante. L'élaboration d'un nouvel outil d'analyse d'actions de jeu, combinant une caractérisation cinématique et le recours aux réseaux bayésiens, permet de définir le point de vue le plus pertinent pour étudier les corrélations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon. Cette méthode a permis de produire des représentations graphiques et de nouvelles catégories d'actions de jeu.

Contribution technique : L'outil d'« *étude cinématique* » d'actions de jeu, conçu dans le cadre de cette recherche a la forme d'un classeur Excel™. Cet outil permet :

- de représenter graphiquement les corrélations entre les mouvements des joueurs des équipes et du ballon à partir de leurs coordonnées à l'écran. Ces coordonnées

peuvent être obtenues à partir de séquences vidéo d'actions de jeu filmées depuis les tribunes,

- de décrire ces corrélations d'un point de vue objectif.

CHAPITRE 1 : Le problème de la représentation d'actions de jeu.

Introduction

Les travaux des chercheurs qui m'ont précédé ont fait l'objet d'une revue de questions présentée dans ce chapitre. Les travaux étudiés sont ceux qui visaient à mettre en évidence et à représenter graphiquement les *tactiques* employées par des équipes de sports collectifs.

L'objectif de cette revue de questions est de s'inspirer de ces travaux pour :

- formaliser le problème de cette recherche,
- définir le type de résultats à rechercher,
- mettre au point une méthode pour résoudre ce problème,
- anticiper sur les obstacles techniques,
- anticiper sur les limites d'utilisation des résultats par les formateurs et les entraîneurs.

Pour cela, les précédents travaux de recherche ont été étudiés du point de vue :

- des problèmes abordés,
- des méthodes et des outils employés,
- des résultats obtenus,
- des obstacles techniques rencontrés,
- des limites d'utilisation des résultats par les formateurs et les entraîneurs.

L'étude de ces précédents travaux de recherche a permis de formaliser le problème de cette recherche et de mettre au point une méthode pour le résoudre. Cependant, l'objectif didactique a fait ressortir un aspect de ce problème peu pris en compte par les chercheurs qui m'ont précédé : l'importante nécessité de prendre en compte les techniques de lecture d'actions de jeu des entraîneurs experts. Pour cela, une autre revue de questions, présentée dans ce chapitre, a consisté à étudier la manière dont les entraîneurs experts interprètent les actions de jeu. Il s'agit, en étudiant la littérature technique, de disposer de l'ensemble des informations sur :

- le sens que les entraîneurs experts donnent l'expression « *lecture d'actions de jeu* »,

- les descripteurs utilisés par les entraîneurs experts pour lire des actions de jeu,
- les principes auxquels les entraîneurs experts se réfèrent pour former des entraîneurs stagiaires et des joueurs à la lecture d'actions de jeu.

Les termes de stratégie et de tactique, employés dans cette recherche, sont ambigus lorsqu'ils sont employés dans le domaine sportif. Pour mener cette recherche, il a été nécessaire de préciser leur sens.

1. Stratégie et tactique des actions de jeu

Les notions de *stratégie* et de *tactique* sont issues du domaine militaire. Leur sens dans ce domaine, différent du sens commun¹⁸, a inspiré les auteurs d'ouvrages de formations d'entraîneurs sportifs. Ces derniers se sont essentiellement inspirés des travaux de Von Clausewitz. Or, l'emploi de ces notions dans le domaine sportif a fait l'objet de glissements de sens.

Pour mener cette recherche, il a été nécessaire :

- d'étudier, à partir de leur sens originel, leur sens dans le domaine sportif,
- de préciser le sens employé dans ce mémoire.

Deux questions ont guidé ce travail :

- *Quel est le sens originel des notions de stratégie et de tactique ?*
- *Quelles sont les différentes acceptions en sport ?*

1.1. Sens originel des notions de stratégie et de tactique

L'origine de l'idée de stratégie est de postuler que les groupes humains peuvent, dans une certaine mesure, conduire et maîtriser leur histoire (Cullmann, 1998).

1.1.1. Sens originels des notions de stratégie et de tactique

Les notions de stratégie et de tactique sont d'origine grecque et sont issues du vocabulaire de la guerre :

- la stratégie désignait « *l'art de conduire des armées* » (Saint-Sernin, 1999),
- la tactique désignait « *l'ordre ou la disposition des troupes en vue de la bataille* », mais aussi « *l'art de combiner l'emploi des diverses armes en présence de l'ennemi* » (ibid).

La stratégie militaire consistait en une décision dont l'accomplissement prenait le plus souvent la forme d'une bataille décisive. L'unité de base de l'action tactique est la manœuvre, dont le but est d'orienter les troupes contre l'ennemi, soit pour s'en défendre,

¹⁸ Au sens commun : la stratégie serait l'« *...art de combiner et de coordonner diverses actions pour atteindre un but* » ; la tactique serait l'« *...art de manœuvrer et de combiner les forces disponibles pendant une bataille* ».

l'attaquer, l'éviter ou encore l'obliger à se déplacer. Dans les faits, la manœuvre sert souvent à accomplir plusieurs de ces opérations à la fois.

1.1.2. Notions de stratégie et de tactique : Distinction de sens

Dans le domaine militaire, la distinction entre *stratégie* et *tactique* n'apparaît que tardivement. Saint-Sernin l'associe à un événement précis : « *la résolution des gouvernements alliés prise lors de la conférence de Beauvais, le 3 avril 1918...* ». Cette distinction de sens nécessite de définir séparément le sens respectif de ces notions, voire d'étudier les relations qu'elles entretiennent.

Pour Von Clausewitz (1955), la stratégie est : « *L'art d'employer les forces militaires pour atteindre les résultats fixés par la politique* ». En termes de décision et de planification, la stratégie :

- « *fixe à l'ensemble de l'acte de guerre : un but qui correspond à l'objet de guerre,*
- *établit le plan de guerre compatible avec les moyens de l'Etat,*
- *élabore le plan des différentes campagnes,*
- *organise les différents engagements de celles-ci,*
- *combine les actions des forces militaires,*
- *les organise en systèmes pour leur garder leur cohérence* ».

Pour le même auteur, aussi dans le domaine militaire : « *le tacticien dirige la bataille, l'opération à vue, en adaptant, en combinant les manœuvres, l'action, l'engagement des différents moyens de combat* » (ibid).

Ces deux citations montrent que pour Von Clausewitz, du point de vue temporel, la stratégie précède la tactique et se situe à un niveau plus général d'organisation des forces à gérer. La tactique serait plus locale dans le temps mais aussi dans l'espace.

Du point de vue des opérations, la stratégie semble constituer un ensemble d'activités de planification spéculative, alors que la tactique semble constituer un ensemble d'activités d'adaptation.

1.1.3. Relation entre les notions de stratégie et de tactique

Pour Von Clausewitz (Op. Cit) : « *La stratégie prend le temps en compte et accompagne la tactique sur le terrain* ». Dans le domaine militaire, ces deux notions s'inscrivent dans une

réflexion plus large d'ordre politique. Il y aurait dans le domaine militaire, trois niveaux de réflexion et de décision : politique, stratégique et tactique. Ces niveaux seraient dévolus à trois niveaux de hiérarchie humaine : « *les gouvernements, détenteurs du pouvoir politique ; le responsable de la direction stratégique, qui reçoit mission des gouvernements... les généraux en chef qui exercent la "conduite tactique" »*. L'auteur précise que « *La politique fixe les buts et mobilise les moyens nécessaires à la réalisation d'une stratégie* ». La politique apparaît là comme un ensemble, d'activités de réflexion et de décision, plus général que la stratégie.

1.2. Différentes acceptions des notions de stratégie et de tactique dans le domaine sportif

La bataille, qui est le combat entre deux armées ou deux groupes, est au domaine militaire, ce que le match est au domaine sportif. A une plus grande échelle, une guerre est un ensemble de batailles et par analogie une compétition sportive est considérée comme un ensemble de matchs.

1.2.1. Du domaine militaire au domaine sportif : Glissements de sens et confusions

A partir d'un sens strictement militaire, l'emploi des notions de *stratégie* et de *tactique*, s'est étendu à d'autres disciplines. Actuellement, les mathématiques, l'économie la biologie et le domaine sportif, utilisent ces notions pour désigner certaines *structures logiques de l'action* (Saint-Sernin, Op. Cit.). Ces nouvelles utilisations des termes stratégie et tactique ont eu pour conséquence des glissements de sens et des confusions. Et les termes de stratégie et de tactique ont souvent été employés sans distinction de sens.

a) Confusion des rôles

A la guerre, le stratège est en position de recul par rapport au théâtre des opérations et les tacticiens sont engagés dans l'assaut. Pour ces derniers, ceci rend plus difficile la représentation d'ensemble des événements. En sport, le problème de la représentation d'ensemble du théâtre des opérations se pose aux joueurs d'une façon différente. En effet, les situations de guerre sont différentes des situations de jeux sportifs collectifs : les joueurs, qui sont les personnes engagées dans l'assaut, peuvent avoir une représentation

globale de la situation. Il s'agit d'une habileté que le joueur débutant doit acquérir¹⁹. La représentation de la situation dans son ensemble concerne, selon Gelé (1993), à la fois l'entraîneur et le joueur : « *En sport, l'entraîneur... se comporterait en stratège, le joueur... en tacticien, mais la compétition se déroulant en champ clos, permet à ces derniers... d'être à la fois tacticiens et stratèges* ». En compétition de basket-ball, les communications entre l'entraîneur et les joueurs permettent à ces derniers de réguler leurs comportements pendant le match. Il est alors réducteur de considérer que l'entraîneur a un rôle stratégique et les joueurs des rôles tactiques. Il y a, au niveau de l'activité des joueurs, confusion des rôles de stratège et des rôles de tacticien.

b) Confusion des cadres de référence

Pour Bouthier, David & Barthès (1994) : « *La part de ce qui relève de la stratégie... et... des aspects de la régulation tactique... n'est pas toujours facilement évaluable* ». En effet, il est très difficile de distinguer ce qui a été improvisé par les joueurs de ce qu'ils ont réalisé en conformité avec un plan d'action élaboré à l'avance.

Lorsqu'ils rédigent des articles techniques, les entraîneurs experts utilisent les notions de *stratégie* et de *tactique* pour décrire des événements précis : telle compétition, tel match, telle action de jeu. Pour comprendre un article technique particulier, il est nécessaire de prendre en compte le cadre auquel se réfère l'auteur.

1.2.2. Notions de stratégie et de tactique, différentes acceptions en sport

a) Sens employé dans le domaine sportif

Dans le domaine sportif, les experts ne s'accordent pas sur le sens des notions de *stratégie* et de *tactique*. Parmi les définitions étudiées pour cette recherche, celles qui permettent le mieux de décrire les situations de jeux sportifs collectifs sont :

- la stratégie qui « *désigne un plan d'action complet... le décideur explore toutes les possibilités d'action que la situation présente (construction du schéma de causalité du jeu, qui est une description systématique de toutes les conséquences de l'action) et associe à chaque perspective une valeur qui représente à ses yeux*

¹⁹ A ce sujet, Grosgeorge (1999) écrit : « *Il faut d'emblée apprendre aux joueurs à garder le lien entre la "photo globale" de la situation de jeu (le 5c5) et le détail ponctuel (le 1c1...)* ».

l'utilité du résultat obtenu (construction d'un schéma de finalité) » (Saint-Sernin, 1999),

- la tactique qui désigne la « *conduite de l'exécution des opérations réelles... » (ibid).*

On retrouve, dans ces définitions, des éléments propres aux situations sportives :

- les opérations stratégiques consistant à élaborer un plan d'action et les opérations tactiques d'exécution,
- la réflexion stratégique d'exploration des possibilités d'action (i.e. : prospection) et de leurs conséquences représentées par des schémas de causalité.

b) Différents sens des notions de stratégie et de tactique des formateurs d'entraîneurs

Pour définir les différents sens que les formateurs d'entraîneurs donnent aux notions de stratégie et de tactique, il faut répondre à deux questions :

- *Comment les notions de stratégie et de tactiques sont-elles définies par les formateurs ?*
- *Comment ces notions s'articulent-elles dans le discours des formateurs ?*

A cette fin, les ouvrages étudiés sont ceux que les jurys prennent comme références pour les examens des *Brevets d'Etat d'Educateur Sportif (BEES)* :

- les *Mémentos de l'éducateur sportif 1^{er} & 2^{ème} degrés* (col. INSEP),
- le *Manuel de l'éducateur sportif* (col. Vigot).

Mais, ces ouvrages étant destinés aux formations communes aux différentes disciplines sportives, les notions de *stratégie* et de *tactique* y sont présentées d'un point de vue général.

Gelé (1993), dans un article intitulé « *Stratégie et tactique* », présente différentes acceptions de ces notions lorsqu'elles sont employées dans le domaine sportif. Pour cet auteur :

- la stratégie « *représente l'action mentale préparatoire ; Elle est aussi l'action mentale de régulation de l'action engagée* ».
- la tactique « *est l'action engagée... la mise en jeu physique et psychique* ».

Chauffier (1993), dans un article intitulé « *La préparation technico-tactique d'une équipe de sport collectif* », présente une démarche qu'il a élaborée pour les entraîneurs. Pour cet

auteur : « *La tactique naît et se justifie par la présence d'un adversaire... La tactique d'une équipe peut consister en l'utilisation successive et temporaire de plusieurs systèmes de jeu au cours du même match...* ». Chauffier ne propose pas de définition de la stratégie, mais il souligne deux spécificités des sports collectifs :

- les objectifs poursuivis (détermination du système de jeu, développement des qualités adaptatives de l'équipe et de ses joueurs, observation analyse et interprétation du jeu),
- le choix privilégié de certaines formes d'entraînement (individuel ou collectif, efforts intenses ou modérés, exercices d'attaque ou de défense, connus ou nouveaux, tâches motivantes ou contraignantes).

Grosgeorge (1993), dans un article intitulé « *L'importance de la tactique* », rend compte des points de vue d'auteurs majeurs au sujet :

- de la relation entre les techniques et la tactique,
- du statut de la tactique selon les disciplines sportives.

Pour Grosgeorge, il faut prendre en considération les relations entre la tactique et la technique. Cet auteur expose les deux conceptions couramment rencontrées dans le milieu de l'entraînement sportif :

- celle de « *la subordination de la tactique à la technique* ».
- celle de « *la subordination de la technique à la tactique* ».

La technique est définie par Grosgeorge comme l'ensemble des actions gestuelles et individuelles, possibles. Ce qui lui permet d'écrire qu'« *un plan tactique n'est réalisable que sur une base technique correspondante* ». L'auteur s'appuie sur les propos de Matveiev (1983) pour ajouter que la subordination de la tactique à la technique est la conception qui est le plus souvent admise.

L'étude des ouvrages rédigés pour les formations d'entraîneurs montre que dans le domaine sportif les notions de *stratégie* et de *tactique* sont employées avec diversité de sens et même avec des glissements de sens. Mais, ces sens sont toujours en rapport avec l'utilisation que les auteurs font de ces notions. D'après Gelé (1993), les réflexions stratégiques et tactiques des entraîneurs regroupent trois préoccupations majeures relatives à :

1. la théorisation de l'activité sportive,
2. l'apprentissage, l'entraînement,
3. la compétition.

Ce qui est commun à ces définitions est que : la stratégie est considérée un ensemble d'activités préparatoires et la tactique comme un ensemble d'activités d'adaptations.

1.2.3. Evolution de principes stratégiques et tactiques en sport

Les actions de jeu de nombreux sports collectifs (e.g. : volley-ball, football, hockey) ont été l'objet de recherches scientifiques. Les résultats de ces recherches ont été diffusés dans des ouvrages techniques, des revues fédérales, des brochures, des feuillets techniques ou plus récemment encore sur internet. Essentiellement descriptives, ces approches ont cherché à mettre en évidence des principes généraux qui rendent compte d'une certaine permanence dans ce qui semble n'être que changement (e.g. : les principes de *défense de zone* et de *défense homme à homme*).

Repris par les entraîneurs pour élaborer des stratégies, les principes tactiques d'actions mis au jour, qui reposent essentiellement sur la forme de jeu, ont induit des comportements collectifs et individuels stéréotypés qui ont vite montré leurs limites : la lecture du jeu devenant aisée, les équipes adverses pouvaient anticiper, voire induire les comportements de leurs rivaux. Ainsi, en football et selon Gréhaigne (1997) : « *en vingt ans, le jeu a complètement changé... D'un point de vue tactique on est passé de l'organisation quasi-exclusive de la défense avec des systèmes de jeu rigides à une façon de jouer où les joueurs peuvent changer ou faire évoluer leur mode de jeu en adoptant tel ou tel type de comportement à partir d'une trame de jeu commune* ». L'évolution décrite par Gréhaigne est également apparue dans d'autres sports (e.g. : en rugby²⁰). Celle-ci consistait en une évolution des principes généraux : de la forme de jeu vers la structure du jeu, avec ses lois de transformation et de régulation (Gelé, 1993).

1.3. Sens des notions de stratégie et de tactique pour cette recherche

²⁰ Les travaux sur le rugby ont débuté à la fin des années 70. René Deleplace qui en est à l'origine, est l'auteur du modèle appelé « *systématique des choix tactiques en jeu* », plus généralement appelé « *modèle logique deleplacien* ».

Lorsqu'ils préparent des équipes à des compétitions, les entraîneurs sportifs ont besoin de pouvoir anticiper sur les réactions des équipes adverses. Cette préparation consiste à construire et à apprendre des plans d'action à l'avance afin de maîtriser les événements qui auront lieu sur le terrain pendant le match. Cette démarche consiste à distribuer des rôles à des joueurs en fonction de leur poste de jeu.

Au cours du match, les joueurs et les entraîneurs interviennent aux plans stratégiques et tactiques. Il devient dès lors très difficile de distinguer les activités stratégiques des activités tactiques. Pour mener cette recherche :

- la stratégie est définie comme l'ensemble des activités et des produits de conception de plans d'actions,
- la tactique est définie comme l'ensemble des activités d'application, d'adaptation, de régulation en temps réel, de ce qui a été prévu par la stratégie, voire d'improvisation face aux réactions inattendues des équipes adverses.

Ces définitions permettent de considérer que l'étude des actions de jeu pourrait permettre de mettre en évidence certaines relations qu'entretiennent les équipes. Les nouvelles connaissances produites pourraient alors servir aux entraîneurs à élaborer des stratégies de jeu, c'est-à-dire à concevoir des plans d'action.

2. La lecture "sportive" d'actions de jeu

Pour élaborer des stratégies de jeu, les entraîneurs doivent préalablement décrypter les tactiques que les équipes adverses emploient lors d'actions de jeu. Il s'agit là d'une activité de *lecture d'actions de jeu*.

La littérature technique montre que les entraîneurs experts décrivent exclusivement des actions de jeu d'une durée de quelques secondes précédant un tir et jamais une mi-temps ni même une partie entière. L'expression *lecture d'actions de jeu* semble ainsi plus adaptée que l'expression *lecture du jeu*.

La présente recherche s'est attachée à passer en revue les questions suivantes :

- *Que signifie l'expression « lecture du jeu » pour les entraîneurs experts de basket-ball ?*
- *Quels sont les descripteurs d'actions de jeu des entraîneurs experts ?*
- *Quelles sont les méthodes pour former à lire le jeu ?*

Pour répondre à ces questions, les principaux ouvrages et articles techniques utilisés pour la formation initiale et continuée, dont les entraîneurs experts sont les auteurs, a fait l'objet d'une analyse de contenu.

2.1. Signification de l'expression « lecture du jeu » pour les entraîneurs experts

Selon qu'ils jouent un rôle de formateurs ou d'entraîneurs, les experts parlent de « *la notion de lecture du jeu* » ou évoquent l'activité à laquelle cette notion fait référence.

L'activité de lecture d'actions de jeu n'est pas exclusivement propre aux entraîneurs et aux formateurs. Les joueurs aussi pratiquent cette activité, ce qui leur permet :

- d'adapter, au cours d'actions de jeu, les consignes de l'entraîneur aux impondérables,
- de comprendre le discours de leurs entraîneurs.

2.1.1. Notion de lecture du jeu

Dans un article intitulé : « *Lire le jeu – Jouer juste* », Ballarini & Grosgeorge (1996) parlent de la notion de lecture, que ces auteurs définissent ainsi : « *Utilisée dans un sens large la notion de lecture se superpose avec celle de compréhension...* ». Le terme *compréhension*

est employé par ces auteurs dans un sens général : « *saisir la signification, percevoir l'origine et le but, les raisons* »²¹. Lire des actions de jeu, consisterait donc à découvrir le sens de l'activité des joueurs, percevoir l'origine et le but des actions de jeu, deviner les intentions et identifier les conditions qui permettent aux joueurs d'agir.

2.1.2. Activité de lecture du jeu

Pour les entraîneurs interrogés par Grosgeorge & Wolff (1998), le but de l'activité de lecture du jeu est de « *trouver les réponses techniques appropriées au problème posé par la défense ou d'une façon plus générale savoir, par ses actions, poser problème à l'adversaire* ». Ces propos sont corrélés avec ceux de Ballarini & Grosgeorge (1996), pour lesquels cette activité est rendue possible par la présence d'un « *système de signaux qui permettent au joueur de structurer ses réponses* ». L'idée défendue par ces auteurs est basée sur les travaux de deux chercheurs canadiens, Caron et Pelchat²², qui ont étudié l'apprentissage du hockey et du basket-ball. Lire le jeu permettrait aux joueurs d'orienter leurs actions à travers « *une cascade de décisions logiques liée aux signaux produits par leurs interactions* ».

Pour Grosgeorge & Wolff (1998), qui ont étudié les expressions idiomatiques employées par les entraîneurs experts, l'expression *lecture du jeu* « *s'emploie surtout (et à tort) pour l'attaque* ». Ces auteurs ont mis en évidence que les entraîneurs experts interrogés ont une représentation de l'activité de *lecture du jeu* réduite à l'analyse de l'activité de la défense par les joueurs de l'équipe adverse pour mieux élaborer une attaque. Dans un article technique intitulé : « *Lire la défense homme à homme (I). Les écrans, l'espace et les déplacements* », Ciani (1997) confirme cette représentation réductrice de l'activité de lecture du jeu : « *Lire veut dire connaître les mouvements défensifs et connaître la meilleure façon pour réagir...* ». Reprenant l'idée d'interaction entre l'attaque et la défense, on ne peut que s'accorder avec Grosgeorge & Wolff (1998) pour dire que l'activité de lecture du jeu n'est pas exclusivement propre aux attaquants. L'équipe en défense lit le jeu de l'équipe

²¹ In Dictionnaire de l'*Encyclopedia Universalis* (1999).

²² Caron, J. & Pelchat, C. (1975). *Apprentissage des sports collectifs - Hockey-Basket*. Ed. Les presses de l'Université du Québec - Montréal, Canada, 1975.

attaquante pour adapter ses réponses motrices. L'activité de lecture du jeu doit dès lors être considérée comme le fondement de l'interaction de tout joueur avec ses coéquipiers et ses adversaires.

2.2. Descripteurs des entraîneurs experts

Pour Bosc (1990 ; 1995), ce qui doit faire signe aux joueurs pour lire le jeu : « *C'est la lecture convenable de cet ensemble (espaces clés, intervalles) qui permet d'évaluer si un pratiquant lit le jeu ou non* ». Il ne s'agit là que de quelques indices, auxquels il faut ajouter l'occupation du terrain ; le même auteur écrit à ce sujet : « *C'est une notion fondamentale qui va aider à la lecture du jeu. C'est une notion mal enseignée car peu de joueurs connaissent les axes, les lieux et les lignes de force qui ordonnent le jeu* » (ibid). Les repères auxquels l'entraîneur doit sensibiliser le joueur seraient donc abstraits.

2.3. Méthodes pour former à lire le jeu

Pour Ciani (1997), la nécessité de l'apprentissage de techniques de *lecture du jeu* peut se justifier ainsi : « *La chose la plus importante est d'augmenter la capacité des joueurs à lire une situation défensive particulière et de leur donner les instruments nécessaires pour la battre* ». Savoir lire le jeu de la défense semble donc, de l'avis de l'expert, fondamental pour prendre des décisions relatives à l'attaque. Ainsi, bien que très insuffisante pour faire d'un joueur un basketteur performant, l'habileté à lire le jeu semble indispensable pour jouer avec un minimum d'efficacité.

Pour Ballarini & Grosgeorge (1996) : « *Il n'y a aucune méthode qui empêche d'apprendre à lire le jeu* ». Le propos peut sembler déroutant dans la mesure où l'activité de l'entraîneur consiste, entre autre, à chercher des méthodes efficaces et non à lister celles qui ne le sont pas. Mais, ces auteurs ajoutent que : « *le problème n'est plus celui de trancher en terme de méthode plus ou moins globale mais de repenser les relations entre les aspects décisionnels et les acquisitions d'automatismes. Leur combinaison doit se faire le plus tôt possible...* ». Il s'agit plus précisément de « *de proposer des situations dans lesquelles il y ait une condition de choix " si..., alors... "* ». L'auteur ajoute « *Il semble plus judicieux de commencer les apprentissages avec des exercices qui intègrent la tactique et la technique* ». La formation

aux techniques de lecture du jeu ne semble pensée ici que par des mises en situations d'activités physiques.

Pour Grosgeorge (1999b), pour favoriser l'apprentissage de la lecture du jeu « *Il faut d'emblée apprendre aux joueurs à garder le lien entre la "photo globale" de la situation de jeu (le 5c5) et le détail ponctuel (le 1c1 balle en mains)* ». Pour expliquer plus précisément le sens de ses propos, le même auteur revient aux origines de cette notion : « *Ces remarques méthodologiques se rapprochent des conceptions de G. Burjwill (Université de Halmstod - Suède) dans l'apprentissage du football sur l'importance de la "split vision" (définie comme la capacité à partager son attention entre ce qui est proche de la balle et ce qui en est plus éloigné, voire entre ce que l'on doit faire et ce qu'attend l'entraîneur). Selon cet auteur il faut d'emblée dès le début des apprentissages techniques garder réunis l'œil et la pensée.* » (ibid).

2.4. Prise en compte des points de vue d'entraîneurs experts

Les entraîneurs et les joueurs ont une activité de lecture d'actions de jeu dans deux types de situations. A l'approche d'une compétition ou d'un match particulier, cette activité leur sert à élaborer des stratégies en étudiant les actions de jeu vécues par les équipes adverses. Plus tard, en compétition, l'activité de lecture d'actions de jeu leur sert à anticiper en adaptant la stratégie prévue à l'activité de l'équipe adverse. La lecture d'actions de jeu permettrait de décoder les tactiques employées par les équipes. Cette activité consiste à attribuer des intentions aux joueurs et à spéculer sur l'existence de relations de causalité entre des événements qui ont lieu au cours d'actions de jeu (e.g. : mouvements des joueurs et du ballon passes, tirs, dribbles).

Cependant, disposant de peu de moyens, il est difficile aux formateurs, entraîneurs et joueurs de vérifier leurs perceptions et leurs interprétations. Pour lire le jeu, les entraîneurs experts utiliseraient des descripteurs abstraits qui font référence à des configurations d'équipes, des distances entre joueurs ou des zones et des surfaces occupées ou à occuper par les équipes. Ces descripteurs se réfèrent à des concepts peu définis (espace clés, ligne de force) et non pas à des grandeurs observables (distance, surface, vitesse). L'entraînement des joueurs à la lecture d'actions de jeu vise :

- à leur permettre de mieux se représenter mentalement des actions de jeu dans leur ensemble (i.e. : opérations et mouvements collectifs) ainsi que les opérations plus locales (i.e. : un contre un),
- à optimiser les relations entre les aspects décisionnels et l'acquisition d'automatismes.

Pour atteindre cet objectif, les méthodes employées par les entraîneurs experts consistent à mettre en place des exercices tactiques et techniques. Enfin, la littérature ne fournit pas d'information sur les méthodes et les techniques de formation d'entraîneurs à la lecture d'actions de jeu.

3. Les représentations graphiques d'actions de jeu

Les précédentes recherches fondées sur une approche cinématique ont consisté, à partir de données objectives, à mettre en évidence, à caractériser et à représenter graphiquement les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon. Pour cela ces recherches proposent des modèles qui permettent de voir ce qui n'était pas directement visible auparavant. Cet objectif et cet objet de recherche sont communs à la présente recherche.

Parmi les travaux étudiés, certains ont été menés à la demande de cadres sportifs. En effet, comme le souligne Barthès (1998) : « *l'œil de l'expert" ne suffit pas toujours et souvent il a besoin de confirmations par l'intermédiaire de données tangibles...* ». Les chercheurs justifient le recours aux concepts et aux lois de la cinématique, pour étudier les mouvements des joueurs et du ballon par le besoin de disposer de données objectives et fiables et de représentations graphiques. Ils s'accordent ainsi avec le point de vue d'Etienne-Jules Marey qui écrivait déjà en 1867, que par l'approche cinématique : « *Les illusions de l'observateur, la lenteur des descriptions, la confusion des faits disparaissent...* ». Dans le but de rendre "lisibles" les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon et de pouvoir les interpréter, les précédentes recherches d'approche cinématique représentent des sources d'inspiration pour mener la présente recherche. Parmi les travaux étudiés, les plus représentatifs sont présentés sous la forme d'une revue de questions :

- *Quels sont les problèmes abordés par les chercheurs ?*
- *Quelles sont les méthodes et les outils employés ?*
- *Quels sont les résultats obtenus ?*
- *Quels sont les obstacles rencontrés par les chercheurs ?*
- *Quelles sont les limites d'utilisation, en formation et à l'entraînement, des résultats?*

3.1. Définition du concept d'« action de jeu »

Ce qui est appelé *action de jeu* dans le cadre de cette recherche correspond du point de vue temporel à ce que certains entraîneurs appellent *phase d'attaque*.

Mais le concept de *phase d'attaque* est peu défini voire ambigu. Il laisse penser que seule l'activité de l'équipe attaquante conditionne le déroulement de l'action de jeu ; les

déplacements et les actions des défenseurs seraient totalement déterminés par ceux des attaquants. Ainsi, le concept de *phase d'attaque* laisse aussi penser qu'il suffit d'étudier l'activité de l'équipe attaquante pour pouvoir décrire le déroulement de l'action de jeu. Ce point de vue conduit la majorité des entraîneurs à ne représenter graphiquement et à ne décrire que les déplacements des joueurs de l'équipe attaquante.

Or, le jeu de basket-ball est fondé sur des interactions entre l'équipe attaquante et l'équipe en défense. Il semble alors réducteur de considérer les actions de jeu comme exclusivement dirigées par l'équipe attaquante. C'est pourquoi cette recherche s'intéresse très précisément aux relations entre les actions des équipes opposées.

Cependant, il existe bien pour chaque équipe, des phases d'attaque et des phases de défense : Une équipe est en attaque lorsqu'elle est en possession du ballon ; Elle est en défense lorsque l'équipe adverse est en possession du ballon. Si le concept de phase permet de décrire les changements de comportements des joueurs en fonctions des changements de statut de leur équipe (en attaque vs. en défense), ce concept paraît peu pertinent pour étudier les corrélations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon. Aussi, il était nécessaire proposer un autre concept que celui employé par les entraîneurs : le concept d'action de jeu (vs. concept de phase d'attaque). Mais pour mener cette recherche, il fallait définir plus précisément le concept d'actions de jeu.

En *Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives* (STAPS), le concept d'action est utilisé « *pour décrire ce que fait concrètement l'acteur dans l'environnement* » (Gouju, 2000). Dans le cadre de la présente recherche, ce concept fait référence à « *des comportements moteurs observables* » (Parlebas, 1994) : les mouvements des joueurs et du ballon. Ces comportements sont des « *"actions matérielles" soumises à toutes les contraintes propres aux lois du monde matériel* » (Vermersch et Maurel, 1997). Aussi, cette recherche n'a pas pour objet d'étudier les « *actions matérialisées* »²³ (Op. Cit.), ni même les « *actions mentales* »²⁴ (Ibid).

Les actions de jeu étudiées sont celles qui « *sont réalisées pour atteindre un but conscient* » (Bouthier & David, 1989).

²³ e.g. : écrire, lire une information, parler.

²⁴ e.g. : penser, décider.

En basket-ball :

- Les *joueurs attaquants*²⁵ se déplacent et déplacent le ballon pour créer les conditions les plus favorables au tir (Ballarini, 1996 ; Vincent, 1999). La préparation collective du tir « *peut faire intervenir 2, 3, 4, voire 5 joueurs... dans le but de créer un avantage pour un joueur* » (Vincent, 1999) : celui « *qui a le statut de tireur extérieur au sein de l'équipe* ». Pour cela, les attaquants essaient de conquérir des espaces clés qui sont favorables à l'exécution d'un tir.
- Les défenseurs se déplacent pour « *perturber l'attaque en contrariant la mise en place du dispositif d'attaque* » (Grosgeorge, 1994) voire récupérer le ballon.

Les seules actions de jeu qui permettent l'étude des stratégies élaborées et leurs adaptations tactiques sont les *attaques placées avec des prises de tirs extérieurs*. Pour mener cette recherche, ces actions de jeu sont bornées dans le temps. Elles débutent lorsque :

- tous les joueurs ont franchi le milieu de terrain,
- tous les défenseurs sont placés,
- le capitaine de l'équipe attaquante exécute le signal gestuel de début de l'offensive.

Elles se terminent lorsqu'un tir est tenté. La durée maximale théorique d'une action de jeu est de 24 secondes (durée réglementaire). La durée moyenne est de dix secondes. Dans le cadre de la présente recherche, l'étude d'actions de jeu consiste à caractériser les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon et à mettre en évidence les corrélations entre ces mouvements.

L'étude des actions de jeu est fondée sur l'idée que leur déroulement est soumis à un certain déterminisme et que les actions de jeu se déroulent comme des phénomènes physiques. Etudier des actions de jeu consiste alors à rechercher ce qui est déterminant. Il ne s'agit là que d'un point de vue. En effet, les joueurs et le ballon ne sont pas exclusivement soumis aux lois de la physique ; les joueurs peuvent prendre des décisions et ainsi avoir des comportements inattendus. Et le jeu de basket-ball évolue d'année en année. Le point de vue construit ne s'applique donc que pour étudier des actions de jeu séparément.

²⁵ Un attaquant est un « *joueur faisant partie de l'équipe en possession de la balle* » Grosgeorge & Wolff (1998).

3.2. Etude cinématique d'actions de jeu

La cinématique a pour objet la description des mouvements des systèmes matériels. Elle étudie les mouvements et le temps, indépendamment des causes qui les provoquent. L'approche cinématique consiste à caractériser le mouvement d'un point par rapport à un repère en fonction de la variable temps, ce qui permet d'étudier les trajectoires, les vitesses et les accélérations. Etudier les mouvements des joueurs et du ballon comprend trois étapes :

1. déterminer un repère sur le terrain,
2. déterminer les positions successives des joueurs et du ballon par rapport à ce repère,
3. calculer les vitesses et les accélérations des joueurs et du ballon.

Pour cela, il faut d'abord à procéder à des réductions opératoires ou idéalizations : il s'agit de considérer les joueurs et le ballon comme des points que l'on cherche à localiser à des instants successifs. Au plan pratique, cette modélisation des objets peut s'avérer périlleuse. En considérant chaque joueur comme un point, on occulte les différences de taille, d'envergure et de masse entre les différents joueurs. Ceci ne permet pas de prendre en compte la façon dont chaque joueur fait varier son envergure (e.g. : l'écartement des bras des joueurs en défense) et l'orientation de son corps (i.e. : les rotations).

L'approche cinématique, contrairement à l'approche cinétique, ne prend pas en compte les masses. Or, les masses des joueurs et du ballon influencent de manière significative leurs mouvements. Les joueurs d'une même équipe de basket-ball ont des masses différentes. Ces masses doivent donc être considérées comme des paramètres déterminants des mouvements. Ces masses doivent donc être prises en compte pour modéliser des actions de jeux sportifs collectifs. D'ailleurs, ces caractéristiques (i.e. : taille, masse, envergure) déterminent le choix de l'entraîneur d'attribuer à chaque joueur un poste et des rôles particuliers.

Finalement, l'élaboration d'une méthode d'analyse des mouvements, fondée sur les théories de la cinématique, est réductrice des phénomènes. Mais une telle méthode permet de répondre à des questions précises relatives aux mouvements des joueurs et du ballon. Ceux-

ci sont considérés comme des points dont le chercheur étudie les positions relatives (i.e. : les postures ou configurations), les trajectoires, les vitesses et les accélérations.

3.3. Précédentes recherches de modélisation cinématique d'actions de jeu

La méthode mise au point pour mener la présente recherche est fondée sur l'étude des travaux antérieurs de caractérisation et de représentation graphique d'actions de jeux sportifs. Les publications étudiées sont, pour la plupart, issues des actes des *Congress of Science and Football* et des revues *Journal of Sport sciences*, *Canadian Journal of Sports Sciences* et *Science & motricité*. Les principales thèses de doctorat françaises ont aussi été étudiées. Les publications ont été sélectionnées parce qu'elles ont en commun avec la présente recherche :

- certains problèmes (e.g. : caractériser, représenter, modéliser des actions de jeux sportifs collectifs),
- certaines méthodes et outils (e.g. : vidéo-informatiques),
- certains types de résultats (e.g. : données cinématiques),
- des obstacles techniques rencontrés (e.g. : la localisation des joueurs et du ballon),
- des limites d'utilisation des résultats par les formateurs et les entraîneurs sportifs.

Les travaux étudiés sont présentés dans ce paragraphe par sport et par ordre chronologique.

Ce classement permet de montrer :

1. que les objectifs diffèrent en fonction des sports étudiés,
2. l'évolution des problématiques, des méthodes et des outils mis au point.

Les paragraphes suivants présentent, de façon plus approfondie, les mêmes recherches mais cette fois-ci des points de vue :

- des problèmes abordés,
- des méthodes et instruments employés,
- des formes de présentation et types de résultats,
- des limites et obstacles rencontrés.

Deux communautés de chercheurs produisent la plupart des travaux et publications sur les sports collectifs : *Notational analysis* et *Science and Football*. Tous les sports ne font pas l'objet d'autant de travaux de recherches. Les travaux menés par les chercheurs portent essentiellement sur le football. On trouve quelques travaux sur d'autres sports collectifs tels que le basket-ball ou le hockey sur gazon et quasiment aucun sur le handball.

3.3.1. Recherches sur le football

Ali (1987) a cherché à mettre en évidence des « *movement patterns* »²⁶ et à évaluer leur efficacité. Il s'est principalement posé deux questions :

- « *Are there specific patterns of attack which can be identified in the game ?* »²⁷.
- « *How successful is each pattern in influencing the result of the match ?* »²⁸.

Pour répondre à ces questions, Ali a étudié quelques matchs d'une équipe écossaise de 1^{ère} division. Le recueil des données a été effectué par un observateur positionné sur le bord du terrain, au centre de la ligne de touche. Ce dernier, en utilisant un code, devait retracer au crayon, les mouvements des joueurs et du ballon lors d'attaques, sur des schémas représentant des terrains de football. L'étude des mouvements des joueurs et du ballon ne pouvait pas être précise car la localisation des joueurs et du ballon était très approximative. Aussi, Ali n'a pas cherché à faire d'étude cinématique, mais a classé les « *movement patterns* » en fonction de la distance entre un axe reliant les deux buts et le tracé des trajectoires du tireur et du ballon. Pour mettre en évidence les relations entre les « *movement patterns* » et leur efficacité, Ali a réalisé une analyse par traitement statistique. Ce travail lui a permis :

- de réaliser des tracés de mouvements des joueurs et du ballon,
- de mettre en évidence l'existence de sept types d'« *attacking patterns* » ou « *modèles d'attaque* »,
- de montrer que les attaques qui se déroulent de long de l'une ou de l'autre aile sont plus efficaces que les autres.

²⁶ i.e. : *modèles de déplacements*.

²⁷ i.e. : « *Existe-t-il des schémas d'attaque qui peuvent être identifiés dans le jeu ?* ».

²⁸ i.e. : « *Quelle est l'efficacité de chaque schéma qui influençant le résultat du match ?* ».

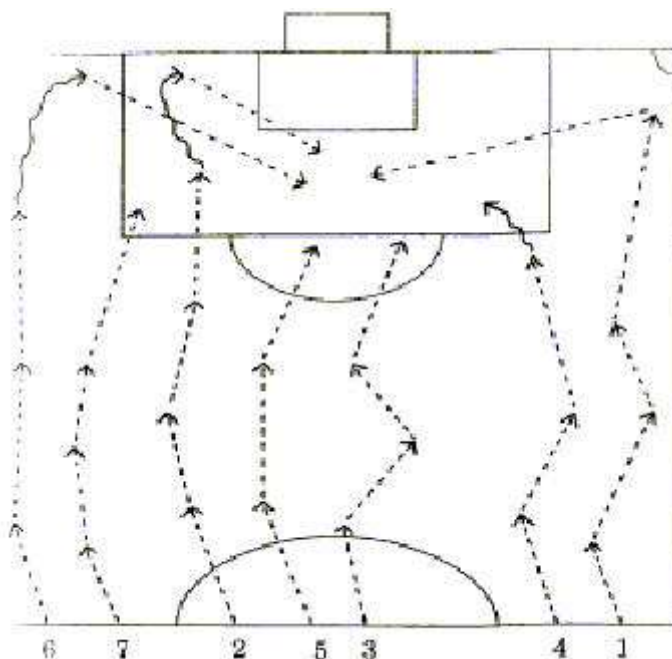


Figure 1 : Sept types d'attaque (d'après Ali, 1987)

Pour étudier le jeu de football, Gréhaigne (1987) a cherché à modéliser les surfaces occupées par les joueurs en match. L'auteur avait déjà posé les prémises de son interrogation en ces termes : « *Quite obviously, a system which objectively quantifies the movements of performer within the game situation would be a valuable tool to aid the coach in evaluating team performance* »²⁹. L'auteur a développé un système qui enregistre l'espace couvert par chaque joueur. Pour cela, les positions successives de chaque joueur ont été préalablement représentées par un nuage de points. Les données obtenues ont fait l'objet d'un traitement statistique qui a consisté à calculer les droites des moindres carrés ainsi que les écarts à ces droites (i.e. : indice de dispersion). Cette recherche a permis de :

- représenter le terrain de football en zones occupées ou à occuper,
- mettre en évidence l'existence de quatre *systèmes de jeu*,
- représenter graphiquement l'évolution du jeu au cours de différentes phases, sous forme de nuages de points et de droites des moindres carrés.

²⁹ i.e. : « *Un système qui quantifierait objectivement les mouvements des joueurs au cours de situations de jeu devrait être un outil précieux pour aider l'entraîneur à évaluer les performances de l'équipe* ».

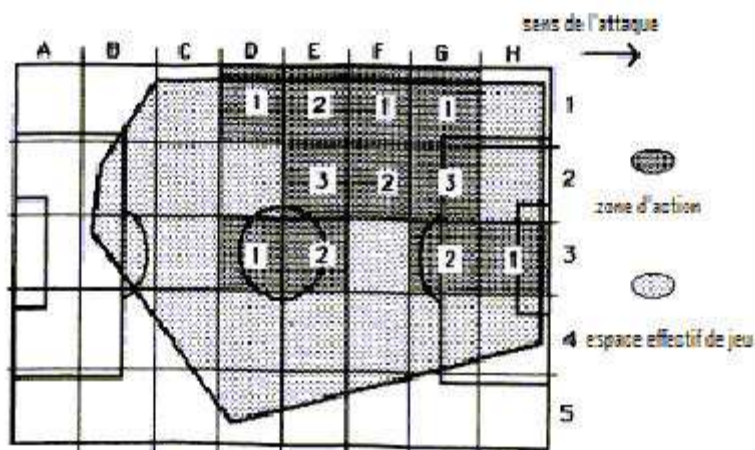


Figure 2 : Exemple d'espace effectif de jeu (d'après Gréhaigne, 1987)

La mise en évidence de zones occupées offre un point de vue topographique et permet de mettre en évidence des systèmes de jeu. Mais, ceci ne permet pas de comprendre la dynamique du jeu et les interactions entre les joueurs attaquants et défenseurs.

Hartley, Pollard & Reep (1987) ont cherché à concevoir et à développer une méthode d'assistance informatique qui permet :

- de produire des analyses objectives des performances d'équipe,
- de comparer différents styles de jeu d'un point de vue quantitatif.

Pour cela ces auteurs ont étudié les matchs de 32 équipes qui ont participé à la coupe du monde de 1982. Ils ont cherché à isoler, parmi des actions de jeu, celles dont la probabilité, d'être associées à des stratégies efficaces d'attaque ou de défense, est la plus forte. Les auteurs ont utilisé le « *Reep system* »³⁰ : un système d'analyse des performances axé sur l'identification des ruptures de jeu (vs. continuité). Le recueil des données a été réalisé en utilisant, au cours du jeu, le clavier d'un micro-ordinateur. Pour ces auteurs, les ruptures correspondent à un « *discrete on-the-ball event* »³¹. Ce concept a permis de mettre en évidence des « *particular sequences of events* »³² dont l'étude permettrait, selon ces auteurs, de définir l'efficacité de chaque action de jeu puis de concevoir des stratégies. Pour rendre compte du jeu, le système d'analyse produit des tableaux statistiques. Enfin, pour

³⁰ i.e. : le système mis au point par Reep.

³¹ i.e. : actions particulières sur le ballon : dribble, passe, tir.

³² i.e. : des séquences d'événements particulières.

Hartley, Pollard & Reep en football, la vitesse et la continuité du jeu rendent difficile le repérage des ruptures de jeu.

Hughes, Robertson & Nicholson (1987) et Hughes & Lewis (1988) ont cherché à caractériser les différences de jeu des équipes perdantes et gagnantes en possession du ballon. Pour cela, ils ont étudié plusieurs matchs des coupes du monde de football de 1982 et de 1986. Leur travail a consisté à comparer les « *pattern of play* »³³. Pour cela, ces auteurs ont :

- représenté les terrains en 8 zones,
- étudié le jeu à partir de 24 variables d'action : *Goalkeeper (kick, throw, save) foul dribble, run, clear, pass, lost possession, throw in, free kick, corner, penalty, shot (high, wide, blocked, rebound, saved, goal, end of possession, crosses, headed)*.

Pour étudier chaque match, les auteurs ont calculé, pour chaque zone du terrain, la fréquence des actions. Pour vérifier si les différences de fréquences d'action par zone sont significatives, ces auteurs ont réalisé des tests de χ^2 . Les premiers résultats sont présentés sous forme de tableaux statistiques qui ne rendent pas compte, d'un point de vue qualitatif, des stratégies et des tactiques employées par les équipes. Malgré cela, ces auteurs écrivent que des représentations graphiques des 24 variables ont été réalisées pour faciliter l'interprétation des données. Ces nouvelles représentations graphiques ne sont pas présentes dans leur article.

Hughes et Lewis (1988) ont développé un système informatisé de prise de notes pour analyser les « *attacking patterns of play in soccer* »³⁴. Ces auteurs ont étudié le jeu à partir de 37 variables d'actions individuelles (e.g. : *passes, shot, tackles...*) puis ils ont représenté le terrain en 18 zones. Ils ont ensuite calculé la fréquence des actions pour chaque zone du terrain. Des tests de χ^2 ont aussi été réalisés pour vérifier si les différences de fréquences d'actions par zone, entre les équipes perdantes et gagnantes, sont significatives. Selon ces auteurs, les équipes qui ont gagné ont fait plus de passes en attaque et ont utilisé davantage le centre du terrain que les équipes qui ont perdu.

³³ i.e. : *modèles de jeu*.

³⁴ i.e. : *les schémas d'attaque en football*.

Olsen (1987) a cherché à caractériser l'utilisation de l'espace et du temps dans les phases d'attaque menant aux buts de 52 matchs de la coupe du monde de football de 1986 à Mexico.

Pour cela, Olsen a étudié statistiquement le jeu à partir de 9 variables :

- « *the number of touch requiered by the goal scorer,*
- *the amount of space of the goal scorer had,*
- *the number of touch used by the assisting player before the final pass,*
- *the amount of space he had at the moment of the passing,*
- *the number of passes involved in the scoring move,*
- *the number of goals scored from sets plays,*
- *the specific type of set play leading to a goal (e.g. : corner, free-kicks, throw-ins, penalties),*
- *the number of goals resulting from the breakdown of a move,*
- *the location of the field in which moves break down ».*

Cet auteur a pu mettre en évidence des « *features of play* »³⁵.

Winkler (1987) s'est fixé comme objectif de mieux connaître les aspects tactiques des matches de football. Pour cela, il a cherché à dresser les *éventails d'actions individuelles*, de la finale de la coupe du monde de football de 1986 (Mexico). Pour cet auteur les *éventails d'actions* sont les unités de base des *systèmes de jeu*. Et, « *Un système de jeu peut être défini comme la solution par laquelle une équipe a réparti en fait les éventails d'action entre ses joueurs individuels dans le champ* » (ibid). Winkler a réalisé une « *analysis of the team's system of play* »³⁶. Chaque éventail d'action individuelle a été étudié. Puis l'auteur a réalisé des diagrammes représentant les tactiques employées par les joueurs, sur un fond représentant le terrain.

Bishovets, Gadjiev & Godik (1993) ont cherché à comparer des équipes perdantes et gagnantes. L'objectif de leur recherche était d'analyser les structures sous-jacentes et l'efficacité des « *collective technical and tactical moves* »³⁷ au cours des matches de la coupe du monde de 1990 et des Jeux Olympiques de 1996. Ils sont partis de l'idée que les résultats pourraient offrir la possibilité de construire des modèles de jeu de l'équipe et de programmer les entraînements. Ces auteurs ont réalisé une « *Overall analysis of the game of*

³⁵ i.e. : traits caractéristiques de jeu.

³⁶ i.e. : *analyse du système de jeu de l'équipe.*

³⁷ i.e. : *déplacements collectifs techniques et tactiques.*

*football... »*³⁸. Ils ont traité statistiquement les événements dont ils ont pris note en utilisant un micro-ordinateur. Les résultats sont présentés sous forme de tableaux de chiffres. L'évaluation quantitative a permis de mettre en évidence une grande variété de « *déplacements collectifs techniques et tactiques* » (CTTM). Les auteurs ont plus particulièrement mis en évidence les caractéristiques de CTTM qui influent sur le résultat du jeu : l'efficacité de l'attaque, l'efficacité des tirs, le coefficient d'efficacité des déplacements etc.

Zhou Yi & Luo Bo-Ping (1995) ont cherché à caractériser statistiquement les conditions permettant d'optimiser les chances de marquer un but. Pour cela, ils ont étudié des matchs de la coupe du monde de football de 1994 (USA). Ils ont analysé les « *tactical patterns creating goal chances* »³⁹. Pour cela ils ont identifié les mouvements et les zones d'attaques. Après avoir filmé 52 matches, ils ont réalisé une analyse factorielle sur 40 paramètres pour chaque tir. Les auteurs ont mis en évidence quatre « *variety of attacking movements* »⁴⁰ : *synthesis ; solo drive ; breakaway and diversion ; long and short passing combinaison*.

Au cours de son stage de DEA en laboratoire, Fernandez (1998), a cherché à répliquer une partie de la thèse de Gréhaigne (1989) : Il a cherché à vérifier si, pour l'ensemble des joueurs de chaque équipe, modélisés sous forme de points qui se déplacent dans le plan :

- les *droites des moindres carrés*,
- le *barycentre*,
- les *indices de dispersion*,

sont des paramètres pertinents pour décrire le jeu. Pour répondre à cette question, l'auteur a filmé, en vue plongeante fixe, un match⁴¹ de football opposant l'équipe de Paris St Germain à celle de Metz. Après sélection et digitalisation de quelques séquences, les positions à l'écran des joueurs ont été pointées toutes les secondes au niveau de leurs pieds. Pour retrouver la position des joueurs sur le terrain à partir de leur position à l'écran,

³⁸ i.e. : *analyse des combinaisons de jeu de football*.

³⁹ i.e. : *les modèles tactiques qui offrent des chances de marquer un but*.

⁴⁰ i.e. : *variétés de mouvements d'attaque*.

⁴¹ Il s'agit de la rencontre du 14 décembre 1997.

Fernandez a dû reconstruire une vue d'avion ou vue surplombante. Pour cela, il a utilisé un module de redressement d'images⁴² mis au point par Durey & Journeaux pour Canal+. Pour cet auteur, si les outils statistiques utilisés par Gréhaigne permettent de rendre compte de la forme générale des actions de jeu, ils ne permettent pas de mettre en évidence les tactiques employées. Fernandez conclut que les *droites de régression linéaire*, le *barycentre* et les *indices de dispersion* ne permettent pas de caractériser la dynamique de l'équipe « *alors qu'ils semblaient valides pour l'étude de l'évolution de groupements locaux de joueurs* ».

L'équipe de recherche de *Sport Universal Pro*⁴³, composée de vingt chercheurs employés à plein temps, a mis dix ans pour développer un système vidéo-informatique qui permet d'enregistrer et d'analyser les aspects tactiques de matchs de football (Garbarino, 1998). Ce système dit AMISCO⁴⁴ permet un suivi informatique quasi-automatique des trajets de tous les joueurs et du ballon à partir d'images vidéo fixes et surplombantes.

Enfin, pour mener la présente recherche, il est important de retenir que contrairement au jeu de football qui est *continu*⁴⁵, le jeu de basket-ball est *intermittent* : les actions qui se succèdent sont séparées les unes des autres par des arrêts de jeu. Ceci confirme la nécessité, soulignée par la DTN, de n'étudier que des actions de jeu typiques issues de différents matchs, plutôt que des matchs entiers. Aussi, à partir de l'étude des recherches menées sur le football, quatre choix ont été retenus :

1. Modéliser le ballon et chaque joueur sous la forme d'*un point qui se déplace dans le plan du terrain*⁴⁶ et chaque équipe comme un nuage de points dont la forme varie au cours du temps.

⁴² Ce module a été mis au point pour traiter des images fixes, c'est-à-dire sans mouvement de balayage, ni grossissement. Son utilisation nécessite de connaître la position de la caméra.

⁴³ Sport Universal Pro : Espace ICARDO - 234, route de Grenoble - 06200 Nice. Créée en 1995, cette société s'appelait Videosports, jusqu'en 2001.

⁴⁴ AMISCO : Analyseur Modéliseur Informatique de Sports Collectifs.

⁴⁵ Le terme de continu signifie ici que les actions de jeu s'enchaînent sans qu'il y ait d'arrêt de jeu.

⁴⁶ Considérer que le jeu se déroule dans le plan est une idéalisation pratique pour mener cette recherche. En effet, les joueurs sautent et le ballon se déplaçant également en hauteur, le jeu se déroule dans le volume.

2. Construire des fichiers de coordonnées successives des points représentant les joueurs et le ballon au cours d'actions de jeu typiques issues de différents matchs.
3. Etudier les mouvements des points représentant les joueurs et le ballon en utilisant des descripteurs cinématiques (e.g. : vitesse).
4. Utiliser des outils statistiques (χ^2 , indice de corrélation) pour mettre en évidence les corrélations ou l'absence de corrélation entre certaines variables cinématiques (vitesse de joueurs, distance entre des joueurs et le ballon).

Différents choix, effectués par les chercheurs, n'ont pas été retenus pour mener cette recherche. D'autres ont été adaptés. Par exemple, certains chercheurs ont noté les actions avec le ballon (e.g. : dribbles, passes, tirs) et ont cherché, en utilisant des outils statistiques, à mettre en évidence les corrélations entre ces événements. Cette orientation n'est pas retenue dans le cadre de cette recherche car elle ne correspond pas à une demande de la DTN.

Pour étudier le jeu, certains chercheurs ont modélisé le terrain de football en le représentant découpé en zones occupées ou à occuper. Il semblerait que les données produites ne renseignent que peu sur les tactiques employées ou les stratégies à adopter. Dans le cadre de cette recherche, le terrain ne fera pas l'objet d'une modélisation particulière. Pour localiser les joueurs et le ballon sur le terrain aux instants successifs, à partir des images télévisuelles :

- le terrain de basket-ball sera considéré comme un plan de 15m de largeur et de 28m de profondeur,
- un repère orthonormé sera utilisé. L'axe des abscisses correspondra à la largeur du terrain et l'axe des ordonnées correspondra à la longueur du terrain (appelée également grand axe).
- les joueurs et le ballon seront considérés comme des points qui se déplacent dans ce plan,
- pour localiser, sur le terrain, les joueurs et le ballon à des instants successifs, le grain de précision dimensionnelle sera le pixel.

Pour étudier les mouvements des joueurs de chaque équipe, d'autres chercheurs ont calculé, à chaque instant, l'écart-type du nuage de points représentant l'équipe et la droite des

moindres carrés de ce nuage. Si l'écart-type permet de caractériser la dispersion sur l'axe des abscisses (la largeur du terrain), il est ainsi étonnant de constater qu'aucun indice de dispersion sur l'axe des ordonnées n'ait été utilisé (e.g. : la kurtose). De plus, le calcul puis à l'interprétation de droites des moindres carrés ont été menés de façon inadéquate. En effet, deux erreurs sont à signaler :

- la droite des moindres carrés ne représente pas l'orientation du nuage de points,
- pour un nuage de points donnés et selon l'orientation des axes du repère choisi, il est possible de calculer deux droites des moindres carrés :

$y = ax + b$; qui permet de calculer y en fonction de x ,

$x = a'y + b'$; qui permet de calculer x en fonction de y .

Malgré ces erreurs, calculer pour des instants successifs et pour chaque équipe, la pente et la hauteur de la droite des moindres carrés d'équation $y = ax + b$ présente un intérêt. Cela permet de rendre compte de la façon dont :

- l'équipe attaquante se déploie dans le sens de la largeur du terrain (a) au fur et à mesure qu'elle se rapproche de la cible (b),
- l'équipe en défense se déploie dans la largeur du terrain (a) au fur et à mesure qu'elle défend plus loin de la cible (b),
- les mouvements d'une équipe influencent les mouvements de l'équipe adverse, en recherchant des corrélations entre les variables a et b de chaque nuage de point.

Mais pour cela il est nécessaire de définir :

- l'orientation du repère.
- le point de vue le plus pertinent.

L'axe reliant les deux cibles doit-il être considéré comme l'axe des abscisses ou comme celui des ordonnées ? Par convention l'axe de cible à cible⁴⁷ est considéré comme l'axe des ordonnées.

Faut-il étudier les variations de y en fonction de x ($y = ax + b$) ou les variations de x en fonction de y ($x = a'y + b'$) ? Considérant l'orientation du repère choisi, c'est l'équation

⁴⁷ Dans le milieu sportif, cet axe est également appelé *grand axe* pour *axe en profondeur*.

$y = ax + b$ qui est pertinente pour étudier les variations des mouvements latéraux en fonction des mouvements sur l'axe profond.

Finalement, les changements de configuration de chaque équipe (i.e. : disposition des joueurs) et la surface qu'elle occupe sera étudiée, non pas en employant des indices de dispersion, mais :

- en calculant, pour des instants successifs, la pente et la hauteur des deux droites des moindres carrés (i.e. : a et b) des deux nuages de points,
- en considérant que la surface occupée par chaque équipe correspond au plus petit polygone convexe qui contient tous ses joueurs,
- en calculant, pour des instants successifs, cette surface pour chaque équipe.

3.3.2. Recherches sur le hockey sur gazon

Franks, Wilson & Goodman (1987) ont mis au point un outil informatique pour analyser le jeu en hockey sur gazon. Leur objectif était que leur outil soit utilisé par les entraîneurs sportifs et les professeurs d'éducation physique, comme aide à la prise de décision en temps réel. Les principaux déterminants stratégiques et tactiques, sur lesquels est basé le système d'analyse informatique qu'ils ont développé, sont le règlement du jeu et sa structure. Ces auteurs ont repéré et étudié des « *sequences of activity* »⁴⁸. Celles-ci ont été hiérarchisées sous forme d'arbre d'événements pour mettre au point la procédure de traitement suivie par le logiciel. L'outil produit comprend une table de digitalisation et un ordinateur, mais aussi et surtout le logiciel conçu et mis au point par ces auteurs. Cet outil permet de produire une analyse statistique descriptive du jeu qui, selon ces auteurs, doit être consultée parallèlement à la visualisation de la vidéo du match. Les statistiques ont été utilisées pour mettre en évidence des relations entre des actions. Les analyses de jeu présentées aux entraîneurs ont la forme d'arbre de décision. Ce type de représentation graphique, qui est de plus en plus utilisé dans le domaine de la formation d'entraîneurs sportifs et d'entraînement des joueurs, peut aussi permettre de représenter des corrélations

⁴⁸ i.e. : Séquences d'activité.

entre des séries de données. Pour cette raison, il est envisagé de l'utiliser dans le cadre de la présente recherche.

3.3.3. Recherches sur le volley-ball

Eom (1998) a cherché à vérifier, si parmi les modèles de jeu offensif, il y a des différences entre les attaques et les contre-attaques. Pour cela, cet auteur a du :

- concevoir et réaliser une méthode interactive assistée par ordinateur qui permette l'enregistrement des événements qui ont lieu en match,
- étudier la nature et la force des corrélations entre les événements qui ont lieu en match.

Eom a enregistré et analysé les vidéogrammes de 164 actions de jeu de la troisième coupe coréenne (1987) de volley-ball. Les variables étudiées sont les caractéristiques des services, des sets (e.g. : *quick, medium, high...*) et des smashes. L'auteur a ensuite réalisé une analyse statistique des performances d'équipes de volley-ball à partir de ses propres vidéogrammes de matchs. La méthode de traitement des données a consisté en une *analyse stochastique*⁴⁹ en utilisant un *modèle de Markov*⁵⁰. Des tests de χ^2 , réalisés sur des tableaux de comptage d'actions de joueurs, ont servi à vérifier l'existence de corrélation entre des séries de performances. Des analyses plus approfondies, mais non-décrites par l'auteur, ont servi à comparer les attaques et les contre-attaques. Ceci a permis de détecter les dépendances séquentielles d'événements. Le système d'enregistrement des événements assisté par ordinateur, que l'auteur a conçu, réalisé et mis au point, permet :

- d'améliorer l'efficacité et la précision de la collecte de données,
- de mettre en évidence des relations entre des événements du match,
- d'analyser les différences d'organisation entre les attaques et les contre-attaques.

Là encore, l'utilisation des statistiques a permis de mettre en évidence des corrélations entre des actions.

⁴⁹ Cette méthode permet d'étudier l'évolution d'une grandeur où le « hasard » intervient au cours du temps.

⁵⁰ Soit X_t , soit t_1, t_2, \dots, t_n, t une suite croissante d'instant et X_1, X_2, \dots, X_n, X les valeurs aléatoires correspondantes, la loi conditionnelle de X connaissant (X_1, X_2, \dots, X_n) dépend de (t_n, X_n, t) , c'est-à-dire que les valeurs successives sont liées entre elles : $p\{X_t=x/X_n=x_n\}$

3.3.4. Recherches sur le basket-ball

Boutmans & de Rammelaere (1987) ont cherché à mettre à la disposition des entraîneurs un outil qui pourrait être utilisé comme auxiliaire pour l'entraînement et la compétition. Pour cela, ces auteurs ont cherché à faciliter l'utilisation de statistiques pour caractériser objectivement les matchs et/ou les principales actions de jeu de basket-ball. L'outil, que ces auteurs ont conçu et réalisé, comprend une fiche d'observation et trois logiciels :

- le premier logiciel sert pour l'introduction, le stockage, le calcul et l'analyse des données du match,
- le deuxième logiciel sert à fournir une liste de résultats en différé,
- le troisième logiciel prévoit une liste de toutes les rencontres dont les données ont été stockées.

Pour enregistrer des données du match, il faut qu'un observateur les dicte à un opérateur et que ce dernier les transmette sous forme codée à un ordinateur. Ce système permet de constituer des fichiers à partir des données suivantes :

- chaque action avec ou en fonction du ballon (dribble, passe, tir),
- le numéro du joueur qui a réalisé l'action,
- les fautes commises par les défenseurs,
- la position approximative du joueur qui réalise un tir (la surface d'attaque est représentée à partir de gabarits symbolisant un terrain divisé en 12 zones).

Le traitement statistique de ces données consiste à calculer des fréquences d'événements par joueur, par équipe, par zone du terrain et à calculer des pourcentages. Les résultats sont présentés sous forme de tableaux succincts et de graphiques.

Duke & Corlett (1992) ont cherché à identifier et à caractériser les critères de décisions de demande d'un temps mort de 35 entraîneurs de basket-ball. Pour ces auteurs : « *In basketball games, the patterns emerging from an apparently chaotic stimulus array might be so complex that heuristic approaches to games decisions are probably the norm for coaches* »⁵¹. Pour Duke & Corlett, les entraîneurs ne prennent en compte qu'un petit

⁵¹ i.e. : « *En basket-ball, les modèles de jeu émergeant de ce qui semble n'être qu'un chaos de stimulus doivent être si complexes que les approches heuristiques de décision de jeu doivent probablement être la norme pour les entraîneurs* ».

nombre de facteurs pour prendre leurs décisions. Il s'agit notamment de l'état de fatigue physique et mentale des joueurs.

La première recherche prend en compte le numéro de chaque joueur qui effectue une action. Ce numéro est important dans la mesure où il correspond à un *poste de jeu* et par conséquent il fait référence à des tâches et à des rôles particuliers. En prenant en compte le numéro de poste de jeu de chaque joueur, on peut chercher à mettre en évidence d'éventuelles relations entre ses actions et celles de l'équipe adverse.

La seconde recherche prend en compte l'état de fatigue des joueurs. Il est admis, notamment dans le milieu sportif, même si cela est contredit par de récentes recherches, que la fatigue s'accompagne d'une baisse de performances. Prendre en compte cette variable pourrait permettre de mettre en évidence les relations entre l'état de fatigue des joueurs d'une équipe et l'activité des joueurs de l'équipe adverse. Cependant, le concept de fatigue n'est pas très clairement défini et aucune donnée n'est disponible sur l'état de fatigue des joueurs filmés lors des actions de jeu à étudier.

3.3.5. Recherches sur le rugby

Singer, Soubié et Villepreux (1994) ont cherché à concevoir un système-expert pour analyser en temps réel et en différé des matches de rugby. Pour ces auteurs : « *Ce système... doit être vu comme un outil logiciel d'aide à la prise de décision tactique collective...* ». Au terme de leur travail, ces chercheurs ont réussi à élaborer un système-expert qui intègre les conceptions des entraîneurs et des scientifiques. Ce système permet de modéliser des actions de jeu sous forme de graphes proches de ceux employés par les entraîneurs. La partie experte du logiciel s'appuie sur la théorie des graphes et sur les travaux de René Deleplace fondés sur le modèle « *Systémique des Choix Tactiques en jeu* »⁵². L'outil, conçu par Singer, Soubié et Villepreux, permet de répondre à la question « *Comment aurait-il fallu jouer pour trouver une solution gagnante ?* » en prenant en compte les points de vue d'experts.

⁵² i.e. : Le modèle deleplacien.

La prise en compte des points de vue d'experts et leurs combinaisons avec des données objectives, pour produire des aides à la prise de décision, est originale et pourrait être reprise.

3.3.5. Conclusion

Cette première présentation montre que les problèmes de recherche et les méthodes utilisées diffèrent en fonction des sports étudiés. Pourtant, plusieurs aspects des recherches sur un sport peuvent servir de source d'inspiration pour étudier d'autres sports dont le basket-ball :

- les problèmes abordés par les chercheurs,
- les méthodes et instruments employés,
- les formes de présentation et les types de résultats,
- les limites et les obstacles rencontrés.

3.4. Problèmes abordés

La plupart des recherches portent sur le jeu de football. Les éléments du jeu les plus étudiés sont d'abord les actions avec le ballon (e.g. : passes, tirs, dribbles), puis les variables cinématiques et celles relatives à l'occupation de l'espace. L'étude des précédentes recherches a permis de classer en cinq catégories les problèmes abordés par les chercheurs :

- caractériser le jeu des équipes (e.g. : Hughes, Robertson & Nicholson, 1987 ; Hughes & Lewis, 1988 ; Olsen, 1987 ; Boutmans & de Rammelaere, 1987),
- identifier des « *patterns* » ou modèles d'actions de jeu (e.g. : Ali, 1987 ; Winkler, 1987),
- évaluer l'efficacité d'actions de jeu (e.g. : Ali, 1987 ; Zhou Yi & Luo Bo-Ping, 1995),
- modéliser des actions de jeu (e.g. : Gréhaigne, 1987 ; Fernandez, 1998),
- concevoir un système d'analyse objective (e.g. : Hartley, Reep & Pollard, 1987 ; Franks, Wilson & Goodman, 1987 ; Singer, Soubié & Villepreux, 1994).

L'étude chronologique de ces recherches fait apparaître une évolution des questionnements. Certaines recherches semblent même s'enchaîner avec continuité.

Du point de vue des objectifs visés, la présente recherche peut être située dans trois des cinq catégories évoquées : il s'agit de concevoir un système d'analyse objective d'actions de jeu de basket-ball fondé sur un travail de caractérisation des mouvements des joueurs, des équipes et du ballon et de modélisation des corrélations entre ces mouvements.

3.5. Méthodes et instruments employés

Parmi les pratiques sportives, ce sont celles des experts qui sont quasiment toujours prises comme objet d'étude.

Les méthodes employées par les chercheurs dépendent des outils vidéo et informatiques disponibles aux différentes époques auxquelles les recherches ont été menées (e.g. : tables à digitaliser, magnétoscopes numériques). Les outils vidéo (e.g. : caméras à hautes fréquences, magnétoscopes numériques) et les outils informatiques (e.g. : cartes à digitaliser, logiciels spécifiques) ont été utilisés lors de trois étapes des recherches :

1. la saisie des données,

2. le traitement des données,
3. la production de représentations et de modèles graphiques.

3.5.1. La saisie des données

Les premières recherches ont eu recours à la saisie manuelle des données à l'aide d'un papier et d'un crayon. Certains, comme Bouthier (1988) pour sa thèse, ont utilisé des calques posés sur l'écran d'un téléviseur connecté à un magnétoscope, pour localiser, image après image, les joueurs et identifier leurs mouvements. Cette technique nécessitait ensuite de recalculer mathématiquement les coordonnées des joueurs et du ballon pour corriger les erreurs de localisation dues à la convexité de l'écran. Plus tard, avec la commercialisation des premiers micro-ordinateurs, est apparue la saisie par clavier (e.g. : Boutmans & de Rammelaere, 1987 ; Hartley, Reep & Pollard, 1987 ; Bishovets, Gadjiev & Godik, 1993 ; Gréhaigne, Bouthier & David, 1995). Certains logiciels voire matériels ont été créés par les chercheurs pour mener leurs expériences. Pour de nombreuses expériences, la saisie des données n'a pas été réalisée pendant le déroulement du match mais en différé à partir d'images filmées et repassées plusieurs fois au ralenti (e.g. : Lewis & Hughes, 1988). Ensuite, les chercheurs ont eu recours aux premières cartes de digitalisation (e.g. : Franks, Wilson & Goodman, 1987) pour numériser, via un magnétoscope, des vidéogrammes déjà disponibles. D'autres chercheurs se sont servis d'images télévisuelles « *grand public* » (e.g. : Lewis & Hughes, 1988 ; Zou Yi & Luo Bo-Ping, 1995) produites par les chaînes de télévision avec tous les problèmes inhérents à l'absence d'obturateur⁵³ et à l'utilisation d'autofocus⁵⁴. Certains chercheurs ont également produit leurs propres images en utilisant des techniques de placements et de réglage de caméras (e.g. : Eom, 1988 ; Singer, Soubié & Villepreux, 1992 ; Fernandez, 1998). Réaliser des prises de vue spécifiques était possible, jusqu'à ce que l'exclusivité des images soit accordée, contre financement, aux chaînes de télévision. Actuellement, il n'est plus possible de filmer des compétitions sportives si celles-ci font l'objet de contrats d'exclusivité télévisuels. Les chercheurs qui veulent étudier

⁵³ Ce qui rend les images floues c'est-à-dire qui manquent de netteté.

⁵⁴ D'où des impossibilités de calculer des distances donc des vitesses et des accélérations.

de tels événements à partir d'images, doivent travailler à partir des vidéogrammes diffusés par les chaînes de télévision. Pour mener cette recherche, je dispose :

- de vidéogrammes de matchs diffusés par les chaînes télé,
- d'un ordinateur couplé à un magnétoscope via une carte de digitalisation,
- d'un logiciel qui permet d'enregistrer manuellement la position des joueurs et du ballon à l'écran, image après image avec une précision de l'ordre du pixel.

Cependant, un problème majeur est apparu :

- *Comment retrouver la position des joueurs et du ballon sur le terrain à partir de leurs coordonnées à l'écran ?*

Ce problème représente un obstacle rédhibitoire pour étudier les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon. Pour dépasser cet obstacle, il est nécessaire de concevoir, de réaliser et de mettre au point un système qui permette de calculer les coordonnées des joueurs sur le terrain à partir de leurs coordonnées à l'écran.

3.5.2. Le traitement des données

Les premiers chercheurs ont réalisé des travaux de caractérisation du jeu ou d'actions de jeu par traitement statistique à des fins descriptives (e.g. : Boutmans & de Rammelaere, 1987 ; Franks, Wilson & Goodman, 1987 ; Gréhaigne, 1987 ; Olsen, 1987 ; Eom, 1988 ; Lewis & Hughes, 1988 ; Bishovets, Gadjiev & Godik, 1993 ; Gréhaigne, Bouthier & David, 1995 ; Zou Yi & Luo Bo-Ping, 1995). Mais, des obstacles sont apparus lorsque le problème du réinvestissement des résultats à l'entraînement ou en compétition a été posé. Ceci explique que les statistiques, toujours utilisées, sont passées au second plan. Elles ont été utilisées pour réaliser des modélisations voire des systèmes experts d'aide à la décision tactique (e.g. : Singer, Soubié & Villepreux, 1992).

Dans le cadre de cette recherche, les données à traiter sont les coordonnées des joueurs et du ballon sur le terrain à des instants successifs. A partir de ces premières données, d'autres données seront obtenues par calcul et pour chaque image :

- le barycentre de chaque nuage de points représentant une équipe,
- la pente et la hauteur des droites de régression de chaque nuage de points,
- les distances entre : le ballon, le panier, chaque joueur, le barycentre de chaque équipe,

- les surfaces occupées par chaque équipe, les vitesses d'expansion de ces surfaces, le rapport de ces surfaces, le rapport des vitesses d'expansion de ces surfaces,
- les vitesses de chaque joueur et du ballon.

3.5.3. La production de modèles et de représentations graphiques

Le recours à des outils vidéo et informatiques de plus en plus perfectionnés, a permis aux chercheurs de faire évoluer les représentations graphiques d'actions de jeu.

Les résultats des premières recherches étaient présentés sous forme de tableaux de chiffres résultant de calculs statistiques d'événements notés manuellement (e.g. : tirs, passes, dribbles). Mais, ces tableaux étaient illisibles voire inadaptés pour une utilisation par les entraîneurs (e.g. : Hartley, Reep & Pollard, 1987 ; Hughes, Robertson & Nicholson, 1987 ; Lewis & Hughes, 1988 ; Bishovets, Gadjiev & Godik, 1993).

Les recherches qui ont suivi se sont fixé pour objectif de représenter les mouvements des joueurs et du ballon ainsi que l'espace occupé par chaque équipe. Les résultats étaient présentés sur un fond représentant le terrain et sous trois formes :

1. des tracés représentant les mouvements de joueurs ou du ballon (e.g. : Ali 1987),
2. des représentations graphiques de terrains découpés en zones plus ou moins occupées ou à occuper (e.g. : Gréhaigne, 1987 ; Grosgeorge, 1992 ; Gréhaigne, Bouthier & David, 1995 ; Zou Yi & Luo Bo-Ping, 1995),
3. des schémas tactiques d'attaque ou de défense (e.g. : Winkler, 1987).

Ce dernier type de représentations graphiques a rapproché, du point de vue de la forme de présentation et du codage graphique, les productions scientifiques des chercheurs des productions pragmatiques des entraîneurs.

Enfin, des chercheurs ont tenté de concevoir, réaliser et mettre au point des simulateurs interactifs d'aide à la décision (e.g. : Singer, Soubié & Villepreux, 1992).

Dans le cadre de la présente recherche, pour présenter aux entraîneurs les résultats d'analyse d'actions de jeu, trois types de représentations graphiques sont prévus :

1. des graphiques dont la forme s'apparente aux arbres de décisions. C'est-à-dire sous forme d'organigrammes,
2. des tableaux pour les interpréter facilement,

3. d'autres représentations graphiques, dont la forme est proche de celle des graphismes schématiques des entraîneurs experts. C'est-à-dire, sur un fond représentant un terrain de basket-ball et avec un codage graphique qui s'en rapproche.

3.6. Résultats

Les résultats des recherches antérieures étudiées sont deux types :

1. des caractéristiques du jeu mises au jour,
2. des représentations ou modèles graphiques et des simulateurs.

Les caractéristiques du jeu étudiées sont d'ordre cinématique, événementiel⁵⁵ (e.g. : passe, tir, dribble) ou statistique. Les représentations ou modèles graphiques et les simulateurs produits ont permis de mettre en évidence des modèles ou « *patterns* » d'action de jeu. Ils ont également permis la mise au point d'outils de représentation graphique ou de simulation.

La présente recherche vise à concevoir, à réaliser et à mettre au point un outil de représentation graphique. Pour atteindre cet objectif, l'une des étapes est d'utiliser les statistiques pour mettre en évidence des corrélations entre des variables cinématiques.

3.7. Limites et obstacles

Les limites et les obstacles rencontrés par les chercheurs sont principalement relatifs aux techniques de recueil et de traitement de données.

3.7.1. Limites et obstacles relatifs à la saisie manuelle, de type papier et crayon

Les techniques de recueil de données par saisie manuelle de type papier et crayon ont montré des limites relatives à la vitesse et la précision de retranscription des événements (e.g. : Ali, 1987). C'est par exemple, le cas lorsqu'un observateur, positionné sur le bord du terrain, note manuellement les mouvements des joueurs et du ballon selon un codage particulier. La localisation des joueurs et du ballon est alors très approximative. Ce problème constitue un obstacle pour étudier et représenter avec précision les relations, dans le temps, entre les événements.

⁵⁵ Hartley, Reep et Polar (Op. Cit) parlent de « *discrete on-the-ball event* », pour désigner des actions réalisées avec le ballon comme les dribble, les passes et les tirs.

3.7.2. Limites et obstacles relatifs à la saisie par clavier

Avec la saisie par clavier, interfaces et logiciels spécifiques, les chercheurs (e.g. : Boutmans & de Rammelaere 1987 ; Hartley, Reep & Pollard 1987 ; Bishovets, Gadjiev & Godik 1993) ne se sont pas toujours complètement affranchis des problèmes de vitesse de saisie, rédhibitoire pour une analyse en direct. Cet obstacle a été dépassé par certains chercheurs (e.g. : Lewis & Hughes 1988) en réalisant la saisie des données en différé à partir de vidéogrammes visionnés plusieurs fois au ralenti.

3.7.3. Limites et obstacles relatifs au traitement d'images télévisuelles « grand public »

L'utilisation d'images télévisuelles « grand public » (e.g. : Lewis & Hughes 1988 ; Zou Yi & Luo Bo-Ping 1995), c'est-à-dire d'images produites par les chaînes de télévision, ont posé deux types de problèmes :

1. Des problèmes de précision de la saisie dus à l'absence d'obturateur⁵⁶.
2. Des problèmes de localisation des joueurs et du ballon dus à la présence d'autofocus⁵⁷.

Ces deux problèmes en ont induit un troisième : l'impossibilité d'effectuer la moindre étude cinématique fondée sur des données précises et des calculs valides.

3.7.4. Limites et obstacles relatifs aux prises de vue spécifiques

La transition, de l'utilisation d'images télévisuelles « grand public » à l'utilisation de prises de vues spécifiques aux recherches menées, ne s'est pas fait immédiatement. En effet, il y a eu d'abord l'apparition et l'utilisation des premières cartes informatiques pour digitaliser les images provenant d'un magnétoscope (e.g. : Franks, Wilson & Goodman 1987).

Plus tard, les chercheurs ont commencé à produire leurs propres images en utilisant des techniques de placement et de réglage de caméras (i.e. : prises de vue d'ensemble du terrain,

⁵⁶ Il s'agit de problème de flou et de déformation par manque de netteté. Les objets mobiles filmés sont suivis de traînées.

⁵⁷ Ne pas pouvoir localiser précisément les joueurs et le ballon rend impossibles les calculs valides de distances, de vitesses et d'accélération.

neutralisation de l'autofocus et des mouvements de balayage). Les chercheurs définissaient le placement et le réglage de la caméra en fonction de leurs problèmes de recherche (e.g. : Eom 1988 ; Fernandez 1998 ; Singer, Soubié & Villepreux 1992). Le plus souvent, les caméras étaient positionnées de façon à obtenir une vue surplombante. La fonction d'autofocus était déverrouillée pour éviter les effets de traînée et de flou des objets mobiles. Par une localisation plus précise des joueurs et du ballon ce type de positionnement et de réglage de caméra, a permis les premiers calculs de distances et de vitesses. Mais, il résidait encore un problème de précision de localisation des joueurs et du ballon. Ce problème était dû à la convexité de l'objectif de la caméra. Les résultats des calculs intégraient de fait une certaine approximation.

Pour mener cette présente recherche, la saisie des données ne pourra pas se faire sans recours à des images filmées depuis les tribunes entraînant des problèmes de localisation des joueurs sur le terrain. Pour dépasser cet obstacle, il faudra concevoir et mettre au point un système qui permette de calculer les coordonnées des joueurs et du ballon sur le terrain à partir de leurs coordonnées à l'écran.

3.8. Reprises, adaptations, innovations

La plupart des recherches antérieures n'ont pas eu pour objectif de produire de nouvelles aides didactiques pour les entraîneurs ou les formateurs. Par contre la présente recherche est à situer parmi celles dont le but est de construire un outil de représentation graphique pour :

- permettre aux formateurs d'entraîneurs de décrire les corrélations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon,
- servir d'aide didactique à la représentation mentale des entraîneurs et des joueurs.

Pour caractériser et représenter les actions de jeux sportifs collectifs, certains chercheurs se sont intéressés aux configurations de jeu. D'autres se sont intéressés aux mouvements des joueurs, des équipes et du ballon. L'approche cinématique permet de s'inspirer des recherches précédentes sur trois points :

1. certains descripteurs utilisés, par exemple, les surfaces occupées, les vitesses et les trajectoires, qui permettent de caractériser l'activité des équipes d'un point de vue objectif (i.e. : des mesures vs. des appréciations subjectives).

2. certains des outils vidéo et informatiques employés, par exemple, les cartes de digitalisation, les logiciels d'analyse et de représentation graphique du mouvement.
3. les limites rencontrées relatives à l'exploitation d'images télévisuelles « *grand public* », par exemple, la localisation des joueurs et du ballon.

Mais, le besoin de représenter les corrélations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon pose de nouveaux problèmes : Il faut d'abord mettre en évidence ces corrélations. L'étude des corrélations, entre des séries de données chronologiques, permet d'étudier, par exemple :

- *l'influence, au cours d'une action de jeu, des variations de la surface occupée par l'équipe attaquante sur les variations de la surface occupée par l'équipe en défense.*
- *l'influence, au cours d'une action de jeu, des variations de la surface occupée par l'équipe attaquante sur les variations de la distance entre l'équipe en défense (i.e. : son barycentre) et le panier.*

Aussi, de nouveaux concepts descripteurs sont à construire pour mettre évidence les corrélations entre :

- les variations des surfaces occupées par les équipes,
- les variations des distances entre équipes, cible et ballon,
- les variations des vitesses des joueurs et du ballon.

Finalement, les aides didactiques à produire seront fondées sur l'étude d'actions de jeu typiques et auront la forme de données objectives, de concepts, de modèles et de représentations graphiques.

4. Modéliser des actions de jeu de basket-ball pour la formation des entraîneurs

4.1. Enjeux didactiques

Au cours des actions de jeu, les relations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon sont "cachées" mais déterminantes. Apprendre à se représenter mentalement ces relations, constitue un enjeu pour la formation des entraîneurs. Cet apprentissage n'est pas facile car ces relations sont très complexes. En effet, elles sont propres à chaque action de jeu et changent au cours d'une même action. Elles sont nombreuses, imbriquées et n'ont pas toutes la même importance. De plus, elles mettent en jeu de nombreuses variables (e.g. : des vitesses, des distances, des surfaces).

Parce que ces relations sont complexes, il n'est pas possible aux formateurs de les mettre en évidence pour former des entraîneurs stagiaires à la lecture d'actions de jeu. Cette recherche propose de dépasser cet obstacle et de mettre à la disposition des formateurs d'entraîneurs, de nouveaux concepts, modèles et représentations graphiques. Il s'agit ainsi de permettre aux formateurs de donner à voir et décrire ces relations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon. Pour que ces nouveaux concepts, modèles et représentations graphiques, soient utilisables par les formateurs et les entraîneurs, cette recherche vise à concevoir, réaliser et mettre au point un outil d'« *étude cinématique* » d'actions de jeu.

4.2. Orientation vers des activités de modélisation

L'orientation de cette recherche, vers la mise au point de modèles d'actions de jeu, est justifiée par trois idées :

1. Les modèles permettent de représenter graphiquement ce qui n'est pas directement visible.
2. Les modèles aident à se représenter mentalement des phénomènes complexes.
3. Les modèles sont pertinents pour étudier certains problèmes qui ne peuvent pas être étudiés directement à partir des phénomènes et des objets auxquels ils sont relatifs.

Ainsi, parce qu'il permettent de simuler le réel, les modèles permettent de répondre à des questions particulières tout en s'affranchissant de nombreuses contraintes liées à l'étude de phénomènes complexes. Cependant, ces idées ne permettent pas de définir le type de modèles à construire. Le problème de cette recherche est alors de construire des modèles utiles et utilisables par les formateurs et les entraîneurs.

Le terme de modèle est entendu ici au sens d'abstraction permettant l'interprétation de certains phénomènes et objets.

4.3. Rôles et types de modèles à construire

La réflexion, menée sur le choix des types de modèle à construire pour les formations d'entraîneurs, a servi à élaborer la démarche de modélisation. En effet, pour Martinand (1994), le choix des types de modèles à construire doit être déterminé en fonction des rôles que l'on veut leur faire jouer. Ces rôles doivent être définis à partir de « *la manière dont ils peuvent être appropriés* » (ibid). Pour Bouzitat (1998), les rôles que l'on peut faire jouer aux modèles, pour aborder un problème de jeu, sont :

- « soit de guider les joueurs dans leur manière de jouer effectivement le jeu,
- soit de les aider à atteindre, par marchandage ou par arbitrage, une solution de compromis qui tienne compte de leurs moyens d'action et de leurs intérêts respectifs,
- soit enfin d'expliquer l'évolution d'une situation concrète par référence à des principes "unificateurs" d'une portée plus générale ».

Les modèles à construire devront permettre aux entraîneurs stagiaires de se représenter mentalement les relations entre les mouvements de deux équipes opposées. Pour cela, ils devront permettre aux formateurs de décrire les relations entre deux équipes opposées du point de vue de leurs mouvements. Les modèles à construire auront également un rôle à jouer dans le cadre de cette recherche : permettre la mise au point d'un outil de description cinématique d'actions de jeu.

4.4. La modélisation d'actions de jeu de basket-ball

Dans le cadre de la présente recherche, la modélisation d'actions de jeu correspond à plusieurs idéalizations ou réductions opératoires. Chaque action de jeu est considérée

comme un phénomène unique à partir duquel on cherche à modéliser les corrélations entre les mouvements des équipes. Et, chaque équipe est constituée de cinq joueurs qui se déplacent sur un terrain de basket-ball et qui cherchent collectivement à mettre le ballon dans le panier adverse.

Pour rendre possible l'étude de la dynamique du déroulement de l'action, il faut modéliser les corrélations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon il faut d'abord modéliser leurs mouvements. Ceci nécessite de modéliser préalablement ces équipes ainsi que les éléments qui les composent (i.e. : les joueurs), l'environnement dans lequel ont lieu ces mouvements (i.e. : le terrain de basket-ball) et l'objet à manipuler pour marquer des points (i.e. : le ballon). La distinction, entre ces modèles à construire et les objets auxquels ils se réfèrent, est une reprise et un aménagement de la théorie du signe de Saussure : Ces modèles sont des représentations de phénomènes ou d'objets. De ce point de vue, la mise au point de ces modèles doit se faire en discutant les composantes "sémantiques", "syntaxiques" et "pragmatiques" de leur élaboration et de leur utilisation. Ceci implique la mise au point de méthodes fondées sur un problème impliquant un travail de modélisation :

- *Comment permettre, par l'application de modèles et par des activités de simulation, de répondre avec précision à des questions sur les relations entre les mouvements des équipes ?*

L'application des modèles pour lire des actions de jeu ne permettra de répondre qu'à certaines questions précises auxquels les formateurs et les entraîneurs ne peuvent pas répondre. Pour pouvoir répondre à d'autres questions, il faudra mettre au point d'autres modèles.

La distinction entre les descriptions avant modèles et les descriptions avec modèles permet de mettre en évidence et de discuter les perspectives de descriptions permises. Les activités de simulation, pour les formations à lire le jeu, pourront alors être envisagées.

4.4.1. Le problème impliquant un travail de modélisation

L'étude des corrélations, entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon au cours d'actions de jeu, consiste à répondre avec précision aux questions suivantes :

- *Quelles sont les corrélations entre les mouvements des équipes du point de vue des changements de configuration ?*

- *Quelles sont les corrélations entre les mouvements des équipes du point de vue des variations des surfaces qu'elles occupent ?*

Pour répondre à ces questions, les mouvements relatifs des joueurs, des équipes et du ballon sont considérés comme des « *phénomènes* » non-directement visibles que l'on cherche à modéliser. Pour cela, le terrain de basket-ball, les joueurs, les équipes et le ballon, sont considérés comme des « *objets* » à modéliser. Les différentes façons dont les joueurs se déplacent, déplacent le ballon et incitent les adversaires à se déplacer, sont des « *procédés* » que l'on cherche à étudier. Dans le cadre de la préparation à la compétition, chaque entraîneur attribue, à chacun des joueurs de l'équipe, qu'il entraîne : un *poste de jeu* et des *tâches* précises à réaliser. Les tâches, qui dépendent des postes de jeu, diffèrent en fonction des joueurs. Les postes de jeu font référence à des tâches et à des rôles que les joueurs doivent jouer. Ils s'agit là de « *rôles sociotechniques* ».

Les discours techniques, des entraîneurs experts, portant sur les mouvements relatifs des joueurs, des équipes et du ballon sont considérés comme une « *phénoménotechnique* » des actions de jeu. Ces discours permettent aux entraîneurs et aux formateurs de décrire des actions de jeu et d'élaborer des stratégies. Ces discours, disséminés dans la littérature technique, sont porteurs de concepts peu définis et de principes d'action collective difficiles à argumenter. Ils sont, le plus souvent, illustrés de graphismes schématiques qui sont considérés comme les éléments d'une « *phénoménographie* » des actions de jeu. La phénoménotechnique et la phénoménographie, des actions de jeu, ne permettent pas d'étudier avec précision les mouvements relatifs des joueurs, des équipes et du ballon. Le problème est alors de construire une « *phénoménologie* » des actions de jeu, fondée sur une activité de modélisation des corrélations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon.

4.4.2. Composantes "sémantiques", "syntaxiques" et "pragmatiques" de l'élaboration et de l'utilisation des modèles

Les modèles à construire ont été pensés en étudiant et en s'appuyant sur :

- les concepts que les entraîneurs utilisent pour décrire des actions de jeu et élaborer des stratégies,

- les représentations symboliques et graphiques utilisées par les formateurs et les entraîneurs pour représenter des actions de jeu à des fins de formations et/ou d'entraînement.

On considère alors :

- le terrain de basket-ball comme deux demi-plans joints, de forme rectangulaire de 14m X 7.5m, sur lequel se déplacent le ballon et dix joueurs,
- les joueurs et le ballon comme des points mobiles,

chaque équipe, tantôt comme un ensemble de points mobiles, tantôt comme un seul point mobile, tantôt comme un polygone mobile et déformable.

Les différents modèles à construire sont donc de trois types :

1. des modèles interpréteurs de joueurs, d'équipes, de ballon et de terrain de basket-ball,
2. des modèles cinématiques, permettant de décrire et d'étudier des mouvements des joueurs, des équipes et du ballon exprimés sous la forme d'équations mathématiques,
3. des modèles probabilistes qui permettent de mettre en évidence, de représenter graphiquement et de manière simplifiée la complexité des relations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon. Leur forme devra être abstraite mais fondée sur des données cinématiques. Il s'agira plus précisément de réseaux représentant les corrélations entre ces données.

Pour modéliser ces corrélations, il est nécessaire d'utiliser des données issues de situations concrètes, simples et clarifiables (Saint-Sernin, 2001) et non pas de spéculations événementielles basées sur la logique interne du jeu de basket-ball. Ces situations sont des actions de jeu de quelques secondes, bornées dans le temps par le règlement ou par des arrêts de jeu et non pas des matchs entiers de basket-ball. On cherchera ainsi à clarifier les relations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon.

4.4.3. Application des modèles

L'application des modèles à construire devra permettre aux formateurs et aux entraîneurs de décrire des actions de jeu à partir d'images télévisuelles « *grand public* ». Les modèles à construire devront plus précisément permettre de répondre aux questions suivantes :

- *Quelles sont les corrélations entre les mouvements des équipes considérées comme deux points ?*
- *Quelles sont les corrélations entre les mouvements des équipes considérées comme deux ensembles de points ?*
- *Quelles sont les corrélations entre les mouvements des joueurs entre eux et ceux du ballon ?*
- *Quelles sont les corrélations entre les variations de surfaces occupées par les équipes ?*
- *Quelles sont les corrélations entre les variations des distances séparant les équipes, le ballon et le panier considérés comme des points ?*

Les formateurs et les entraîneurs ne pouvaient pas répondre avec précision à ces questions avant de disposer de modèles "robustes" fondés sur une approche cinématique et probabiliste.

4.4.4. Distinction entre la description avant modèle et description avec modèle

Les possibilités de description d'actions de jeu qu'offrent les modèles à construire sont mises en évidence et discutées à partir de la distinction entre la description avant modèle et la description avec modèles. Ce travail consiste plus précisément à comparer les descriptions d'actions de jeu des formateurs et les descriptions permises par l'utilisation des concepts et des modèles construits dans le cadre cette recherche. Pour illustrer cette comparaison de descriptions, une action de jeu typique est décrite par un entraîneur expert, puis est décrite à l'aide des concepts et des modèles mis au point dans le cadre de cette recherche. La comparaison de ces deux descriptions montre que les concepts et les modèles, mis au point dans le cadre de cette recherche, complètent et affinent les descriptions de l'expert. De manière plus générale, les descriptions permises par ces nouveaux concepts et modèles peuvent également confirmer ou au contraire infirmer des intuitions d'entraîneurs ou de formateurs. Par les possibilités de descriptions qu'ils offrent, les nouveaux concepts et modèles proposés permettent de changer la façon de représenter graphiquement et de se représenter mentalement les actions de jeu de basket-ball. Ces changements devraient permettre de modifier l'intervention des formateurs auprès des entraîneurs et des

entraîneurs auprès des joueurs. Les stratégies à élaborer pourront alors être pensées en prenant en compte des informations qui n'étaient pas disponibles auparavant.

4.4.5. Simulation avec modèle

L'appropriation et l'utilisation des modèles et des concepts mis au point dans le cadre de cette recherche ne sont pas évidentes. Un apprentissage est nécessaire pour pouvoir lire des actions de jeu en utilisant ces modèles et ces concepts. Cet apprentissage consiste en un ensemble d'activités de « *manipulation-exploration du modèle et de ses virtualités, en relation avec le référent...* » (Martinand, 2000). Il s'agit plus précisément de simulation. L'activité de simulation envisagée consiste à montrer à des entraîneurs stagiaires :

- des séquences vidéo d'actions de jeu typiques,
- des graphismes schématiques d'entraîneurs experts, commentés,
- des modèles graphiques cinématiques montrant les corrélations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon au cours de ces actions de jeu typiques.

Ces graphismes schématiques commentés et ces modèles graphiques probabilistes serviront de support pour décrire les séquences vidéo d'action de jeu. Pour cela, les nouveaux concepts mis au point seront utilisés.

4.4.6. Démarche de modélisation

La modélisation d'actions de jeu nécessite de prendre en compte les relations entre les différentes étapes du réinvestissement des modèles à construire dans des situations de formation. Plusieurs schémas décrivant des démarches de modélisation, présents dans la littérature scientifique (e.g. : Morlon & al., 1995), ont été étudiés. Parmi ces schémas, les seuls qui offrent une perspective didactique sont ceux de Martinand (2000). Alors que les autres schémas représentent la modélisation par des étapes, les schémas de Martinand permettent de :

- formaliser un problème didactique nécessitant une activité de modélisation,
- construire des activités de modélisation,
- penser l'application de modèles et la simulation,
- penser les changements de points de vue des apprenants induits par ces activités, c'est-à-dire d'anticiper sur le rapport aux modèles.

Ces schémas ont été utilisés dans le cadre de cette recherche pour ces possibilités d'exploitation dans l'enseignement des sciences et des techniques.

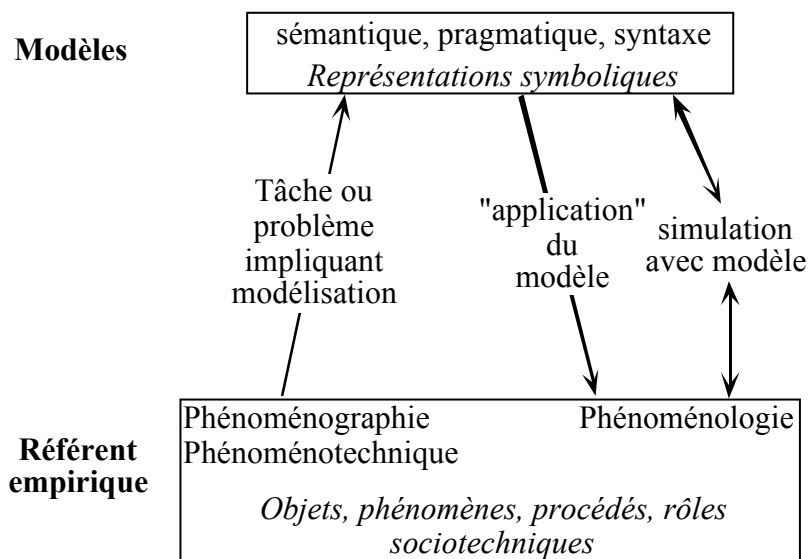


Figure 3 : Premier schéma de la modélisation (d'après Martinand, 2000)

Le registre du référent empirique est : «...celui des objets, des phénomènes et de leurs connaissances phénoménographiques » (Martinand, 2000). Le registre des modèles construits est fondé « sur ces référents, selon des exigences qui n'ont pas de solutions dans le premier registre » (ibid).

4.5. Le rapport aux modèles

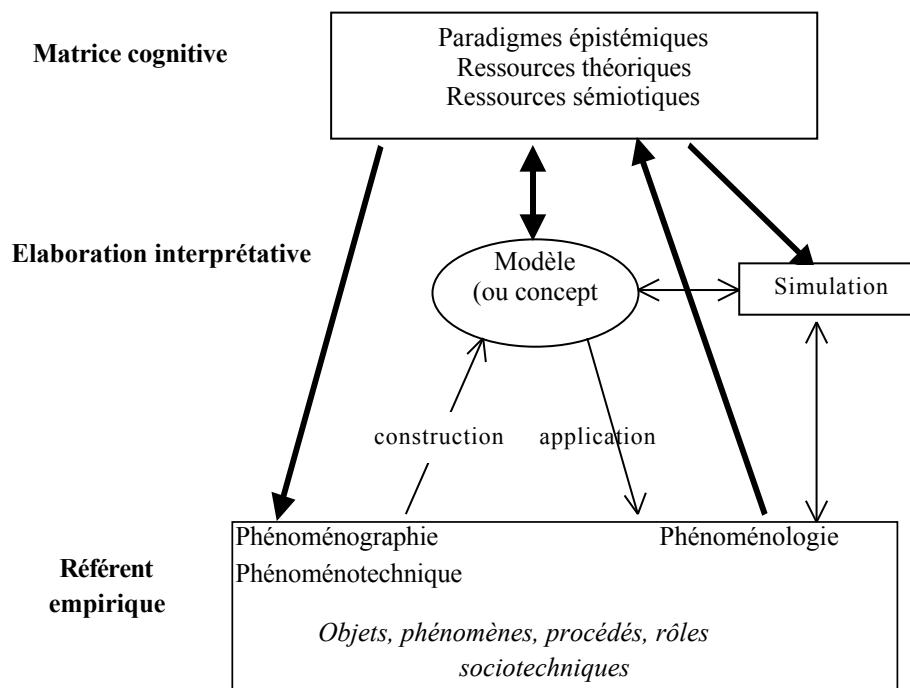
L'utilisation des nouveaux concepts, modèles et représentations graphiques par les entraîneurs, implique des remaniements importants des habitudes de ces derniers à lire le jeu. En effet, les entraîneurs disposent déjà d'éléments théoriques et d'outils intellectuels :

- des concepts stratégiques et tactiques,
- des principes d'action,
- des méthodes pour représenter graphiquement les actions de jeux.

Dans une perspective didactique, il est alors indispensable de penser l'articulation entre les nouveaux concepts, modèles, représentations graphiques et les éléments théoriques usuels des entraîneurs. La réflexion à mener consiste alors à :

- définir les enjeux et les « *formats* » de la connaissance, c'est-à-dire les « *formes de rationalité et d'objectivité, des outillages mentaux, graphiques, langagiers, mathématiques ou théoriques pour penser et communiquer* »,
- « *s'intéresser aux formes et aux lois dans les modèles, discuter de leurs limites, chercher une représentation à un niveau plus caché ou plus fondamental du réel...* » (Martinand, 2000).

Pour Martinand, « *c'est travailler dans un troisième registre...* » que cet auteur a nommé : *matrice cognitive*. Ce registre « *comprendrait à la fois des "paradigmes épistémiques"⁵⁸ ... et les ressources théoriques⁵⁹ ... et sémiotiques⁶⁰ ...* ». Le second schéma de la modélisation de Martinand, donne des indications pour penser la modélisation, à partir de l'articulation de ce registre avec le registre du référent empirique et le registre des modèles construits.



⁵⁸ i.e. : La « *conception de ce que doit être la connaissance, les formes des "bonnes pratiques" théoriques ou empiriques, les objets intéressants* » (Ibid).

⁵⁹ i.e. : Les « *théories générales de la physique...* » (Ibid.).

⁶⁰ i.e. : Les « *langage, schématisations graphiques, représentations informatiques et symbolisations mathématiques* » (Ibid).

Figure 4 : Second schéma de la modélisation (d'après Martinand, 2000)

Pour mener cette recherche, il devient alors indispensable d'étudier ce qui existe déjà chez les entraîneurs experts formateurs, c'est-à-dire :

- leurs formes de rationalité et d'objectivité,
- leurs outillages mentaux, graphiques, langagiers ou théoriques pour penser et communiquer.

Il s'agit plus précisément de chercher à répondre aux questions suivantes :

- *Quels sont les outils intellectuels disponibles et mobilisables par les entraîneurs pour lire des actions de jeu ?*
- *Quelles sont les possibilités offertes par ces outils ?*
- *De ces outils, qu'est-ce qui doit être transformé pour permettre une lecture objective des actions de jeu ?*
- *Comment, les formes de ces outils, induisent et ouvrent ou restreignent les problèmes envisageables, les représentations graphiques et mentales possibles ?*
- *Quelle part de réalité relative aux actions de jeu rendent-ils intelligible ?*

Pour répondre à ces questions, un ensemble d'articles techniques, destinés à la formation continuée des entraîneurs et rédigés par des entraîneurs experts, a été étudié. Ce travail est présenté au *Chapitre 2* de ce mémoire.

Conclusion

Le problème de la représentation de phases de jeu a été étudié de trois points de vue :

1. les points de vue des entraîneurs (descripteurs et méthodes employés),
2. les points de vue des chercheurs qui m'ont précédé (problèmes abordés, méthodes employées, résultats produits, limites et obstacles),
3. un point de vue didactique proposant un travail de modélisation.

La réflexion menée oriente cette recherche la conception et la mise au point de modèles interpréteurs. Mais pour que ces modèles soient utilisables par les formateurs comme aides didactiques, ils devront être intégrés dans un outil d'étude cinématique. Aussi, les deux questions initiales de la *DTN* ont été reformulées en un problème de recherche :

- *Comment concevoir et réaliser, pour les formations d'entraîneurs, un outil d'étude cinématique et de représentation graphique d'actions de jeu, qui permette une description objective ?*

Cet outil devra permettre aux formateurs de décrire avec précision les relations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon au cours de ces actions de jeu. Pour cela, il devra d'abord permettre de montrer des vidéogrammes d'actions de jeu typiques, puis de s'appuyer sur des concepts, données et modèles graphiques objectifs.

La méthode mise au point, pour modéliser les actions de jeu, est fondée sur une approche cinématique. Cette méthode comprend sept étapes :

1. Mise au point de modèles de joueurs, d'équipes et de ballon, qui permettent de modéliser leurs mouvements en vue de les étudier selon différents points de vue : configurations des équipes, surfaces occupées par les équipes, distances entre joueurs, équipes, ballon, panier et vitesses des joueurs et du ballon.
2. Sélection d'actions de jeu typiques à modéliser.
3. Collecte des données qui permettent la mise au point de modèles cinématiques.
4. Modélisation des mouvements des joueurs, des équipes et du ballon au cours d'actions de jeu typiques, selon les différents points de vue définis à l'étape 1.
5. Mise au point de nouveaux concepts pour décrire les corrélations entre les mouvements des équipes, des joueurs et du ballon.

6. Modélisation et représentation graphique des corrélations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon.
7. Conception et réalisation d'un diaporama vidéo-informatique.

Les nouveaux modèles produits auront alors pour rôle de se substituer aux représentations spontanées des entraîneurs stagiaires.

La première étape est présentée au *Chapitre 2* du présent mémoire : « *Modélisation des joueurs, des équipes et du ballon* ». Mais, cette étape ne pouvait pas être réalisée sans prendre en compte le point de vue des entraîneurs experts. En effet, les concepts et les codages graphiques qu'ils utilisent fondent leurs habitudes de lecture d'actions de jeu.

CHAPITRE 2 : Modélisation des joueurs, des équipes et du ballon

Introduction

Ce deuxième chapitre expose le travail de modélisation des joueurs, des équipes et du ballon. Ce travail est une étape indispensable pour pouvoir étudier des actions de jeu d'un point de vue cinématique. Ce travail est fondé sur :

- l'étude des modèles utilisés par les chercheurs qui m'ont précédé,
- les caractéristiques à donner aux modèles cinématiques à construire,
- l'étude des concepts et des codages graphiques utilisés par les entraîneurs experts pour décrire des actions de jeu.

Les deux premiers points ont été traités au *Chapitre 1* du présent mémoire.

L'étude des concepts et des codages graphiques utilisés par les entraîneurs experts est présentée ci-dessous. Cette étude est suivie du travail de modélisation des joueurs, des équipes et du ballon.

1. Etude des concepts et des graphismes schématiques utilisés par les entraîneurs experts

Ce travail a consisté à chercher à répondre à cinq questions :

1. *Comment, les entraîneurs experts représentent-ils graphiquement le terrain, les joueurs, les équipes, le ballon, leurs mouvements et les relations entre leurs mouvements ?*
2. *Quelles sont les possibilités offertes par les concepts et les graphismes schématiques utilisés par les entraîneurs experts, pour décrire les relations entre les mouvements des équipes, des joueurs et du ballon ?*
3. *Qu'est-ce qui doit en être transformé pour permettre une lecture objective des actions de jeu ?*
4. *Comment les formes de ces concepts et de ces graphismes schématiques induisent et ouvrent ou au contraire restreignent les problèmes envisageables et les possibilités de représentations graphiques et mentales ?*
5. *Quelle part de réalité relative aux actions de jeu, ces concepts et graphismes schématiques rendent-ils intelligible ?*

Pour répondre à ces questions, un ensemble de soixante-treize articles⁶¹ stratégiques et tactiques a été étudié. Ces articles sont pour la plupart issus de la revue fédérale *Basket-Ball* et de la revue technique *Pivot*. Lorsqu'ils étaient disponibles sur le site officiel de la FFBB, ces articles constituaient une *base de données libre d'accès*⁶² pour la formation continue des entraîneurs de basket-ball.

⁶¹ La liste complète de ces articles figure en troisième partie de la bibliographie.

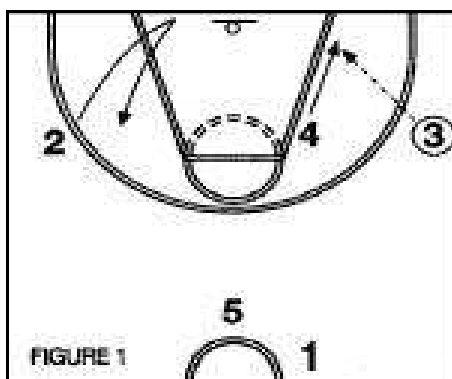
⁶² Ces articles techniques étaient disponibles sur le site de la FFBB jusqu'au début de l'année 2002. La FFBB ayant changé d'hébergeur internet, les articles n'ont pas pu être remis en ligne directement sur son nouveau site. La Direction Technique Nationale de la FFBB m'a demandé de les héberger sur mon site personnel : <http://caratome.free.fr>.

1.1. Exemple d'analyse d'une action de jeu par un entraîneur expert

Pour montrer, par un exemple issu de la littérature technique, la description d'une action de jeu par un entraîneur expert, un extrait d'article technique est présenté ci-dessous. Cet extrait, publié dans la revue Basket-ball (n°626), provient d'un article rédigé par Beesley (1998) intitulé : *La transition offensive de l'équipe de France seniors.*

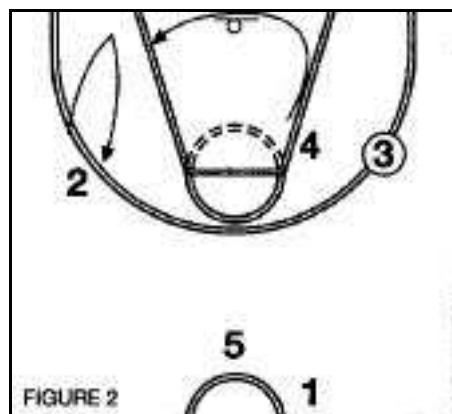
« L'EXECUTION »

La transition comprenait trois temps forts, sur chacun desquels s'offrait une situation très favorable aux attaquants.



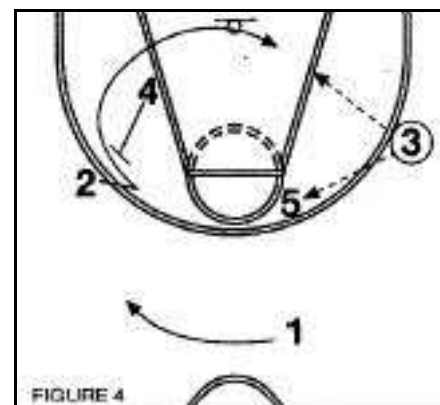
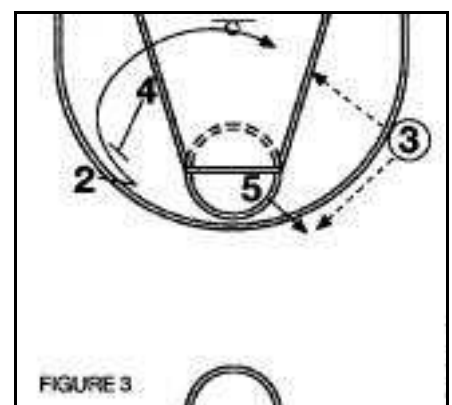
1er TEMPS FORT :

Alors que le ballon était en possession d'un des deux ailiers, nous jouions principalement sur la mobilité de nos joueurs intérieurs (GADOU, DUBOS, JULLIAN, RIPPERT). Bon nombre de paniers furent ainsi réussis sur la simple coupe du N°4, avec une prise de position préférentielle très courte en poste bas.



2eme TEMPS FORT :

Si le poste N°4 n'avait pu recevoir le ballon, il enchaînait sa course à l'opposé pour porter un écran à l'ailier, à l'extérieur de la zone réservée.

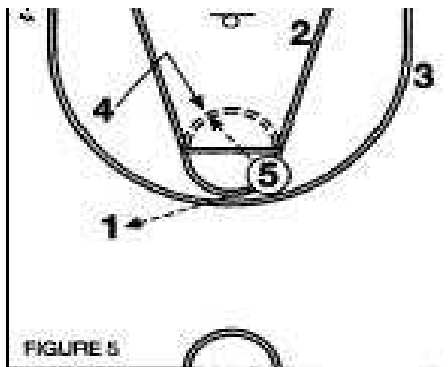


Pendant ce temps, le ballon transitait par le poste haut N°5

PRECISION :

Nous demandions à cet ailier de se positionner au-delà de la ligne des 6,25m, afin d'élargir au maximum l'espace de jeu.

Cette situation procura de très nombreux paniers faciles, car les ailiers tels BONATO, FOIREST ou RISACHER purent dans cette situation, exprimer au mieux leur agressivité offensive.

3eme TEMPS FORT :

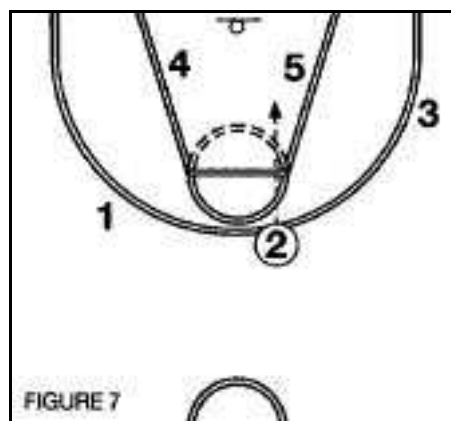
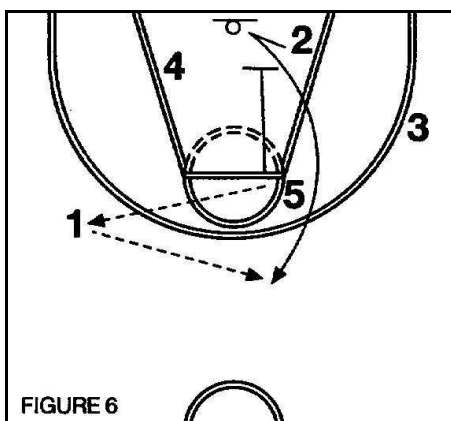
Si la passe ne parvenait pas à cet ailier, le ballon était transféré à l'opposé sur le meneur de jeu qui s'était décalé.

Mais il y avait entre temps une phase très importante qui consistait à la recherche d'une relation de passe entre le poste haut N°5 et le poste bas N°4, qui après son écran sur l'ailier s'ouvrait au ballon

(figure 5)

De nombreux paniers furent ainsi marqués par JULIAN, GADOU ou DUBOS, ces derniers exploitant au mieux le léger contre temps du défenseur du N°4.

Une fois le ballon transféré, le poste N°5 réalisait un écran vertical, afin de permettre à l'ailier N°2 de remonter. Il y avait sur cette action de très bonnes positions de tirs (figure 6) que RISACHER, BONATO et FOIREST exploitèrent avec beaucoup d'efficacité. Sachant qu'il y avait aussi une éventualité de passe en retour sur l'intérieur (figure 7). Thierry GADOU notamment fut très opportuniste sur cette situation.



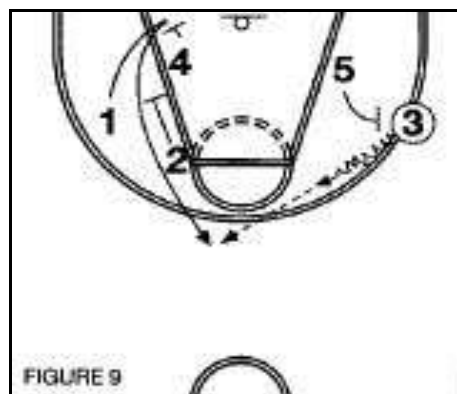
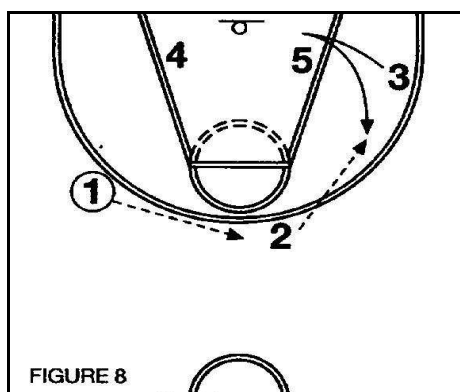
LA CONCLUSION

Faute d'avoir pu exploiter une situation sur un des trois temps forts de la transition, il nous fallait conclure, par la mise en place d'un jeu à deux qui se réalisait de la façon suivante:

- transfert du ballon du meneur vers l'ailier opposé, ce dernier s'étant démarqué avec l'aide du pivot 5.

Nous avons donc à ce moment là une situation de " pick and roll " entre l'ailier N°3 (FOIREST) et le pivot N°5 (GADOU) - figure 8.

Pendant ce temps sur le côté opposé, il y avait une fixation de la défense, par la mise en place d'un double écran du N°4 JULIAN et du N°2 BONATO et d'une feinte de coupe du meneur N°1. Ceci afin de permettre au jeu à deux de se réaliser convenablement et de préparer un démarquage pour offrir une éventuelle solution de passe, sur le meneur N°1 (PLUVY, SCIARRA ou FAUTHOUX). (figure 9)



□ » (Beesley, 1998).

Les actions de *jeu placé* sont les plus analysées par les entraîneurs experts. Ceci est probablement dû au fait que ce type d'actions de jeu est fondé sur une organisation stratégique élaborée que les entraîneurs experts essaient d'analyser. Les actions de *jeu placé* se déroulent, pour la plupart, sur des demi-terrains.

L'exemple ci-dessus a été choisi car il permet de bien illustrer la façon dont les entraîneurs experts exposent leurs analyses d'actions de jeu :

- le titre permet d'annoncer le type d'action de jeu présenté (une « *transition offensive* ») ainsi que le niveau de pratique et le genre (masculin vs. féminin) des joueurs impliqués (« *équipe de France seniors* »),
- le discours est succinct et simple mais emploie des concepts spécifiques (e.g. : écran, zone réservée, fixation),
- des graphismes schématiques (avec des représentations symboliques particulières des joueurs, de leurs actions, du ballon et de leurs mouvements) sont utilisés de façon illustrative et sont placés juste à côté du discours.

Ces trois points sont présents dans pratiquement tous les articles techniques étudiés pour mener la présente recherche. Les chapitres suivants permettent de préciser cette analyse.

1.2. Concept et représentations symboliques du terrain de basket-ball

Comme tous les sports collectifs, le basket-ball se déroule dans un *espace de jeu* délimité et aménagé avec codification : le terrain. Ce terrain est un volume, dont la hauteur est limitée par le plafond du gymnase. Les joueurs et le ballon se déplacent dans les trois dimensions de ce volume. Les limites du terrain et ses différentes zones sont définies par le règlement du jeu et sont représentées au sol par des bandes blanches : les tracés au sol.

1.2.1. Concept de terrain de basket-ball

Pour décrire des actions de jeu, les entraîneurs se réfèrent essentiellement au règlement du jeu de basket-ball et aux tracés au sol pour définir le concept de terrain de basket-ball. Ce concept fait référence au plan horizontal sur lequel les joueurs et le ballon se déplacent. Ce concept permet de décrire les relations entre les actions individuelles (e.g. : passe, tir dribble) et les mouvements des joueurs par rapport aux deux axes qui sont considérés

comme les plus importants pour comprendre les mouvements collectifs : le grand axe (i.e. : la droite qui relie les centres des deux paniers) et la largeur du terrain. Mais le jeu de basket-ball se déroule également en hauteur. Cette dimension est importante dans la mesure où les deux cibles se trouvent en hauteur (3,05m), que les mouvements du ballon (dribble, passe en cloche) et des joueurs (e.g. : saut lors du rebond, tir en suspension) s'effectuent aussi dans cette dimension. Malgré l'importance de cette dimension, la référence à la hauteur du terrain de basket-ball est le plus souvent implicite dans le discours des entraîneurs. Elle devient explicite lorsque le discours porte sur « *une lutte basée sur des techniques gestuelles* » près du panier.

1.2.2. Représentations symboliques du terrain de basket-ball

Pour illustrer les descriptions d'actions de jeu qui se déroulent sur tout le terrain (e.g. : contre-attaque), les entraîneurs experts tracent les mouvements des joueurs et du ballon sur des schémas de terrain entier.

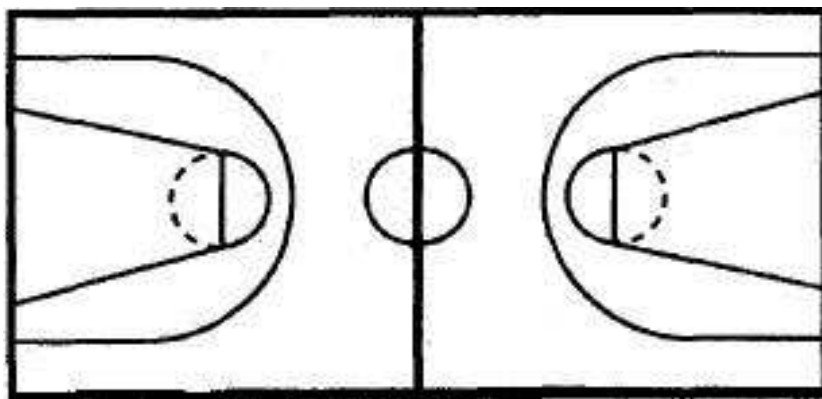


Figure 5 : Exemple de représentation d'un terrain de basket-ball

(eg : Besson, 1992, 1994 ; de Vincenzi, 1990, 2000 ; Vernerey & al., 1993)

Ce type de schéma représente le terrain de basket-ball, en vue surplombante, du point de vue des contours des principales zones qui le constituent. C'est un point de vue qui est construit à partir du règlement du jeu de basket-ball. Ce choix de type de représentation symbolique du terrain, montre, comme pour d'autres sports, que la logique interne du jeu de basket-ball est fortement déterminée par son règlement. Ainsi, définir et représenter symboliquement le terrain en fonction du règlement permet de s'appuyer implicitement sur

des connaissances communes aux joueurs et aux entraîneurs : Les tracés au sol et les différentes zones du terrain que ces tracés délimitent ont un sens particulier pour les joueurs et pour les entraîneurs. Par exemple : Le règlement stipule que la présence de joueurs attaquants dans la *zone réservée* ne peut pas excéder trois secondes sous peine de sanction. Mais lorsque le ballon ou un joueur attaquant pénètre dans cette zone, la probabilité qu'un tir soit tenté et réussi est très élevée. Pour cette raison, les joueurs de l'équipe en défense doivent constamment s'organiser pour que le ballon n'entre jamais dans cette zone et pour empêcher l'intrusion de joueurs attaquants. Cet exemple montre que la représentation symbolique du terrain, fondée sur les tracés au sol, permet d'analyser des actions de jeu en faisant référence implicitement à une bonne partie des comportements conditionnés par le règlement.

Pour illustrer des descriptions d'actions de *jeu placé*, qui se déroulent toujours sur un demi-terrain, les entraîneurs experts se servent de supports représentant un demi-terrain en vue surplombante. C'est la forme de représentation symbolique de l'espace de jeu la plus fréquemment rencontrée dans la littérature technique.

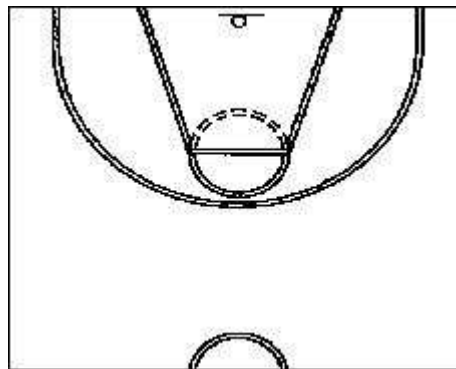


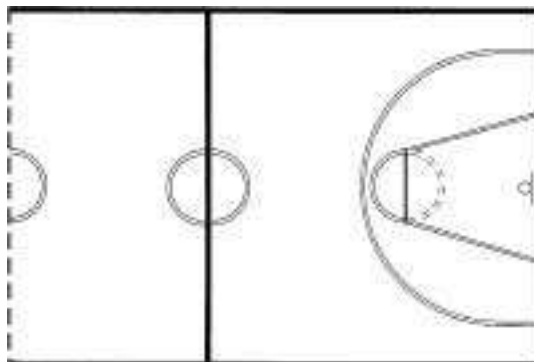
Figure 6 : Exemple de représentation graphique d'un demi-terrain
(e.g. : Bosc, 1995 ; Ciani, 1997 ; Grosgeorge, 1997)

Outre le changement d'orientation du schéma et la représentation symbolique de la cible (le panier), on retrouve la moitié de tous les éléments du schéma précédent.

Pour illustrer des descriptions d'actions de jeu, qui débutent avant que tous les joueurs aient franchi la ligne qui séparent les deux demi-terrains, les entraîneurs experts se servent de supports représentant les _ d'un terrain en vue surplombante.

Figure 7 : Exemple de représentation graphique des _ d'un terrain

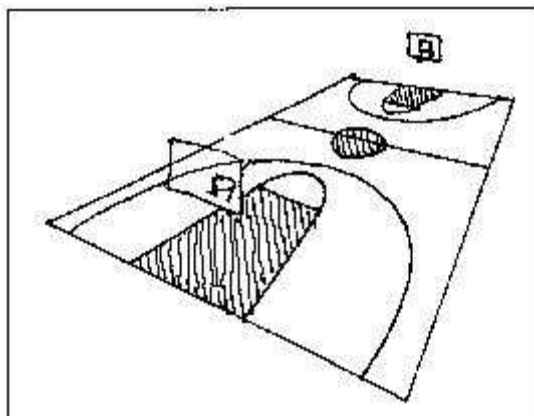
(e.g. : Grosgeorge, 1996q)



On trouve également, dans la littérature technique, quelques articles illustrés par des graphismes schématiques d'action de jeu vue des tribunes. Mais il s'agit essentiellement d'articles sur les techniques gestuelles individuelles et non pas sur les stratégies et tactiques collectives.

Figure 8 : Exemple de représentation symbolique d'un terrain vu des tribunes

(e.g. : Gatouillat, 1988)



1.3. Concept de poste de jeu et représentations symboliques de joueurs

1.3.1. Concept de poste de jeu

Pour décrire des actions de jeu, les entraîneurs experts représentent symboliquement les joueurs. Pour cela, ils font référence aux postes de jeu que les entraîneurs attribuent à chaque joueur en fonction de leur morphologie, de leurs capacités physiques et de leur registre et niveau d'habileté. A chaque poste de jeu correspondent des *responsabilités*⁶³ que le joueur doit prendre (e.g. : tenter un tir, amener le ballon à tel endroit, défendre telle zone) et des rôles qu'il doit jouer :

- le poste 1 : de meneur,
- le poste 2 : d'arrière tireur,
- le poste 3 : d'attaquant 1c3 au panier,
- le poste 4 : d'attaquant face au panier,
- le poste 5 : d'attaquant dos au panier (pivot).

En plus d'un poste de jeu, à chaque instant du jeu, chaque joueur a un statut qui change au cours du jeu : attaquant⁶⁴ ou défenseur ; avec le cas particulier de l'attaquant porteur de ballon. Un joueur est attaquant si son équipe est en possession du ballon et il est défenseur si l'équipe adverse a le ballon. Le joueur est attaquant porteur de ballon si c'est lui qui manipule le ballon.

Les postes de jeu et les statuts sont des concepts qui permettent d'interpréter les actions de jeu collectives du point de vue des interactions entre joueurs. En utilisant ces deux concepts, les rôles et les responsabilités des joueurs sont implicitement évoqués dans l'analyse que les entraîneurs font des actions de jeu.

⁶³ Il s'agit de tâches plus ou moins risquées, que le joueurs doit réaliser.

⁶⁴ Un attaquant est un « *joueur faisant partie de l'équipe en possession de la balle* » Grosgeorge & Wolff (1998).

1.3.2. Représentations symboliques de joueurs de basket-ball

Pour décrire des actions de jeu, les entraîneurs experts représentent graphiquement les joueurs et le ballon. Pour un même auteur, le graphisme varie avec le statut du joueur représenté.

Figure 9 : Exemples de représentations symboliques de joueurs défenseurs

(e.g. : Vincent, 1999 ; Papini, 2000 ; Ruiz, 1996)



Bien que différentes, ces représentations symboliques permettent de montrer l'orientation du corps du défenseur vers un attaquant particulier, le ballon ou le panier.

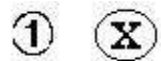
Figure 10 : Exemples de représentations symboliques de joueurs attaquant

(e.g. : Guillaumat, 1990 ; Grosgeorge & Raimbault, 2000)



En représentant les attaquants par des chiffres, les entraîneurs experts font explicitement référence aux postes de jeu et implicitement référence aux responsabilités, aux rôles et aux tâches assignés à ces postes. Ceci n'est pas possible lorsque tous les attaquants ne sont représentés symboliquement que sous forme de croix.

Figure 11 : Exemples de représentations symboliques de joueurs attaquants porteurs de ballon (e.g. : Roccaforte, 1992 ; Grosgeorge & Raimbault, 2000)



Ces représentations symboliques permettent de différencier le joueur porteur de ballon des autres joueurs attaquants du fait qu'il est entouré d'un cercle.

1.4. Concept et représentations symboliques d'équipes

Le règlement du basket-ball stipule que chaque équipe doit être composée d'un entraîneur et de 10 joueurs (12 pour les tournois). L'un des joueurs a le rôle de « capitaine ». Le capitaine est le représentant de son équipe. Il peut s'adresser aux arbitres pour obtenir des informations. Pendant les périodes de jeu, seulement cinq joueurs de chaque équipe pourront être sur le terrain. Le remplacement de joueurs, au cours du jeu, est possible à la demande de l'entraîneur et avec l'accord de l'arbitre.

1.4.1. Concept d'équipe de basket-ball

Pour décrire des actions de jeu, le concept d'équipe, utilisé par les entraîneurs experts, fait référence à l'ensemble des cinq joueurs présents sur le terrain. Ces joueurs :

- sont guidés par des stratégies de jeu conçues à l'avance,
- doivent jouer des rôles individuels préalablement définis,
- ont à réaliser des actions coordonnées,
- doivent être capables d'adapter les stratégies prévues aux réactions de l'équipe adverse.

Au cours du match, les deux équipes sont tour à tour en attaque et en défense ; lorsqu'une équipe est en possession du ballon elle est en attaque, l'autre est en défense et inversement. Pour faire référence à l'équipe en possession du ballon et de l'autre équipe, les entraîneurs experts utilisent les termes d'*attaque* et de *défense*. Pour Grosgeorge & Wolff (1998) l'attaque « se dit à propos de l'équipe en possession de la balle... » et la défense « se dit de l'équipe qui n'est pas en possession de la balle ». Mais lorsqu'ils sont utilisés dans la littérature technique ces termes sont polysémiques. En effet, lorsqu'ils utilisent ces termes, les auteurs font parfois référence aux équipes et parfois à leur activité (offensive ou défensive). Pour désigner les équipes tout en évitant toute ambiguïté, il serait sans doute préférable d'utiliser les termes *d'équipe en attaque* et *d'équipe en défense*.

1.4.2. Représentations symboliques d'équipes de basket-ball

Les équipes de basket-ball ne sont pas représentées symboliquement par les entraîneurs experts. C'est l'ensemble des représentations symboliques des joueurs constituant l'équipe qui représente implicitement cette équipe.

1.5. Concept et représentation symbolique du ballon

1.5.1. Concept de ballon de basket-ball

Le concept de ballon utilisé par les entraîneurs experts fait référence à la description qui figure dans le règlement du jeu. Le chapitre qui y est consacré définit les caractéristiques techniques que doivent avoir les ballons utilisés en match : « *de forme sphérique, d'une circonférence comprise entre 75 et 78 cm, d'un poids compris entre 600 et 650g...* ».

1.5.2. Représentation symbolique du ballon de basket-ball

Lorsqu'ils représentent symboliquement des actions de jeu, les entraîneurs experts ne représentent pas le ballon, mais ses trajectoires (e.g. : dribble, passe, tir) ou le joueur attaquant porteur de ballon.

1.6. Représentations graphiques des mouvements des équipes, des joueurs et du ballon

Les mouvements des équipes ne sont jamais représentés autrement que par les mouvements individuels des joueurs qui composent chaque équipe. Les mouvements des joueurs et du ballon sont représentés par leurs dispositions successives à des instants décisifs : les débuts et fins de passes, de dribbles ou de tirs.

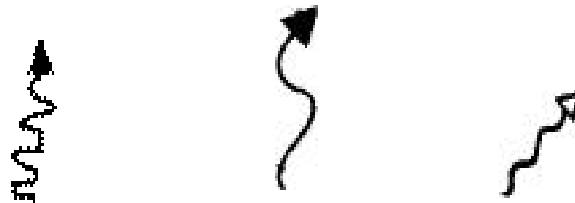
Figure 12 : Exemples de représentations graphiques de mouvements de joueurs

(e.g. : Arteaga, 1998) (e.g. : Ballarini, 1996) (e.g. : de Vincenzi, 1990)



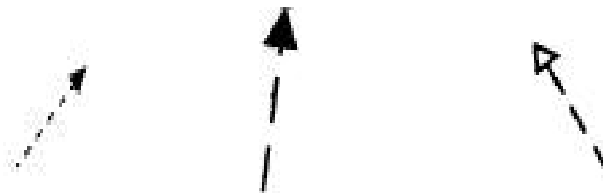
Ces représentations graphiques permettent de montrer la forme et l'orientation des mouvements des joueurs non porteur de ballon.

Figure 13 : Exemples de représentations graphiques des mouvements du ballon et de l'attaquant porteur de ballon lors d'un dribble
(e.g. : Arteaga, 1998 ; Ballarini, 1996 ; de Vincenzi, 1990)



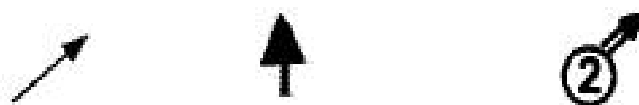
Lors d'un dribble, la trajectoire du ballon n'est pas rectiligne, mais sinueuse (évitement des joueurs). Ces différentes représentations graphiques permettent de montrer la forme et l'orientation des mouvements du joueur porteur de ballon et du ballon pendant un dribble.

Figure 14 : Exemples de représentations graphiques des mouvements du ballon lors d'une passe (e.g. : Arteaga, 1998 ; Ballarini, 1996 ; de Vincenzi, 1990)



Ces différentes représentations graphiques permettent de montrer la forme et l'orientation des mouvements du ballon lors d'une passe.

Figure 15 : Exemples de représentations graphiques des mouvements du ballon lors d'un tir
(e.g. : Arteaga, 1998 ; Ballarini, 1996 ; de Vincenzi, 1991b)



Ces différentes représentations graphiques permettent de montrer la forme et l'orientation des mouvements du ballon lors d'un tir.

Lors d'une passe ou lors d'un tir, la trajectoire du ballon est perçue en vue surplombante comme rectiligne. Les auteurs se sont accordés pour représenter graphiquement ces trajectoires sous la forme d'un trait continu pour le tir et discontinu pour la passe.

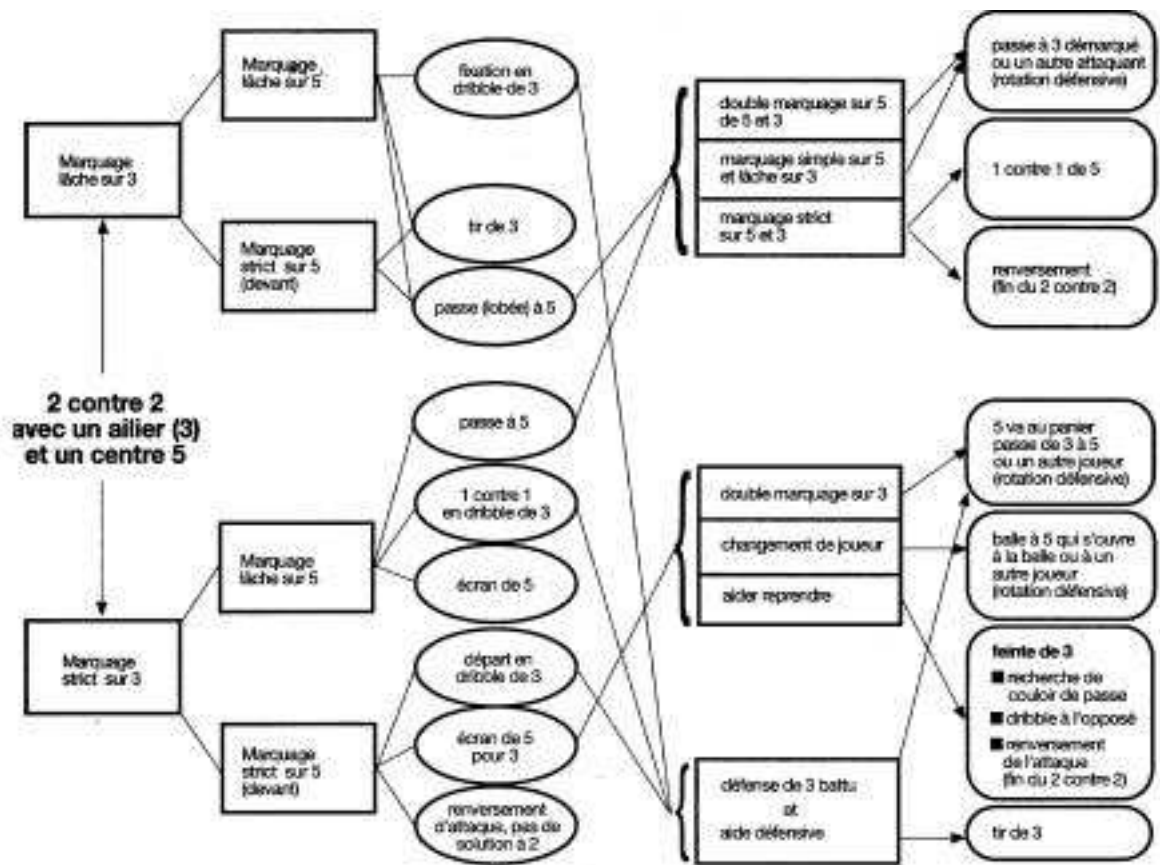
1.7. Représentations graphiques des relations entre les mouvements des équipes des joueurs et du ballon

1.7.1. Relations entre les mouvements des équipes, des joueurs et du ballon

Peu d'entraîneurs experts se sont risqués à représenter graphiquement les relations entre les mouvements des équipes, des joueurs et du ballon. Lorsqu'il a été réalisé, ce type de travail était toujours de nature spéculative.

1.7.2. Représentations graphiques des relations entre les mouvements des équipes, des joueurs et du ballon

Figure 16 : Exemple de représentation graphique de relations possibles entre les mouvements des équipes, des joueurs et du ballon (d'après Ballarini & Grosgeorge, 1996).



1.8. Possibilités et limites

Pour décrire des actions de jeu, les entraîneurs experts commentent des séquences vidéo filmées depuis les tribunes. Leurs discours mobilisent des concepts qui font référence aux différents postes de jeu, tâches à réaliser et statuts des joueurs, à leurs mouvements et aux actions avec ou sans le ballon. Pour accompagner leurs discours, les entraîneurs experts élaborent des *graphismes schématiques*⁶⁵. Pour représenter les joueurs et le ballon, ils disposent des symboles les représentant sur des gabarits représentant des demi-terrains en vue surplombante. Les mouvements des joueurs et du ballon au cours de l'action de jeu sont représentés de deux façons :

- des séries de graphismes schématiques montrent des positions à des instants successifs particuliers (passe, dribble, tir),
- des tracés de trajectoires dont le graphisme est codifié.

Ces concepts, ces représentations symboliques et ces graphismes schématiques permettent aux entraîneurs experts de décrire les tâches réalisées par les joueurs ainsi que leurs mouvements et ceux du ballon. Pour cela, ils attribuent des intentions aux joueurs et spéculent sur l'existence de relations de causalité entre des mouvements, des actions avec et sans le ballon.

Mais, la forme même des concepts et des graphismes schématiques d'entraîneurs experts en limitent les possibilités de descriptions d'actions de jeu. En effet, pour réaliser des graphismes schématiques, les entraîneurs experts effectuent mentalement une transposition de point de vue des tribunes en un point de vue surplombant. Cette opération est difficile, aussi ces graphismes sont imprécis du point de vue spatial (e.g. : la localisation des joueurs et du ballon) et temporel (e.g. : la synchronisation des mouvements). De plus ces graphismes ne représentent que des « *états successifs* »⁶⁶. Les descriptions d'actions de jeu mobilisent des concepts peu élaborés et peu formalisés. Ces descriptions, fondées sur des analyses spéculatives, sont difficilement vérifiables. Ces différents problèmes empêchent les entraîneurs experts de représenter et de décrire les relations entre les mouvements des

⁶⁵ Ils utilisent pour cela des logiciels disponibles sur le Net, tels que : CoachEdge ou Playbook.

⁶⁶ Ce qui détermine le passage d'un graphique à l'autre est la survenue, durant l'action de jeu, d'une passe.

joueurs, des équipes et du ballon et de répondre avec précision à des questions sur ces relations. Ces problèmes se répercutent sur la façon dont les entraîneurs stagiaires se représentent mentalement ces relations. Ceci a pour conséquence de leur rendre difficile l'apprentissage de la lecture d'actions de jeu.

Pour dépasser ces limites, il faut modéliser, caractériser et représenter graphiquement et d'un point de vue objectif, les joueurs, les équipes et le ballon, ainsi que leurs mouvements et les relations entre leurs mouvements. Pour cela, de nouveaux concepts et représentations graphiques doivent être mis au point. Mais, pour être utilisables, ces aides didactiques devront être fondées sur les codages graphiques employés par les entraîneurs experts et sur des points de vue objectifs à construire.

2. Modélisations des joueurs, des équipes et du ballon

L'objectif du travail, présenté dans cette partie, est de rendre possible l'étude précise des mouvements des joueurs et du ballon d'un point de vue cinématique. La modélisation, des joueurs, des équipes et du ballon s'inspire des concepts, des codages graphiques et des graphismes schématiques utilisés par les entraîneurs experts. Leur étude a permis de mettre au jour les possibilités qu'ils offrent pour décrire des actions de jeu. Leurs limites pour assurer cette fonction sont également apparues. Ceci conduit à s'inspirer de ces productions d'experts avec discernement : Pour modéliser les joueurs, les équipes et le ballon, certaines caractéristiques sont reprises. D'autres caractéristiques ont subi des transformations.

2.1. Reprises et transformations

2.1.1. Reprises

Le point de vue surplombant offert par les graphismes schématiques d'entraîneurs experts sera repris car :

- c'est le point de vue de référence pour les entraîneurs,
- ce point de vue permet d'étudier les mouvements des joueurs du point de vue cinématique.

La modélisation des joueurs, en vue d'étudier leurs mouvements, est indépendante de la façon de les représenter graphiquement pour décrire ces mouvements.

Les entraîneurs représentent différemment les joueurs attaquants et les joueurs défenseurs. Cette différenciation permet de diminuer les efforts d'interprétation des actions de chacun des joueurs. Pour cette raison, l'idée de représenter graphiquement et de façon différente les joueurs attaquants et les joueurs défenseurs sera reprise.

Pour étudier les mouvements des joueurs, le modèle de joueur qui sera utilisé est le point.

Pour permettre une description objective des mouvements des joueurs, des équipes et du ballon les concepts utilisés par les entraîneurs experts devront être remplacés par des concepts définis avec précision.

2.1.2. Transformations

La différenciation entre la représentation des joueurs défenseurs et des joueurs attaquants sera accentuée. Cette différence de codage graphique portera non seulement sur la forme mais également sur les couleurs.

Pour que le point de vue surplombant offre des perspectives d'étude cinématique, la localisation des joueurs et du ballon devra être beaucoup plus précise dans l'espace et dans le temps (i.e. : grain temporel ou durée entre les vues surplombantes qui se succèdent).

2.2. Modélisation du terrain

L'approche cinématique employée pour mener cette recherche consiste à étudier les corrélations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon dans la largeur et dans la profondeur du terrain. Aussi, le modèle de terrain utilisé est un plan et non pas un volume. Ce plan est délimité par les tracés au sol. Il s'agit d'un espace euclidien à deux dimensions. Les joueurs et le ballon sont localisés par rapport à un repère orthonormé dont l'origine est le centre du terrain. L'axe des abscisses s'étend de tribune à tribune et l'axe des ordonnées relie les centres des deux paniers. Cet espace a pour dimensions : Longueur = 28m ; largeur = 15m.

La hauteur a été laissée de côté, ce qui ne permet pas de prendre en compte les mouvements verticaux, par exemple :

- lorsque les joueurs sautent,
- lorsque le ballon rebondit sur le sol (dribble, passe avec rebond),
- lorsque les joueurs font des passes en hauteur ou des tirs.

2.3. Modélisation des joueurs et du ballon

L'objectif est de rendre possible l'étude précise des mouvements des joueurs et du ballon d'un point de vue cinématique. Cet objectif nécessite de localiser les joueurs et le ballon sur le terrain à des instants successifs. Pour cela, la modélisation des joueurs et du ballon consiste à les considérer comme des points (le centre des masses de chaque joueur et du ballon) qui se déplacent sur un plan parallèle au plan du terrain de basket-ball.

Les coordonnées des centres de masse des joueurs et du ballon à des instants successifs, ont été rassemblées en fichiers, en vue d'étudier leurs mouvements. Les coordonnées des joueurs et du ballon permettent d'utiliser des formules mathématiques pour calculer :

- les surfaces occupées par les équipes,
- les vitesses des joueurs, du ballon, des équipes,
- les distances qui les séparent les uns des autres et du panier.

2.4. Modélisation des équipes

Durant les actions de jeu, les joueurs d'une même équipe entretiennent des relations de coopération et de coordination motrice. Ces relations permettent à l'équipe d'être plus efficace qu'un ensemble de joueurs agissant individuellement. Pour étudier, d'un point de vue cinématique, ces relations de coopération et de coordination motrice, chaque équipe est considérée comme un ensemble de points, chaque point représentant un joueur. Chaque équipe est ensuite modélisée de différentes façons pour répondre aux questions suivantes :

- *Quelles sont les corrélations entre les changements de configuration des équipes ?*
- *Quelles sont les corrélations entre les variations des surfaces occupées par les équipes ?*

2.4.1. Modélisations des configurations d'équipes par des points de vue particuliers

La configuration d'une équipe fait référence à la disposition de ses joueurs à un instant t . Pour étudier les corrélations entre les changements de configuration des équipes, chaque équipe a été modélisée selon trois points de vue :

- le modèle de l'ensemble de points : Chaque équipe est considérée comme un ensemble de points dont les positions successives varient au cours du temps.
- le modèle du nuage de points : Chaque équipe a été considérée comme un nuage de points dont on cherche à exprimer les positions sur l'axe profond (ordonnées ou l'axe reliant les paniers) en fonction des positions dans la largeur du terrain (abscisses) : Pour cela les coordonnées des joueurs à chaque instant ont servi à calculer la *droite des moindres carrés* : $y = ax + b$.

- Le modèle du point unique : Chaque équipe a été réduite à un point unique : le barycentre de l'ensemble de points représentant chaque joueur de l'équipe. Les coordonnées du barycentre, calculées pour chaque image, sont les moyennes des coordonnées des points représentant les joueurs de l'équipe⁶⁷. Tous les joueurs ont été considérés comme équivalents. Le grain d'analyse est assez grossier, puisqu'il réduit une équipe à un point.

2.4.2. Modélisation de l'espace occupé par l'équipe par différentes surfaces

Les entraîneurs et les formateurs considèrent que, du fait de la disposition des joueurs qui la constituent, chaque équipe occupe à chaque instant une certaine surface.

Pour Bosc (1995), l'*occupation du terrain* « est une notion fondamentale qui va aider à la lecture du jeu ». Le même auteur ajoute : « Tous les emplacements du terrain ne sont pas également importants ; en dehors des couloirs de contre-attaque, ceux qui sont proches des paniers sont bien entendu les plus intéressants » (Ibid). Le but de l'occupation de l'espace est d'exercer une « *pression offensive* » (Ibid) et d'empêcher la manœuvre de la défense.

Pour modéliser ces surfaces, deux nouveaux modèles sont proposés ci-dessous :

- le modèle de surface d'attaque,
- le modèle de surface de défense.

Ces modèles font référence à la plus petite surface qui comprend les cinq joueurs de chaque équipe à un instant t. Ces modèles sont différents du modèle d'*espace effectif de jeu*⁶⁸ proposé par Mérand. La surface occupée par une équipe est détournée par les joueurs les plus à la périphérie. Ces nouveaux modèles permettent de décrire les corrélations entre les variations des surfaces occupées par les équipes.

La surface, occupée par une équipe à un instant t, est modélisée sous la forme de polygone convexe mobile et déformable. Les données disponibles pour calculer l'aire de ce polygone,

⁶⁷ Abscisse du barycentre de l'équipe = Moyenne des abscisses des joueurs de l'équipe
Ordonnée du barycentre de l'équipe = Moyenne des ordonnées des joueurs de l'équipe

⁶⁸ Espace de jeu effectif : « Espace délimité par l'ensemble des joueurs. La forme de cet espace et la circulation de la balle vont varier en fonction du niveau de compétence des joueurs ». In *Didactique des Sports Collectifs à l'école* : dossier EPS n° 17 ; pp-101-109.

sont les coordonnées des points représentant les joueurs. Différents modèles de polygone convexe sont alors utilisés en fonctions de la disposition des joueurs de l'équipe :

- le modèle du pentagone convexe,
- le modèle du quadrilatère convexe (i.e. : lorsque quatre joueurs sont disposés en quadrilatère convexe, le cinquième joueur se trouvant à l'intérieur de ce quadrilatère),
- le modèle du triangle (i.e. : lorsque trois joueurs sont disposés en triangle, les deux autres joueurs se trouvant à l'intérieur de ce triangle).

Il existe également un quatrième cas, celui où les cinq points sont alignés. Dans ce cas l'aire est nulle.

Pour calculer, pour chaque image, l'aire du polygone convexe, plusieurs méthodes ont été envisagées :

- Le calcul de l'*enveloppe convexe*⁶⁹ du nuage de points.
- L'utilisation du *théorème de Green-Riemann*⁷⁰.

Si les méthodes pour calculer une enveloppe convexe, disponibles sur internet, semblent intéressantes pour un plus grand nombre de joueurs (e.g. : en rugby ou en football), elles sont trop fastidieuses à mettre en œuvre pour cinq basketteurs. D'autant que pour calculer cette surface, il est indispensable de connaître l'ordre des points or on ne dispose que de leurs coordonnées.

Selon le théorème de Green-Riemann, l'aire d'un polygone dont les sommets A_i ont pour coordonnées $(x_i ; y_i)$, pour $1 < i < k$, est :

$$\left| -(x_1 y_2 - x_2 y_1) + \dots + -(x_{k-1} y_k - x_k y_{k-1}) + -(x_k y_1 - x_1 y_k) \right|$$

La solution consistant à utiliser le théorème de Green-Riemann a été retenue, car elle est simple à mettre en œuvre à partir des coordonnées des joueurs. La formule de base pour

⁶⁹ L'*enveloppe convexe* est le plus petit polygone convexe contenant un ensemble donné de points.

L'ensemble de points S est l'intersection de tous les ensembles convexes contenant S .

Pour N points P_1, \dots, P_n , l'enveloppe convexe C est alors donnée par l'expression :

$$C \equiv \left\{ \sum_{j=1}^N \lambda_j p_j : \lambda_j \geq 0 \text{ for all } j \text{ and } \sum_{j=1}^N \lambda_j = 1 \right\}.$$

⁷⁰ Ce théorème concerne l'intégration de formes différentielles sur un contour du plan.

calculer l'aire d'un polygone a été reprise et adaptée aux trois formes de polygones convexes que peuvent former cinq joueurs. Ainsi, la formule adaptée pour calculer l'aire du pentagone convexe est :

$$\left| \frac{1}{2} (x_1y_2 - x_2y_1) + \frac{1}{2} (x_2y_3 - x_3y_2) + \frac{1}{2} (x_3y_4 - x_4y_3) + \frac{1}{2} (x_4y_5 - x_5y_4) + \frac{1}{2} (x_5y_1 - x_1y_5) \right|$$

La formule adaptée pour calculer l'aire du quadrilatère convexe est :

$$\left| \frac{1}{2} (x_1y_2 - x_2y_1) + \frac{1}{2} (x_2y_3 - x_3y_2) + \frac{1}{2} (x_3y_4 - x_4y_3) + \frac{1}{2} (x_4y_1 - x_1y_4) \right|$$

Le triangle est un cas particulier. La formule pour calculer son aire est :

$$\frac{1}{2} (x_1y_2 - x_2y_1 + x_2y_3 - x_3y_2 + x_3y_1 - x_1y_3)$$

Les données obtenues par le calcul des surfaces occupées par les équipes permettent d'étudier leurs variations et d'envisager l'étude des corrélations entre ces variations.

Cependant, un nouveau problème est apparu :

- *Comment automatiser l'utilisation de la bonne formule en fonction de la disposition des joueurs ?*

Le choix de la formule et les calculs de surface sont réalisés sur le module de redressement d'images. L'idée est de se servir des fonctions logiques d'Excel™ SI, ET, OU pour que la formule utilisée soit sélectionnée automatiquement en fonction de la disposition des joueurs d'une même équipe qui se trouvent le plus à la périphérie (i.e. : pentagone convexe, quadrilatère convexe, triangle). Pour cela, il fallait d'abord trouver, du point de vue de leurs coordonnées, ce qui caractérise les joueurs qui se trouvent à l'intérieur de la surface couverte par ses équipiers. Pour savoir si un point est à l'intérieur d'un polygone, il faut faire des produits croisés des coordonnées et regarder si tous les signes sont identiques. On procède par segment et par point. Par exemple avec trois points : O, A et B ; Pour savoir de quel côté se trouve O par rapport au segment AB (orienté), il faut calculer :

$$((x_B - x_A) * (y_O - y_A)) - ((y_B - y_A) * (x_O - x_A))$$

et regarder le signe. Si tous les signes sont identiques, alors O se trouve à l'intérieur du polygone⁷¹. L'opération est répétée avec tous les points du polygone. Lorsque deux points se trouvent à l'intérieur du polygone on calcule la surface du triangle à partir des coordonnées des trois autres points. S'il n'y a qu'un point on calcule la surface du

⁷¹ Si j'appelle Sens(O,AB) la fonction donnée plus haut et que je considère le polygone P₁,...,P_n ; Alors il faut que : Sens(O,P_iP_{i+1}) avec i=1...,n-1 ; et Sens(O,P_nP₁) aient tous le même signe.

quadrilatère formé par les quatre autres points à partir de leurs coordonnées. Enfin, s'il s'agit d'un pentagone convexe la surface est calculée à partir de la formule initiale.

Conclusion

Les concepts et les codages graphiques, utilisés par les entraîneurs experts, ne permettent pas d'étudier avec précision des actions de jeu d'un point de vue cinématique. Pour dépasser cet obstacle, des modèles de terrain, de joueurs, d'équipes et de ballon ont été mis au point. Ces modèles s'inspirent de ceux utilisés par les chercheurs qui m'ont précédé et des codages graphiques d'entraîneurs experts.

La modélisation des joueurs, des équipes et du ballon permet d'envisager la modélisation cinématique de leurs déplacements.

CHAPITRE 3 : Modélisations cinématiques d'actions de jeu de basket-ball

Introduction

Les mouvements des joueurs, du ballon et des équipes ont été modélisés de différentes façons pour répondre aux questions suivantes :

1. *Comment quantifier les mouvements des joueurs et du ballon ?*
2. *Comment quantifier les mouvements des équipes ?*

1. Sélection d'actions de jeu typiques

L'évolution des recherches en didactique des APS incite à ne plus réaliser d'expériences à partir de situations artificielles en laboratoire, mais à étudier des pratiques à partir de données enregistrées dans l'environnement des pratiques (i.e. : les terrains de sport). Ce choix est justifié par le besoin de prendre en compte les relations complexes entre les pratiquants et leur environnement, sans les dénaturer. De ce point de vue, une étude d'actions de jeu de basket-ball devait être menée à partir de données prélevées durant des compétitions. Adoptant ce point de vue, la question du choix d'actions de jeu à modéliser a été l'objet de débats avec la *Direction Technique Nationale* : L'idée générale était celle de la prise en compte des besoins des entraîneurs dans la mesure où ces besoins se prêtent à une expérience réalisable dans le cadre de cette recherche. Du côté de la *Direction Technique Nationale*, la demande était de représenter graphiquement les relations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon au cours d'actions de jeu typiques, pour en permettre la description. Pour cela, il fallait réaliser des analyses cinématiques sous 3-D Vision, donc de disposer de vidéogrammes d'actions de jeu. Finalement, en accord avec la *Direction Technique Nationale*, il a été décidé d'étudier des séquences d'actions partielles qui rendent compte du :

- jeu en situation réelle de compétition,
- jeu de haut niveau, car il reflète bien les stratégies maîtrisées,
- jeu récent, contemporain au mois de septembre 2000, car l'évolution est rapide,
- jeu américain, car il domine au plan international,

- jeu français, parce qu'il est celui que la FFBB cherche à optimiser,
- jeu placé⁷² (vs. *la contre-attaque*), car il rend compte des stratégies élaborées et de leurs adaptations tactiques,
- de tirs tentés près de la zone réservée⁷³, qui correspondent aux phases ultimes des luttes organisées autour des mouvements des joueurs.

En septembre 2000 se sont déroulés à Sydney les Jeux de la XXVIIe Olympiade. L'équipe de France masculine de basket-ball s'y est distinguée en remportant la médaille d'argent derrière les Etats-Unis d'Amérique. Les vidéogrammes de tous les matchs, diffusés par les chaînes pour le grand public, ont été enregistrés ou achetés au *Comité d'Organisation des Jeux Olympiques* (COJO). En respectant les critères définis plus haut, les actions de jeu aboutissant à un tir des quatre meilleures équipes (i.e. : USA, France, Lituanie et Australie) ont été numérisées et classées en utilisant une grille d'entraîneur expert :

- Type 0 : Fixation de la défense par un non-porteur.
- Type 1 : Fixation de la défense par le porteur.
- Type 2 : Fixation de la défense avec écran d'un non-porteur.
- Type 3 : Fixation de la défense avec écran du porteur.
- Type 4 : Le tireur construit son tir sans aide de ses coéquipiers.
- Type 5 : La défense laisse tirer.
- Type T : Transition de différents types d'organisation offensive.

Soixante-cinq séquences vidéo d'actions de jeu ont été ainsi retenues, sachant que tous les types d'actions ne sont pas présents systématiquement pour tous les pays. Ces séquences d'action de jeu ont une durée moyenne de dix secondes et il y a vingt-cinq images par seconde. Le corpus vidéo représente donc environ 16000 images.

⁷² C'est le "*jeu construit*" alors que la contre-attaque est davantage opportuniste et repose sur une prise de vitesse.

⁷³ Cette zone est communément appelée "*raquette*". Dans cette zone se déroule une lutte plus liée aux techniques gestuelles. Mais, c'est aussi pour des raisons liées aux contraintes relatives à la saisie.

2. Localisation des joueurs et du ballon sur le terrain

2.1. Enjeux techniques et didactiques

L'utilisation d'images filmées depuis les tribunes pose deux types de problèmes. Au plan didactique :

- le point de vue des tribunes n'est pas le point de vue auquel se réfèrent les formateurs, les entraîneurs, ni même les joueurs. Ils se réfèrent au point de vue surplombant.
- le point de vue des tribunes donne une information incomplète.

Au plan cinématique : Le point de vue des tribunes ne permet pas d'étudier les mouvements sportifs. Dépasser ces obstacles nécessite de reconstruire des vues surplombantes à partir de chaque séquence vidéo filmée depuis les tribunes. En effet, les images télévisuelles « grand public » n'ont permis, jusqu'à présent, que de produire des informations quantitatives très approximatives résultant d'une retranscription manuelle des mouvements des joueurs par un observateur pour transférer les scènes en vues surplombantes. En effet, depuis qu'il est interdit⁷⁴ de filmer en compétition de haut niveau, les mouvements des joueurs sont relevés à la main avec beaucoup d'imprécisions et l'impossibilité d'effectuer le moindre calcul valide. C'est pourquoi régler le problème du redressement d'images est un préalable à toute caractérisation cinématique. Ainsi, l'étude cinématique de mouvements sportifs, à partir d'images télévisuelles « grand public », pose le problème suivant :

- *Comment retrouver les positions des joueurs et du ballon sur le terrain, à partir de leurs positions à l'écran ?*

Pour une caméra fixe et localisée, le problème a déjà été résolu. En effet, Durey et Journeaux⁷⁵ ont mis au point un module destiné à Canal+ pour le calcul de la distance des

⁷⁴ Pour pallier la nécessité d'étudier des séquences de jeu issues de situations réelles de compétition, on ne peut pas échapper aux conséquences de cette nouvelle réglementation.

⁷⁵ Pour une caméra fixe et localisée, le problème a été résolu par Alain Durey et Roger Journeaux. Ces auteurs ont mis au point un module destiné à Canal + pour le calcul de la distance des coups-francs en football. Leur travail n'a pas fait l'objet de publication.

coups francs en football. Mais, dans le cas d'images télévisuelles « grand public », la position de la caméra n'est pas connue du chercheur et ses mouvements induisent de nouveaux problèmes de localisation. Pour obtenir une vue surplombante du jeu à partir d'images télé, un module de redressement d'images a été réalisé.

2.2. Problème initial

Au regard de l'objectif d'étude d'actions de jeu, ce qui caractérise les images télévisuelles « grand public » sont les inconnues suivantes :

- la position de la caméra,
- les valeurs de balayage latéral (i.e. : angles de vue horizontaux),
- les valeurs de plongée (i.e. : angles de vue verticaux),
- les valeurs de grossissement (i.e. : le zoom ou la focale),
- l'angle d'inclinaison du pied de la caméra (i.e. : l'assiette).

Toutes ces inconnues varient à chaque image.

Pour analyser les mouvements des joueurs et du ballon en connaissant la position à l'écran de chacun des joueurs, il faut déterminer ses coordonnées dans un repère lié au terrain (i.e. : en vue de dessus).

2.3. Conception du module de redressement d'images télévisuelles « grand public »

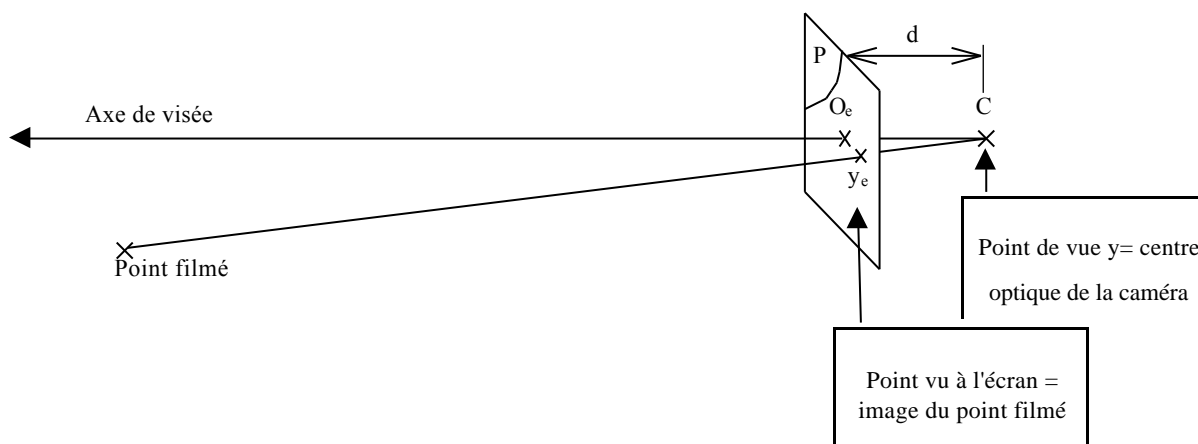
Pour retrouver les positions sur le terrain des joueurs et du ballon à partir de leurs positions à l'écran, il faut modéliser les déformations d'images produites par les prises de vue (i.e. : la caméra et son placement). Il s'agit alors d'exprimer sous forme d'équations mathématiques la relation entre les coordonnées des points sur le terrain et leurs coordonnées à l'écran. La méthode utilisée a consisté à modéliser la prise de vue, donc à retrouver les inconnues citées plus-haut : position de la caméra, valeurs de balayage latéral, valeurs de plongée, valeurs de grossissement, angle d'inclinaison du pied de la caméra.

Les données utilisées sont les coordonnées sur le terrain et à l'écran de quatre points remarquables⁷⁶. Les coordonnées de ces points sur le terrain sont connues et leurs coordonnées à l'écran sont identifiables⁷⁷.

2.3.1. Le modèle de prise de vue

Le modèle de la caméra adopté consiste à identifier l'image visible à l'écran et une portion de plan (P) rectangulaire virtuelle et de la taille de celle de l'écran, située entre un point de vue fixe et un objet visé filmé.

Figure 17 : Modèle de caméra



A une focale de la caméra (ou un grossissement) correspond une distance d entre le point C (ou centre optique de la caméra) et le plan P. L'orientation de la caméra est donnée par l'orientation de l'axe de visée.

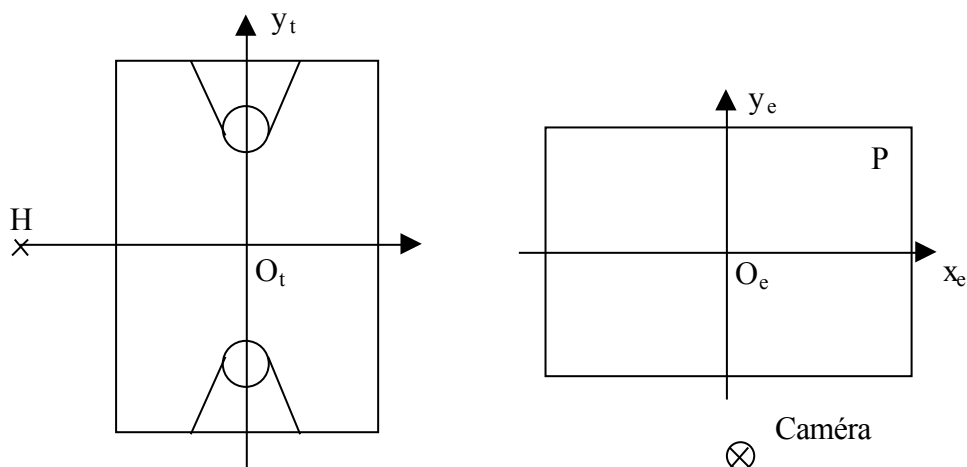
2.3.2. Le modèle géométrique de passage du repère de l'écran au repère du terrain

La position d'un point de l'écran est définie par deux coordonnées $(x_e ; y_e)$ dans un repère du plan P. La position d'un point du terrain est définie par deux coordonnées $(x_t ; y_t)$ dans un repère lié au terrain.

⁷⁶ Ces points sont par exemple situés aux croisements de lignes de marquages au sol.

⁷⁷ En utilisant le logiciel 3-D-Vision (© Gilles Dietrich) il est facile d'obtenir les coordonnées sur le terrain de nombreux points remarquables apparaissant sur les images télévisuelles « grand public ».

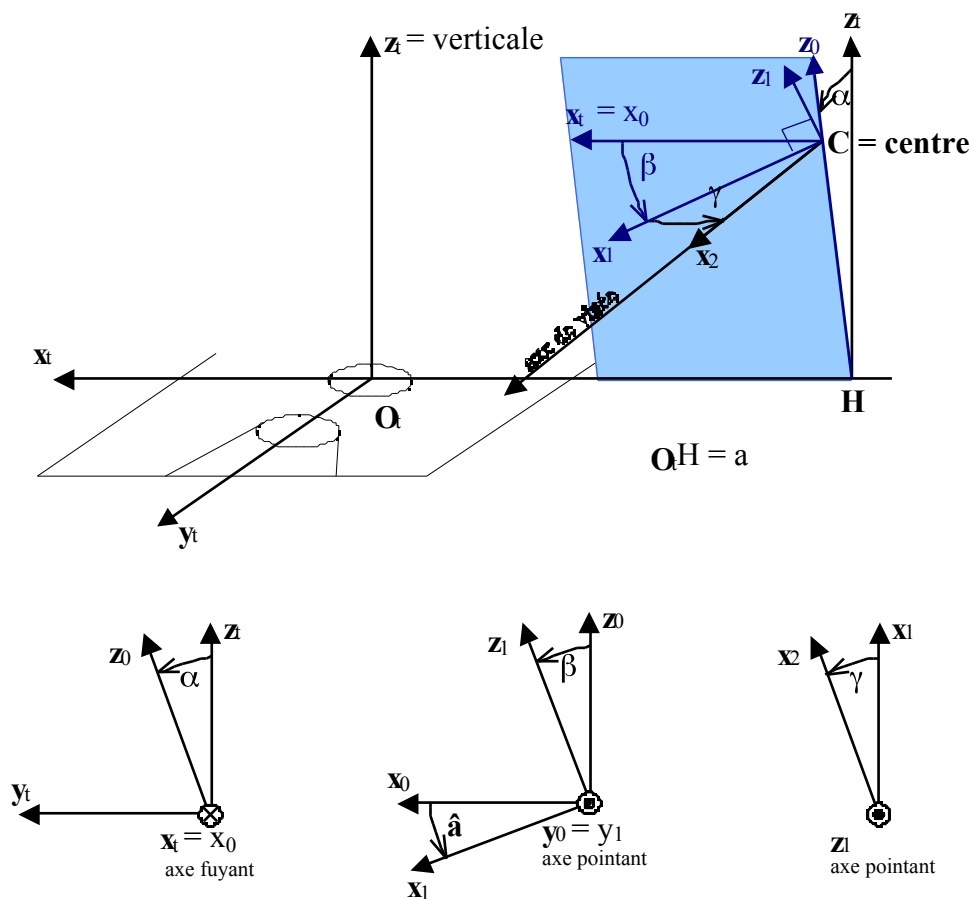
Figure 18 : Modèle de terrain



Le terrain entier est un rectangle dont les dimensions sont 28m X 15m.

Le problème revient à trouver la relation qui lie $(x_e ; y_e)$, coordonnées d'un point P_e de l'écran et les coordonnées $(x_t ; y_t)$ d'un point P_t du terrain ; P_e étant le point vu à l'écran du point P_t filmé.

Figure 19 : Position de la caméra par rapport au terrain



La position et l'orientation de la caméra, par rapport au terrain, sont définies par cinq paramètres indépendants : a , b , α , β , γ :

α est le défaut angulaire d'orientation du pied de la caméra par rapport à la verticale.

H est le point d'intersection entre cette verticale et l'axe horizontal.

a est la distance entre H et le centre du terrain.

b est la distance entre H et le centre optique de la caméra.

a , b et α , sont supposés constants. $A = OtH$

β et γ définissent les angles de vue, c'est-à-dire l'orientation de l'axe de visée.

2.3.3. La mise en équations trigonométriques

La relation géométrique qui lie P_t et P_e est la condition d'alignement des points C , P_t et P_e , exprimée par la relation vectorielle : $\overline{CP_t} \mid \overline{CP_e} = \vec{0}$

Celle-ci équivaut à un système de trois équations scalaires où interviennent les paramètres indépendants d (focale), a , b , α , β , γ et les coordonnées x_t , y_t , x_e , y_e .

Le système d'équations obtenu est le suivant :

$$S = \begin{cases} (d \cos \beta \sin \gamma - x_e \cos \gamma + y_e \sin \beta \sin \gamma)(-b + y_t \sin \alpha) - (-d \sin \beta + y_e \cos \beta) y_t \cos \alpha = 0 \\ (-\alpha \sin \beta + y_e \cos \beta)(a + x_t) - (d \cos \beta \cos \gamma + x_e \sin \gamma + y_e \sin \beta \cos \gamma)(-b + y_t \sin \alpha) = 0 \\ (d \cos \beta \cos \gamma + x_e \sin \gamma + y_e \sin \beta \cos \gamma) y_t \cos \alpha - (d \cos \beta \sin \gamma - x_e \cos \gamma + y_e \sin \beta \sin \gamma)(a + x_t) = 0 \end{cases}$$

C'est un système d'équations non-linéaires à deux inconnues x_t , y_t à condition que l'on détermine les autres paramètres :

- a , b et α , sont des constantes qui déterminent la position de la caméra. Elles gardent les mêmes valeurs pendant la durée totale d'une séquence de film.
- d , β et γ , définissent la focale et l'orientation de la caméra. Ces paramètres varient d'une image à l'autre.
- x_e , y_e définissent la position du point à redresser, ce sont ses données à l'écran.

Afin de déterminer la relation entre $(x_e ; y_e)$ et $(x_t ; y_t)$ c'est-à-dire la relation entre les coordonnées d'un point à l'écran et ses coordonnées sur le terrain, il faut trouver, pour chaque image, la valeur de chacun des six paramètres indépendants : a , b et α , d , β et γ .

Il suffit de connaître les positions à l'écran d'au moins deux points : $P_{1e}(x_{1e} ; y_{1e})$, $P_{2e}(x_{2e} ; y_{2e})$, auxquels correspondent deux points connus du terrain : $P_{1t}(x_{1t} ; y_{1t})$, $P_{2t}(x_{2t} ; y_{2t})$ et de résoudre le système (S) en utilisant comme données : $(x_{1e} ; y_{1e})$, $(x_{2e} ; y_{2e})$, $(x_{1t} ; y_{1t})$, $(x_{2t} ; y_{2t})$. Cela représente donc au total six équations non-linéaires.

2.3.4. La mise en équations linéaires

Pour simplifier la résolution, deux équations ont été déduites de (S) :

- L'une exprime x_t en fonction de $(x_e ; y_e)$ indépendamment de y_t
- L'autre équation qui exprime y_t en fonction de $(x_e ; y_e)$ indépendamment de x_t

Puis on remplace les coefficients facteurs de x_e et y_e dépendants des six paramètres précédents, par sept nouveaux paramètres considérés comme indépendants. Les deux équations issues de (S) sont :

$$E = \begin{cases} (1) x_t = \frac{A_1 + B_1 x_e + C_1 y_e}{1 + B_0 x_e + C_0 y_e} \\ (2) y_t = \frac{A_2 + B_2 x_e}{1 + B_0 x_e + C_0 y_e} \end{cases}$$

Pour déterminer ces sept paramètres ($A_1, B_1, C_1, A_2, B_2, B_0$ et C_0), qui varient à chaque image, il suffit de résoudre sept équations linéaires (supposées indépendantes) issues du système (E) en remplaçant $(x_e ; y_e)$ et $(x_t ; y_t)$ par les coordonnées écran et terrain de quatre points connus.

		B_0	C_0	A_1	B_1	C_1	A_2	B_2	X'	
Point 1	(1) =>	$x_{1e} x_{1t}$	$y_{1e} x_{1t}$	(-1)	$(-x_{1e})$	$(-y_{1e})$	0	0	=	$(-x_{1t})$
	(2) =>	$x_{1e} y_{1t}$	$y_{1e} y_{1t}$	0	0	0	(-1)	$(-x_{1e})$	=	$(-y_{1t})$
Point 2	(1) =>	$x_{2e} x_{2t}$	$y_{2e} x_{2t}$	(-1)	$(-x_{2e})$	$(-y_{2e})$	0	0	=	$(-x_{2t})$
	(2) =>	$x_{2e} y_{2t}$	$y_{2e} y_{2t}$	0	0	0	(-1)	$(-x_{2e})$	=	$(-y_{2t})$
Point 3	(1) =>	$x_{3e} x_{3t}$	$y_{3e} x_{3t}$	(-1)	$(-x_{3e})$	$(-y_{3e})$	0	0	=	$(-x_{3t})$
	(2) =>	$x_{3e} y_{3t}$	$y_{3e} y_{3t}$	0	0	0	(-1)	$(-x_{3e})$	=	$(-y_{3t})$
Point 4	(1) =>	$x_{4e} x_{4t}$	$y_{4e} x_{4t}$	(-1)	$(-x_{4e})$	$(-y_{4e})$	0	0	=	$(-x_{4t})$
M										A

Trouver le coefficient de (E) revient à inverser la matrice M. C'est ce qui a été programmé en utilisant le logiciel Excel™. Les coefficients étant calculés pour une image, la correspondance, d'un point quelconque de l'écran, à cet instant du film, avec un point du terrain, est donnée par (E).

$$MX = A \Leftrightarrow X = M^{-1}A$$

2.3.5. Nouveau problème

Le module réalisé est une feuille de calcul Excel™ qui permet, en entrant les coordonnées sur le terrain et à l'écran de quatre points connus, de calculer le tableau de coordonnées-terrain (x_t ; y_t) associé à un tableau de coordonnées-écran (x_e ; y_e) sur une image film. Ce tableau utilise les résultats produits par la matrice inverse.

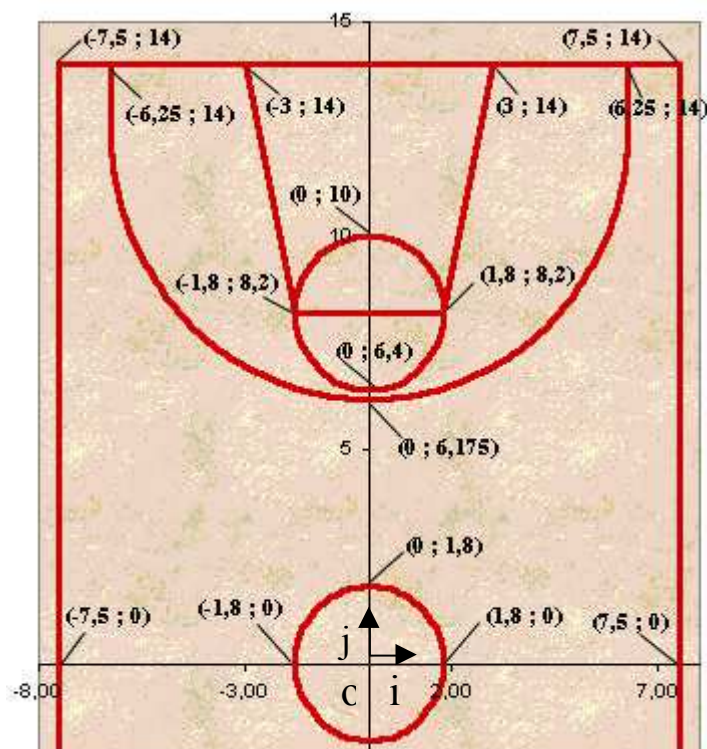
Cependant, en mettant à l'épreuve ce premier module, un problème majeur a été mis en évidence : des écarts importants entre des positions calculées et des positions réelles connues (e.g. : de points de marquage au sol). Il a donc été question d'identifier la source de ces erreurs et de modifier le programme pour améliorer le module.

2.3.6. Une solution alternative

Une solution mathématique a été envisagée. Fondée sur une description formalisée par écrit de la première conception de module et du problème d'imprécision, la collaboration du mathématicien Laurent Younes, a permis de sortir de cette impasse. Ce dernier a d'abord démontré que pour une image donnée il existe une relation constante (i.e. : un indice) entre les coordonnées de n'importe quel point à l'écran et ses coordonnées sur le terrain. Puis, il a représenté par une matrice la relation entre le plan de l'écran et le plan du terrain à partir de quatre points connus du terrain et repérables à l'écran (i.e. : marquage au sol). Les solutions calculées de cette matrice une fois inversée permettent de produire une seconde matrice pour retrouver les coordonnées sur le terrain d'un joueur ou du ballon à partir de ses coordonnées relevées à l'écran. Cette opération nécessite également d'inverser cette seconde matrice. Les solutions obtenues alors correspondent aux coordonnées sur le terrain. En tout, c'est donc douze matrices qui sont nécessaires pour retrouver pour chaque image les coordonnées sur le terrain des cinq attaquants, des cinq défenseurs et du ballon à partir de leurs coordonnées sur l'écran.

Le logiciel 3D-Vision © Gilles Dietrich a été utilisé pour obtenir à chaque image les coordonnées à l'écran des joueurs et du ballon et de quatre points connus. Les matrices proposées par L. Younes ont été complétées et transposées sur Excel™.

Figure 20 : Représentation en vue surplombante d'un terrain de basket-ball



Quelques points connus et leurs coordonnées
(l'unité est le mètre)

2.3.7. Mise à l'épreuve et caractéristiques techniques du module

Une série de tests opérés sur différentes séquences vidéo, consistant à vérifier les coordonnées de points connus sur le terrain à partir de leurs coordonnées à l'écran, a conclu à une précision du module de 3 à 16 centimètres. La vitesse de traitement est de 2 à 5 images par seconde selon la puissance de l'ordinateur utilisé (iMac 233 vs. PC PIII 1Ghz). L'automatisation du redressement a été rendue possible par la mise au point d'une macro-commande. Enfin, la caractérisation cinématique (e.g. : distance, vitesse, accélération) est réalisée simultanément au redressement des images.

2.4. Contribution à la recherche

La conception, la réalisation et la mise au point du module de redressement d'images s'inscrivent dans le cadre d'un projet plus général de la F.F.B.B.⁷⁸ (Grosgeorge, Sudre & Ziane, 1999). Le module de redressement d'images produit dans le cadre de cette recherche, constitue une contribution sur deux plans :

- au plan didactique, ce module permet d'obtenir une vue surplombante du jeu, vue de référence pour les entraîneurs,
- au plan de la recherche, il permet d'étudier les mouvements sportifs du point de vue cinématique depuis des images télévisuelles « grand public ».

Ce module de redressement d'images télévisuelles « grand public » intéresse déjà plusieurs chercheurs en *Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives* (STAPS) qui souhaiteraient analyser des mouvements à partir d'images télévisuelles « grand public ».

⁷⁸ Fédération Française de Basket-Ball - 1117, rue du château des rentiers - 75013 PARIS.

Exemple de localisations des joueurs et du ballon

Figure 21 : Image télé après numérisation sur PC équipé d'une carte Pinnacle™ DC 2000

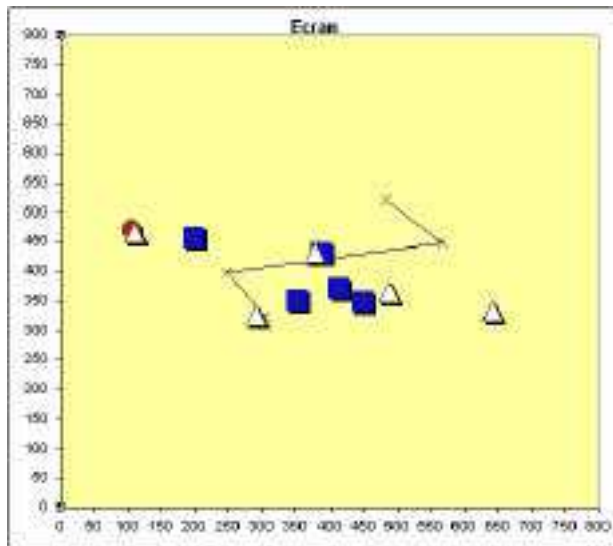
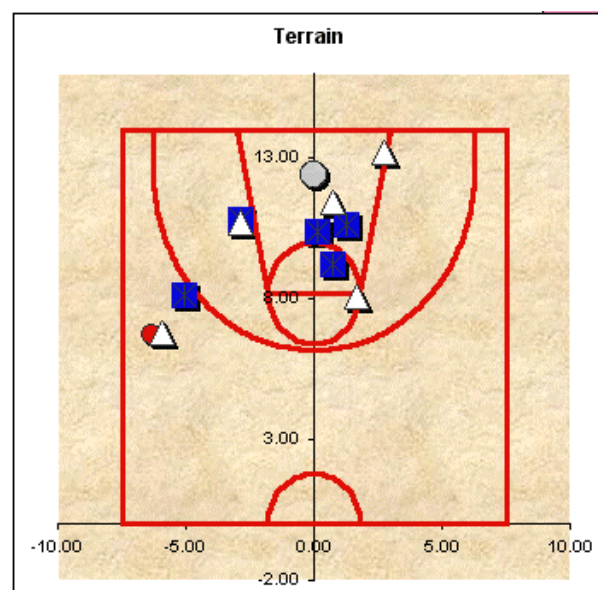


Figure 22 : Localisation à l'écran, des joueurs, du ballon et de 4 points connus, à l'aide du logiciel 3D-Vision©

Figure 23 : Localisation des joueurs et du ballon sur le terrain à l'aide du module de redressement d'images.



3. Modélisations des mouvements des joueurs, des équipes et du ballon

Les modélisations des mouvements des joueurs et du ballon ont été réalisées, en employant trois méthodes, à partir de trois types de données :

1. Les coordonnées successives des points qui les représentent.
2. Les distances entre les points représentant les joueurs, le ballon et le panier.
3. Les vitesses de déplacements de ces points.

Les modélisations, des mouvements des joueurs et du ballon sont fondées sur les modèles de joueur et du ballon considérés comme des points qui se déplacent dans le plan du terrain.

3.1. Modélisation des mouvements des joueurs et du ballon

3.1.1. Modélisation des mouvements des joueurs et du ballon à partir de leurs coordonnées successives

La méthode utilisée a consisté à modéliser les mouvements de chaque joueur et du ballon sous la forme de suites de paires de chiffres correspondant à leurs coordonnées successives sur le terrain. Cette méthode a permis de produire des fichiers de coordonnées de joueurs et du ballon.

3.1.2. Modélisation des variations des distances entre les joueurs, le ballon et le panier

La méthode employée a d'abord consisté à modéliser les distances qui séparent les joueurs, le ballon et le panier. Mis au point pour permettre le calcul de ces distances, le modèle de distance utilisé est un segment de droite dont chaque extrémité est un point représentant un objet (e.g. : joueur, ballon...). Les coordonnées des points représentant les joueurs, le ballon et le panier permettent d'utiliser la formule générale suivante :

$$d(AB) = \sqrt{(xB - xA)^2 + (yB - yA)^2}$$

Où : A et B sont deux points dont on cherche à calculer la distance,
 x_A et y_A sont les coordonnées du point A et x_B et y_B sont les coordonnées du point B .

Les variations de distances qui séparent les joueurs, le ballon et le panier, sont modélisées sous formes de suites de valeurs de longueur de segments. Cette méthode a permis de constituer des fichiers de données.

3.1.3. Modélisation des variations de vitesses des joueurs et du ballon

La méthode employée a d'abord consisté à modéliser les vitesses des joueurs et du ballon. Le modèle de vitesse utilisé est le rapport mathématique d'une distance parcourue sur la durée écoulée pour parcourir cette distance. La distance est celle parcourue par un point représentant un joueur ou le ballon entre deux images. La durée est celle séparant deux images (i.e. : 40 ms).

Les coordonnées des points représentant les joueurs, le ballon et le panier permettent également d'utiliser la formule générale suivante :

$$Vitesse = \sqrt{((xB - xA)^2 + (yB - yA)^2)} / t$$

3.2. Modélisation des mouvements des équipes

L'objectif de ce travail est de passer d'une approche topographique (fichiers de coordonnées successives) à une approche phénoménale (les mouvements et leurs corrélations). Pour cela, différents points de vue ont été construits. Ces points de vue sont inspirés des recherches précédentes. Ces recherches, pour la plupart, portaient sur d'autres sports que le basket-ball. Cependant, les points de vue des chercheurs ont été repris car ils pourraient être pertinents pour étudier des actions de jeu de basket-ball. D'autres points de vue ont été créés car ils sont inspirés de points de vue d'experts. Ces points de vue de .t permettre de valider ou au contraire d'invalider ces points de vue et des hypothèses qui les fondent.

3.2.1. Modélisation des mouvements d'équipe considérée comme un ensemble de points

La méthode utilisée est fondée sur le modèle de joueur considéré comme un point qui se déplace dans le plan et sur le modèle d'équipe considérée comme un ensemble de points. Le modèle de mouvement d'équipe est alors un fichier rassemblant les coordonnées successives des joueurs.

3.2.2. Modélisation des mouvements des équipes considérées comme des nuages de points

Trois méthodes ont été utilisées :

1. celle consistant à étudier les variations de pente et de hauteur de la droite des moindres carrés,
2. celle consistant à étudier les variations de surfaces des équipes,
3. celle consistant à étudier les variations de distances entre le barycentre du nuage de points représentant chaque équipe, le point représentant le ballon et le point représentant le panier.

a) Modélisation des mouvements des équipes par les variations de pente et de hauteur des droites des moindres carrés des nuages de points représentant ces équipes.

La méthode utilisée a consisté à calculer, pour chaque image, la pente et la hauteur des droites des moindres carrés des nuages de points représentant chaque équipe à des instants successifs. Les données obtenues ont permis de constituer des fichiers de coordonnées.

b) Modélisation des mouvements des équipes par les variations de surfaces qu'elles occupent.

La méthode utilisée a consisté à calculer, pour chaque nuage de points représentant une équipe, les surfaces successivement occupées. Le modèle proposé est alors des suites de valeurs de surfaces d'équipes.

c) Modélisation des mouvements des équipes par les variations de distances entre les équipes, le ballon et le panier.

La méthode utilisée a consisté à modéliser les variations de distances entre les barycentres des nuages de points représentant chaque équipe, le point représentant le ballon et le point représentant le panier. En effet, les positions relatives de ces points peuvent être étudiées du point de vue des distances qu'elles induisent ce qui conduit à proposer de nouveaux concepts :

- le concept de distance de contact, qui fait référence à la distance entre le barycentre des points représentant les joueurs de l'équipe en défense et le barycentre des points représentant les joueurs de l'équipe attaquante.
- le concept de distance de préparation au tir, qui fait référence à la distance entre le barycentre des points représentant les joueurs de l'équipe attaquante et le point représentant le ballon.
- le concept de distance d'interposition, qui fait référence à la distance entre le barycentre des points représentant les joueurs de l'équipe en défense et le point représentant le ballon.
- le concept de distance de protection de la cible, qui fait référence à la distance entre le barycentre des points représentant les joueurs de l'équipe en défense et le point représentant le panier.
- le concept de distance d'approche, qui fait référence à la distance entre le barycentre des points représentant les joueurs de l'équipe attaquante et le point représentant le panier.
- le concept de distance de risque, qui fait référence à la distance entre le point représentant le ballon et le point représentant le panier.

Le grain d'analyse est ici assez grossier car tous les joueurs ont été considérés ici comme équivalents et chaque équipe est réduite à un point : le barycentre des points qui représentent les joueurs qui composent cette équipe. Les fichiers de coordonnées successives des barycentres des équipes servent directement de modèle.

3.2.3. Modélisation des mouvements des équipes considérées comme des polygones convexes

La méthode employée est fondée sur le modèle de joueur considéré comme un point qui se déplace dans le plan et sur le modèle d'équipe considérée comme un polygone convexe :

- dont les angles sont les points représentant les joueurs les plus à la périphérie,
- qui se déplace dans le plan du terrain,
- dont la surface varie au cours de l'action de jeu.

Pour modéliser les mouvements d'équipes considérées comme des polygones convexes, il faut prendre en compte les mouvements de ces barycentres et les déformations des surfaces

de ces polygones. Les mouvements de ces barycentres ont déjà été pris en compte pour modéliser les variations de distances entre les barycentres des nuages de points représentant chaque équipe.

3.3. Modélisation des variations de vitesse des joueurs et du ballon

La méthode employée est fondée sur les modèles de joueur et du ballon considérés comme des points qui se déplacent dans le plan du terrain. Le modèle de vitesse utilisé fait référence à la distance parcourue par un objet par unité de temps. L'unité de calcul retenue est : le $m.s^{-1}$.

Le calcul de ces vitesses a consisté à utiliser, à partir des coordonnées de ces objets, la formule générale suivante :

$$\text{Vitesse} = \frac{d(AB)}{t}$$

Le modèle de variation de distance fait référence aux accélérations et aux freinages des joueurs et du ballon

Conclusion

Les graphismes schématiques, utilisés par les entraîneurs experts, ne permettent pas de représenter avec précision et d'étudier des actions de jeu d'un point de vue cinématique. Pour dépasser cet obstacle, les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon ont été modélisés de différentes façons. Les modèles de mouvements mis au point sont fondés sur les modèles de terrain, de joueurs, d'équipes et de ballon construits en vue de mener cette recherche.

La modélisation des mouvements des joueurs, des équipes et du ballon permet d'envisager la modélisation des corrélations entre ces mouvements.

CHAPITRE 4 : Modélisations et représentations graphiques des corrélations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon

Introduction

Les corrélations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon ont été modélisés de différentes façons pour répondre aux questions suivantes :

- *Quelles sont les corrélations entre les mouvements des joueurs et du ballon ?*
- *Quelles sont les corrélations entre les vitesses des joueurs et du ballon ?*
- *Quelles sont les corrélations entre les distances qui séparent les joueurs, les équipes, le ballon et la cible ?*
- *Quelles sont les corrélations entre les changements de configurations des équipes ?*
- *Quelles sont les corrélations entre les variations des surfaces occupées par les équipes ?*

L'étude cinématique et statistique d'une action de jeu illustre la méthode employée.

1. Modèles bayésiens

Le concept de corrélation entre deux variables cinématiques fait référence à la « *dépendance entre deux phénomènes, indiquant un effet de causalité ou une fonction d'interdépendance* » (Dictionnaire de l'Encyclopedia Universalis, 2004).

Dans le cadre de la présente recherche, la modélisation des corrélations vise à mettre en évidence des dépendances entre les variables suivantes :

- les vitesses des joueurs et du ballon,
- les distances qui séparent les joueurs, les équipes, le ballon et le panier,
- les changements de configurations des équipes,
- les variations des surfaces occupées par les équipes.

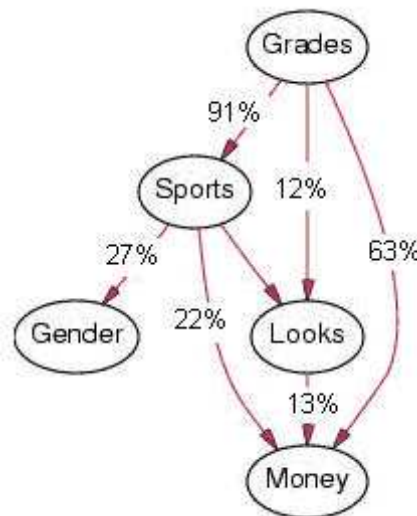
Ce qui est recherché est le sens et la force de la dépendance entre deux ou plusieurs variables, c'est-à-dire à l'effet qu'une de ces variables (i.e. : la variable indépendante) produit sur une autre variable (i.e. : la variable dépendante) ; par exemple : « *Les mouvements d'un attaquant ont-ils une influence forte sur ceux d'un défenseur ?* ».

Pour inférer puis modéliser les corrélations entre des variables cinématiques, le choix a été arrêté sur la technique des réseaux bayésiens (RB) pour cinq raisons :

1. Les RB permettent de mettre en évidence et représenter graphiquement et simplement, la force et le sens des corrélations entre des variables, qui sont, pour la plupart, dépendantes de certaines variables et indépendantes d'autres.
2. Les RB permettent de traiter des faits précis, mais incertains alors que la *logique floue* traite de faits imprécis, quant aux réseaux de neurones, leur interprétation est difficile et incertaine (Becker & Naïm, 1999).
3. « *Aucune technique concurrente... ne permet... la mise à jour des modèles... de façon aussi naturelle...* » (ibid).
4. Les RB sont des outils de traitement de données au sens où ils constituent des techniques d'acquisition, de représentation et de manipulation de connaissances (ibid).
5. Un RB est une représentation graphique de corrélations : « *un graphe dont les nœuds définissent les variables du système et dont les arcs définissent l'existence de*

relations entre ces variables... » Populaire (2000). Il s'agit plus précisément de « la représentation d'une distribution de probabilités » Becker & Naïm (1999).

Figure 21 : Exemple de réseau bayésien



Le recours aux RB présente différents intérêts pour mener cette recherche : la possibilité de modéliser des dépendances « *quasi-causales* », spatiales, temporelles (Leray, 1998) et ce même si les informations sont imparfaites (i.e. : bruit) ou manquantes (Becker & Naïm, 1999), mais également de deviner les buts, les plans, les connaissances à partir d'actions (Gonzales & Wuillemin, 1998). Dernier intérêt et non des moindres, les RB permettent : « *La combinaison... d'une base de connaissances a priori par de la connaissance empirique contenue dans des données...* » (Becker & Naïm, 1999), par exemple des données cinématiques et des données événementielles (e.g. : passes, tirs, dribble). Cependant, il faut reconnaître une limite aux RB : Ils ne permettent pas la modélisation du temps. Pour cela il faut utiliser une technique nettement plus complexe tant à mettre en œuvre qu'à maîtriser, les *réseaux bayésiens dynamiques* (Leray, 1998). Pour résoudre ce problème, un détour a consisté à intégrer le temps à des variables (e.g. : vitesse, accélération).

Le logiciel B-Course™ a été utilisé pour réaliser des RB à partir des fichiers de variables.

2. Discrimination des variables pertinentes

Les précédentes recherches étaient fondées sur l'utilisation d'un à trois descripteurs cinématiques particuliers (e.g. : changement de configurations des équipes, variations de vitesses des joueurs et du ballon). Cette recherche reprend ces descripteurs et les adapte pour étudier, des points de vue qu'ils offrent, les actions de jeu de basket-ball retenues. Mais, le recours à un seul descripteur à la fois, pour décrire des actions de jeu, conditionne les résultats produits. Par exemple, étudier une action de jeu du point de vue des vitesses des joueurs et du ballon ne peut renseigner que sur cette caractéristique cinématique. Au-delà du risque de produire des artefacts et, même s'il est possible de montrer que ce descripteur permet de voir ce qui était jusque là "invisible", rien ne garantit qu'il s'agit du descripteur le plus pertinent pour étudier cette action de jeu. Trois méthodes ont été utilisées pour trouver le descripteur le plus pertinent :

La première méthode a consisté à étudier chaque action de jeu en utilisant, un à un, chacun des descripteurs suivants jusqu'à trouver celui permet de mettre en évidence des corrélations fortes :

- l'évolution des configurations des équipes,
- l'évolution des surfaces occupées par les équipes,
- l'évolution des distances entre les joueurs, le ballon, la cible,
- l'évolution des vitesses des joueurs et du ballon.

La deuxième méthode a consisté à étudier chaque action de jeu en utilisant tous les descripteurs à la fois. Cette méthode aurait pu permettre également de vérifier l'hypothèse de corrélations entre des variables qui n'ont jamais été étudiées ensemble (e.g. : la vitesse du porteur de ballon et la surface occupée par la défense, ou encore, la distance entre certains joueurs et les mouvements du ballon dans l'axe profond). Mais les RB produits étaient si complexes et si enchevêtrés que leur interprétation s'est avérée impossible. Pour trier les corrélations les plus pertinentes, Pierre-Henri Wuillemin⁷⁹ a été sollicité. Sa

⁷⁹ Pierre-Henri Wuillemin est chef de projet, employé par la société Bayesia spécialisée dans la conception de logiciels utilisant les réseaux bayésiens pour le diagnostic et le dépannage (<http://www.bayesia.com/contacts.htm>). Il est l'auteur d'une thèse en informatique intitulée

collaboration a permis de faire quelques essais à partir d'un logiciel qu'il développe pour la société Bayésia. Ce logiciel a, entre autres fonctions, de permettre d'extraire les corrélations fortes de RB très fournis et de laisser de côté les corrélations ténues. Les essais menés à partir de quelques fichiers n'ont pas produit de résultats significativement plus lisibles. Finalement, de cette méthode, il n'a été retenu que l'idée d'étudier les actions de jeu à partir de descripteurs cinématiques différents (e.g. : des vitesses, des distances, des surfaces occupées par les équipes).

La troisième méthode a consisté à étudier chaque action de jeu, à partir de nouveaux descripteurs dérivés de descripteurs plus simples (e.g. : vitesse d'expansion des surfaces, rapport de surfaces des équipes, rapport des vitesses d'expansion). Ces nouveaux concepts descripteurs permettent d'étudier les actions de jeu selon de nouveaux points de vue. Cette solution permet également de répondre à des questions particulières ; par exemple :

- *Quelles sont les corrélations entre les équipes du point de vue du rapport des surfaces qu'elles occupent ?*
- *L'occupation de l'espace par une équipe a-t-elle une influence sur l'occupation de l'espace par l'équipe antagoniste ?*

Pour chaque corrélation, entre deux variables, mise en évidence, les RB produits ont permis de répondre aux questions suivantes :

- *Les deux variables évoluent-elles ensemble ou l'évolution d'une variable dépend-elle de l'autre variable ?*
- *Dans le second cas, quelle est la variable dépendante et la variable indépendante ?*
- *Quelle est la force des corrélations mises en évidence ?*

3. Modélisation des corrélations entre les mouvements des équipes

3.1. Modélisation des corrélations entre les changements de configurations des équipes

3.1.1. Modélisation des corrélations entre les mouvements des joueurs et du ballon

La méthode employée est fondée sur les modèles de joueurs et du ballon considérés comme des points qui se déplacent dans le plan du terrain. Elle a consisté à utiliser les coordonnées successives de ces points pour élaborer deux⁸⁰ RB par action de jeu.

Les RB conçus permettent de mettre en évidence et de représenter graphiquement, pour chaque action de jeu, les corrélations entre coéquipiers (i.e. : notions de soutiens), entre adversaires (i.e. : notion de vis-à-vis) et avec le ballon.

La modélisation des corrélations entre les positions successives des joueurs et du ballon permet de représenter et d'étudier l'influence des mouvements de tels joueurs et du ballon sur tels autres joueurs (et du ballon), ainsi que la force de cette influence.

3.1.2. Modélisation des corrélations entre les mouvements des barycentres des équipes

La méthode employée est fondée sur les modèles de joueur et du ballon considérés comme des points qui se déplacent dans le plan du terrain et sur le modèle d'équipe considérée comme un point qui se déplace dans le plan du terrain : le barycentre des nuages de points représentant les joueurs de l'équipe. Cette méthode a consisté à utiliser directement les coordonnées successives de chaque barycentre pour élaborer deux RB par action de jeu.

Les RB conçus permettent de mettre en évidence et de représenter graphiquement, pour chaque action de jeu, le sens et la force des corrélations entre les variations de coordonnées des barycentres des équipes.

⁸⁰ Un RB représente la force des relations et l'autre RB représente la causalité.

3.1.3. Modélisation des corrélations entre les variations de pente et de hauteur des nuages de points représentant les équipes

La méthode employée est fondée sur le modèle d'équipe considérée comme un nuage de points dont la pente et la hauteur sont calculées. Cette méthode a consisté à utiliser les valeurs successives des pentes et des hauteurs de chaque nuage de points pour élaborer deux RB par action de jeu.

Les RB conçus permettent de mettre en évidence et de représenter graphiquement, pour chaque action de jeu, le sens et la force des corrélations entre les variations de pente et de hauteur des droites des moindres carrés des deux nuages de points représentant les équipes.

3.2. Modélisation des corrélations entre les variations des surfaces occupées par les équipes

Pour les entraîneurs et les formateurs, la défense se replie ou au contraire se déploie en fonction de la surface occupée par l'équipe attaquante. Mais, aucune donnée précise ne permet de montrer avec précision ces corrélations. Pour dépasser cet obstacle, il a fallu mettre au point plusieurs méthodes qui permettent de mettre en évidence les corrélations entre les équipes du point de vue des variations des surfaces qu'elles occupent. Plusieurs hypothèses ont été formulées. Pour vérifier ces hypothèses, il a d'abord fallu mettre au point de nouveaux modèles fondés sur de nouveaux concepts descripteurs.

La première hypothèse est que chaque équipe fait varier la surface qu'elle occupe en fonction du rapport des surfaces qu'occupent les équipes. Vérifier cette hypothèse conduit à proposer un nouveau concept descripteur : *le concept de rapport des surfaces*. Ce concept fait référence au rapport mathématique de la surface d'attaque sur la surface de défense à un instant t . Pour calculer, pour chaque image, le rapport des surfaces occupées par chaque équipe, il a fallu modéliser ce rapport sous forme d'équation mathématique. Le modèle mis au point permet de vérifier l'existence de corrélations entre les variations de surface occupée par chaque équipe et les variations du rapport des surfaces que ces équipes occupent.

Cependant, au cours d'actions de jeu, les surfaces occupées par les équipes varient en permanence ainsi que le rapport mathématique entre ces surfaces. Aussi, les variations de ces surfaces ne sont pas constantes. Ceci conduit à formuler une deuxième hypothèse.

La deuxième hypothèse est que la vitesse à laquelle une équipe se déploie ou se rétracte dépend de la vitesse à laquelle l'équipe adverse se déploie ou se rétracte. Pour vérifier cette hypothèse, il a fallu mettre au point un nouveau concept descripteur : *le concept de vitesse d'expansion*. Ce concept fait référence au rapport de : la différence entre la surface occupée par une équipe à un instant t et l'instant $t+1$, sur la durée qui sépare les instants t et $t+1$ (i.e. : 40 ms). Pour calculer, d'une image à la suivante, les vitesses d'expansion des surfaces occupées par chaque équipe, il a fallu modéliser ces vitesses sous forme d'équation mathématique. Le modèle mis au point permet de vérifier l'existence de corrélations entre les équipes du point de vue des variations de vitesse d'expansion.

Mais le basket-ball est un jeu de vitesse. Or, l'étude des vitesses d'expansion ne permet pas de vérifier si au cours d'actions de jeu, l'une ou l'autre équipe se déploie ou se replie plus ou moins vite en fonction de la vitesse d'expansion de l'équipe adverse. Ceci conduit à formuler une troisième hypothèse.

La troisième hypothèse est que la vitesse à laquelle une équipe se déploie ou se rétracte dépend du rapport des vitesses d'expansion des équipes. Pour vérifier cette hypothèse, il a fallu mettre au point un nouveau concept descripteur : *le concept de rapport de vitesses d'expansion*. Ce concept fait référence au rapport mathématique de la vitesse d'expansion de l'attaque sur la vitesse d'expansion de la défense. Pour calculer, pour chaque image, le rapport des vitesses d'expansion, il a fallu modéliser ce rapport sous forme d'équation mathématique. Le modèle mis au point permet de vérifier l'existence de corrélations entre les équipes du point de vue des variations du rapport des vitesses d'expansion.

Pour vérifier ces trois hypothèses, la méthode utilisée est fondée :

- sur le modèle de joueurs considérés comme des points,
- sur le modèle d'équipe considérée comme un polygone convexe dont l'aire est calculée,
- le modèle de rapport des surfaces,
- le modèle de vitesse d'expansion,

- le modèle de rapport de vitesses d'expansion.

Cette méthode a nécessité de calculer, pour chaque image, les valeurs :

- de l'aire de chaque polygone,
- du rapport des surfaces,
- de la vitesse d'expansion de chaque équipe,
- du rapport des vitesses d'expansion des équipes.

Cette méthode a consisté à élaborer deux RB par action de jeu en utilisant :

- les valeurs des aires successives de chaque polygone.
- les valeurs du rapport des surfaces.
- les valeurs des vitesses d'expansion de chaque équipe.
- les valeurs du rapport des vitesses d'expansion de chaque équipe.

Les RB conçus permettent de mettre en évidence et de représenter graphiquement, pour chaque action de jeu, les corrélations entre les variations de surfaces occupées par les équipes.

3.3. Modélisation des corrélations entre les variations de distance entre les équipes, le ballon et la cible

Les positions relatives des joueurs, des équipes, du ballon et du panier, peuvent être étudiées du point de vue des distances qu'elles induisent. Ceci conduit à proposer de nouveaux concepts :

- le concept de distance de contact. Ce concept fait référence à la distance entre le barycentre des points représentant les joueurs de l'équipe en défense et le barycentre des points représentant les joueurs de l'équipe attaquante.
- le concept de distance de préparation au tir. Ce concept fait référence à la distance entre le barycentre des points représentant les joueurs de l'équipe attaquante et le point représentant le ballon.
- le concept de distance d'interposition. Ce concept fait référence à la distance entre le barycentre des points représentant les joueurs de l'équipe en défense et le point représentant le ballon.

- le concept de distance de protection de la cible. Ce concept fait référence à la distance entre le barycentre des points représentant les joueurs de l'équipe en défense et le point représentant le panier.
- le concept de distance d'approche. Ce concept fait référence à la distance entre le barycentre des points représentant les joueurs de l'équipe attaquante et le point représentant le panier.
- le concept de distance de risque. Ce concept fait référence à la distance entre le point représentant le ballon et le point représentant le panier.

Mis au point pour permettre le calcul de ces distances, le modèle de distance utilisé est un segment de droite dont chaque extrémité est un point représentant un objet (e.g. : joueur, ballon...). Les données disponibles pour calculer ces distances sont les coordonnées des points représentant les joueurs, les équipes, le ballon et la cible. Ceci conduit à utiliser la formule générale suivante :

$$d(AB) = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$$

La méthode employée pour modéliser les corrélations entre les distances qui séparent les équipes, le ballon et la cible, est fondée sur :

- les modèles de joueur et du ballon considérés comme des points qui se déplacent dans le plan du terrain,
- le modèle d'équipe, considérée comme un point qui se déplace dans le plan du terrain : le barycentre des points représentant les joueurs de l'équipe,
- le modèle de cible, considérée comme un point fixe, le centre du panier,
- le concept de distance de contact,
- le concept de distance de préparation au tir,
- le concept de distance d'interposition,
- le concept de distance de protection de la cible,
- le concept de distance d'approche,
- le concept de distance de risque,

Cette méthode a nécessité de calculer, pour chaque image, les valeurs :

- de la distance de contact,
- de la distance de préparation au tir,

- de la distance d'interposition,
- de la distance de protection de la cible,
- de la distance d'approche,
- de la distance de risque,

Cette méthode a consisté à élaborer deux RB par action de jeu en utilisant les valeurs des distances calculées.

3.4. Modélisation des corrélations entre les variations de vitesses des joueurs et du ballon

Le basket-ball n'est pas qu'un jeu de positionnement de joueurs sur le terrain, par rapport au ballon, à la cible, aux coéquipiers et aux adversaires. C'est également, un jeu de vitesse voire d'accélération. C'est le cas par exemple lorsqu'un défenseur marque un attaquant ou encore lorsqu'un attaquant cherche à se démarquer d'un défenseur. Les actions de jeu doivent donc être étudiées du point de vue des corrélations entre les variations de vitesses des joueurs et du ballon. Ces variations de vitesses peuvent être positives ou négatives⁸¹. Les coordonnées successives des joueurs et du ballon ont permis de calculer les vitesses de chaque joueur et du ballon en utilisant la formule :

$$\text{Vitesse} = \text{distance} / \text{durée}$$

La distance est celle que parcourt un joueur ou le ballon entre deux images séparées d'une durée de 40 ms.

Pour modéliser les corrélations entre les variations de vitesse des joueurs et du ballon la méthode employée est fondée sur les modèles de joueur et du ballon considérés comme des points qui se déplacent dans le plan du terrain. Cette méthode a nécessité de calculer, pour chaque image, les valeurs des vitesses des joueurs et du ballon en utilisant la formule :

$$\text{Vitesse} = \frac{d(AB)}{t}$$

Cette méthode a consisté à élaborer deux RB par action de jeu en utilisant les valeurs des vitesses calculées des joueurs et du ballon.

3.5. Conclusion

Pour trouver les descripteurs les plus pertinents afin de mettre en évidence les corrélations entre les équipes, la méthode consistant à produire des RB à partir de toutes les variables à la fois n'a pas été retenue. Les deux méthodes retenues sont :

1. celle consistant à utiliser un à un les descripteurs utilisés par les chercheurs qui m'ont précédé,

⁸¹ i.e. : décélération.

2. celle consistant à produire de nouveaux descripteurs dérivés de descripteurs plus simples, pour produire des RB.

Mais, quels que soient les descripteurs utilisés pour étudier les actions de jeu, il s'agit toujours de variables dont les valeurs ont été calculées sur Excel™ à partir des positions des joueurs et du ballon. Il ressort que les descripteurs les plus pertinents pour mettre en évidence les corrélations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon diffèrent en fonction des actions de jeu étudiées. Ceci permet de proposer de nouvelles catégories pour classer les actions de jeu : des catégories de descripteurs les plus pertinents pour décrire les corrélations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon. Mais avant de développer ce point, le chapitre suivant illustre la méthode, mise au point et employée pour traiter l'ensemble des actions de jeu retenues, par l'étude détaillée d'une action de jeu.

5. Exemple d'étude cinématique et probabiliste d'une action de jeu

La méthode, décrite plus haut, est illustrée dans ce chapitre par le traitement d'une action de jeu issue des jeux olympiques de Sydney.

Figure 22 : Rappel de la séquence d'action de jeu

(Sydney 2000, Finale France/USA - Action de jeu type T24⁸² réussie - Durée 5"72)



Légende :

Attaquant	
-----------	--

Défenseur	
-----------	--

Ballon	
--------	--

Panier	
--------	--

Ces vues surplombantes ont été produites par le module de redressement d'image à partir d'une séquence vidéo télévisuelle « grand public ».

⁸² Type 24 : Transition entre une organisation de *tir de fixation de la défense avec écran d'un non-porteur* et une organisation de tir où *le tireur construit son tir sans aide de ses co-équipiers*.

Pour chaque point de vue (e.g. : étude des configurations, étude des distances, étude des surfaces occupées), les corrélations, entre les variables étudiées ensembles, sont représentées par deux RB :

- le premier représente le sens des corrélations entre certaines variables, c'est-à-dire permet de montrer les variables indépendantes et les variables dépendantes,
- le second représente la force de ces corrélations.

Cependant, bien que les RB permettent de représenter graphiquement et simplement les corrélations entre des variables, leur interprétation n'est pas évidente, même lorsque l'on dispose de la légende d'interprétation. Pour dépasser cet obstacle, il a fallu mettre au point un outil d'interprétation des RB produits. La forme donnée à cet outil est celle d'une série de trois tableaux à double entrée. Ces tableaux permettent :

- d'interpréter aisément et fidèlement ces représentations graphiques,
- de s'exercer à l'interprétation des RB.

Avant de présenter le traitement d'une action de jeu selon différents points de vue, ces tableaux sont présentés.

5.1. Conception d'un outil d'interprétation des RB

5.1.1. Légende d'interprétation des RB

Pour interpréter les RB produits, il faut se référer à la légende présentée ci-dessous :

RB représentant le sens des corrélations :

- les arcs en traits pleins avec flèche représentent l'influence directe de la variable en amont sur la variable en aval,
- les arcs en traits discontinus avec flèche offrent deux possibilités d'interprétation, mais les données ne permettent pas de dire si la variable en amont influe sur l'autre ou si les variables s'influencent réciproquement,
- les arcs en traits discontinus sans flèche représentent une corrélation entre deux variables sans que l'on sache laquelle influence l'autre : une covariation.

RB représentant la force des corrélations : Retirer un arc ferait chuter la probabilité des corrélations modélisées dans les proportions suivantes :

- à moins d'un sur un milliard pour les arcs noirs (i.e. : corrélation très forte),

- à moins d'un sur un million pour les arcs violets (i.e. : corrélation forte),
- à moins d'un sur mille pour les arcs bleu foncé (i.e. : corrélation faible),
- à moins d'un sur cent pour les arcs bleu clair (i.e. : corrélation très faible).

5.1.2. Contraintes de conception

La conception des tableaux d'interprétation des RB a visé deux objectifs :

1. permettre à n'importe quel utilisateur d'interpréter les RB produits,
2. s'assurer que tout utilisateur pourra retrouver simplement et rapidement les mêmes résultats qu'un autre utilisateur.

Pour cela, ces tableaux ont été conçus pour rendre simple et rapide :

- le comptage des liens,
- la retranscription manuelle,
- l'automatisation de l'interprétation.

La conception de ces tableaux a été soumise à deux contraintes liées aux compétences de l'utilisateur :

1. ne pas devoir connaître et utiliser un langage informatique particulier,
2. ne pas devoir acquérir, installer ou se former à un nouveau logiciel.

5.1.3. Conception de l'outil d'interprétation

Ces trois tableaux d'interprétation des RB ont été réalisés sur Excel™ :

- Le premier tableau, nommé : « *Légende des RB* », reprend et automatise le codage graphique, utilisé par les concepteurs du logiciel B-Course.
- Le deuxième tableau, nommé : « *Tableau de retranscription manuelle* », est destiné à être complété par l'utilisateur. Il permet la retranscription manuelle des corrélations mises en évidence et représentées par les RB.
- Le troisième tableau, nommé : « *Tableau d'interprétation automatique* », réalise, une interprétation du second tableau, simultanément à la retranscription manuelle.

Pour décrire la force des corrélations mises en évidence, les termes, utilisés par les concepteurs du logiciel, ont aussi été repris :

- Les arcs noirs sont interprétés comme la représentation d'une corrélation *très forte*.
- Les arcs violets sont interprétés comme la représentation d'une corrélation *forte*.

- Les arcs bleu foncé sont interprétés comme la représentation d'une corrélation *faible*.
- Les arcs bleu clair sont interprétés comme la représentation d'une corrélation *très faible*.

Mais, les RB représentant la force des corrélations entre deux variables, ne permettent pas de discerner les variables indépendantes et les variables dépendantes. Pour cela, d'autres RB ont été produits. Le graphisme de ces RB est basé un code de traits et de flèches. La légende ci-dessous reprend, les termes employés⁸³ par les concepteurs du logiciel B-Course™ :

- les arcs pleins avec flèches sont interprétés comme la représentation de *l'influence* de la variable en amont sur la variable en aval,
- les arcs en traits discontinus avec flèches sont interprétés comme la représentation de *l'influence probable* de la variable en amont sur la variable en aval,
- les arcs en traits discontinus sans flèche sont interprétés comme la représentation de *l'évolution conjointe* de la variable en amont et de la variable en aval (covariation).

Ces trois tableaux sont présentés aux pages suivantes.

⁸³ Sauf le terme de « *causalité* » qui est remplacé par celui d'influence. En effet, le terme de causalité laisse penser que la modélisation prend en compte les variables influentes de façon exhaustive, or ce n'est pas le cas.

Tableau de décodage des RB
Sens et force de la corrélation entre deux variables

Covariation	Noir	Violet	Bleu foncé	Bleu clair
Tiret (---)	évoluent très fortement avec	évoluent fortement avec	évoluent faiblement avec	évoluent très faiblement avec
Tiret avec flèche (--->)	influencent ou évoluent très fortement	influencent ou évoluent fortement	influencent ou évoluent faiblement	influencent ou évoluent très faiblement
Trait plein avec flèche (->)	influencent très fortement	influencent fortement	influencent faiblement	influencent très faiblement

Dépendance

Dégressivité

Tableau de retranscription manuelle des relations entre variables représentées par les réseaux bayésiens

		VARIABLES EN AMONT					
		Les déplacements latéraux			Les déplacements dans l'axe profond		
		de l'atropax (Abx Bayes Atropax)	de la défonse (Abx Bayes Deffonse)	de l'ellise (Abx Bayes Ellise)	de l'atropax (Oxl Bayes Atropax)	de la défonse (Oxl Bayes Deffonse)	de l'ellise (Oxl Bayes Ellise)
VARIABLES EN AVANT	Les déplacements latéraux		noir				
	Les déplacements dans l'axe profond						
	de l'atropax (Abx Bayes Atropax)						
	de la défonse (Abx Bayes Deffonse)						
	de l'ellise (Abx Bayes Ellise)						
	de l'atropax (Oxl Bayes Atropax)						
	de la défonse (Oxl Bayes Deffonse)						
	de l'ellise (Oxl Bayes Ellise)						

Tableau de d'interprétation automatique des réseaux bayésiens

		VARIABLES EN AMONT					
		Les déplacements latéraux			Les déplacements dans l'axe profond		
		de l'arrière (Ond Bayes Antépos)	de la distance Bayes Distance)	(Ond (Ond Bayes Postépos)	de l'avant (Ond Bayes Antépos)	de la distance (Ond Bayes Distance)	de l'arrière (Ond Bayes Postépos)
VARIABLES EN AVAL	Les déplacements latéraux	de l'arrière (Ond Bayes Antépos)	de la distance Bayes Distance)	(Ond (Ond Bayes Postépos)	de l'avant (Ond Bayes Antépos)	de la distance (Ond Bayes Distance)	de l'arrière (Ond Bayes Postépos)
	Les déplacements dans l'axe profond	de l'arrière (Ond Bayes Antépos)	de la distance Bayes Distance)	(Ond (Ond Bayes Postépos)	de l'avant (Ond Bayes Antépos)	de la distance (Ond Bayes Distance)	de l'arrière (Ond Bayes Postépos)
		infirmité ou évolution très fortement	infirmité ou évolution très fortement	infirmité ou évolution très fortement	infirmité ou évolution très fortement	infirmité ou évolution très fortement	infirmité ou évolution très fortement
		infirmité ou évolution très fortement	infirmité ou évolution très fortement	infirmité ou évolution très fortement	infirmité ou évolution très fortement	infirmité ou évolution très fortement	infirmité ou évolution très fortement
		évolution fortement	évolution fortement	évolution fortement	évolution fortement	évolution très fortement	évolution très fortement
		évolution fortement	évolution très fortement	évolution fortement	évolution très fortement	évolution très fortement	évolution très fortement
		évolution fortement	évolution très fortement	évolution fortement	évolution très fortement	évolution très fortement	évolution très fortement
		évolution fortement	évolution très fortement	évolution fortement	évolution très fortement	évolution très fortement	évolution très fortement
		évolution fortement	évolution très fortement	évolution fortement	évolution très fortement	évolution très fortement	évolution très fortement

5.1.3. Mode opératoire d'interprétation

La formalisation de la pratique d'utilisation de ces tableaux a permis de rédiger une technique ou mode opératoire présenté ci-dessous. Sept étapes sont nécessaires pour interpréter les RB produits en utilisant B-Course :

1. Observer globalement chaque paire de RB produite, pour y rechercher d'éventuelles particularités⁸⁴ à mentionner,
2. Ignorer les liens⁸⁵ qui ne permettent pas de répondre à la question soulevée, même s'ils sont très forts et orientés,
3. Ignorer les liens trop ténus (i.e. : bleu clair et bleu foncé) ou ceux qui ne rendent compte que d'une covariation et non pas d'une influence (i.e. : arcs en forme de trait discontinu sans flèche),
4. Compter et noter le nombre d'arcs pour vérifier plus tard sur le tableau de retranscription qu'aucun d'entre eux n'a été omis,
5. Retranscrire sur le premier tableau, les arcs des paires de RB en allant de haut en bas,
6. Recomposer les phrases interprétatives à partir du tableau,
7. Ne laisser apparaître que les phrases qui traduisent une influence ou une évolution conjointe forte (i.e. : les arc noirs ou violets).

Mais, parce que les RB produits représentent, entre autres, l'influence de variables sur d'autres variables, deux points de vue interprétatifs peuvent être adoptés, pour répondre à deux types de questions générales :

- *Quelles sont les variables en amont qui évoluent avec ou qui ont une influence forte ou très forte sur une variable en aval ?*
- *Quelles sont les variables en aval qui évoluent avec ou qui sont influencées fortement ou très fortement par une variable en amont ?*

Ainsi, deux lectures de chaque RB doivent être réalisées :

⁸⁴ e.g. : Aucun arc foncé, un ou plusieurs nœuds complètement isolés.

⁸⁵ e.g. : Les liens entre les déplacements latéraux du ballon et ses déplacements en profondeur, apparus lors de l'étude des relations entre les déplacements des équipes entre elles et avec ceux du ballon. En effet, ces liens, bien qu'intéressants, sont hors sujet.

- pour répondre à la première question, la lecture d'une paire de RB (i.e. : l'un représentant l'influence entre variables et l'autre la force des corrélations) doit être réalisée de haut en bas, c'est-à-dire d'une variable indépendante vers les variables dépendantes, auxquelles elle est reliée par un arc,
- pour répondre à la seconde question, la lecture des paires de RB doit être réalisée de bas en haut, c'est-à-dire, d'une variable dépendante vers les variables indépendantes, auxquelles elle est reliée par un arc.

5.2 Etude des configurations

5.2.1. Etude des corrélations entre les mouvements des barycentres des équipes

Réseau bayésien 1 : Corrélations entre les mouvements des équipes entre elles et avec ceux du ballon

Représentation des corrélations (forme des arcs)



Légende :

Trait discontinu sans flèche = covariation

Trait discontinu avec flèche = influence d'une des deux variables sur l'autre

Trait continu avec flèche = influence de la variable en amont sur la variable en aval

Représentation de la force des corrélations (couleurs des arcs)



Légende :

Flèche noire = corrélation très forte

Interprétation :*Observations globales :*

- Il y a sept arcs. Tous représentent des corrélations très fortes (arcs noirs).
Etudier cette action de jeu du point de vue des corrélations entre les mouvements des barycentres des équipes est donc très pertinent.

Quelles sont les variables en amont qui évoluent avec ou qui ont une influence forte ou très forte sur une variable en aval ?

- Les mouvements en profondeur de l'attaque (ord Baryc Attaque) influencent très fortement ses mouvements latéraux (abs Baryc Attaque).
- Les mouvements latéraux du ballon (abs Ballon) évoluent avec ou influencent très fortement ceux en profondeur de la défense (ord Baryc Defense).
- Les mouvements latéraux de la défense (abs Baryc Defense) évoluent avec ou influencent très fortement ceux de l'attaque (abs Baryc Attaque).
- Les mouvements latéraux de l'attaque (abs Baryc Attaque) influencent très fortement les mouvements en profondeur de la défense (ord Baryc Defense).

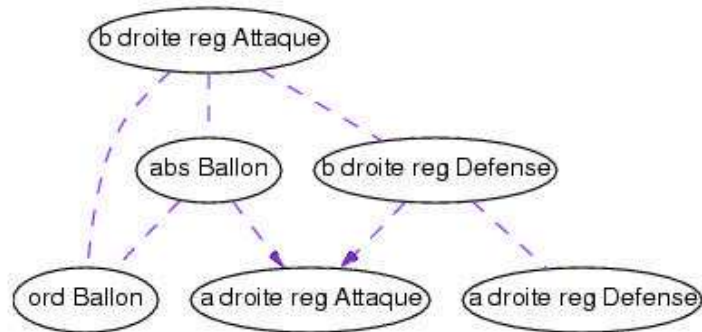
Quelles sont les variables en aval qui évoluent avec ou qui sont influencées fortement ou très fortement par une variable en amont ?

- Les mouvements en profondeur de la défense (ord Baryc Defense) :
 - sont très fortement influencés par les mouvements en latéraux de l'attaque (abs Baryc Attaque).
 - évoluent avec ou sont très fortement influencés par les mouvements latéraux du ballon (abs Ballon).
- Les mouvements en latéraux de l'attaque (abs Baryc Attaque) :
 - évoluent avec ou sont très fortement influencés par ses mouvements en profondeur (ord Baryc Attaque).
 - évoluent avec ou sont très fortement influencés par les mouvements latéraux de la défense (abs Baryc Defense).

5.2.2. Etude des corrélations entre les variations de pente et de hauteur des droites de régressions représentant les équipes

Réseau bayésien 2 : Corrélations entre les variations de pente et de hauteur des droites de régression représentant les équipes

Représentation des corrélations (forme des arcs)

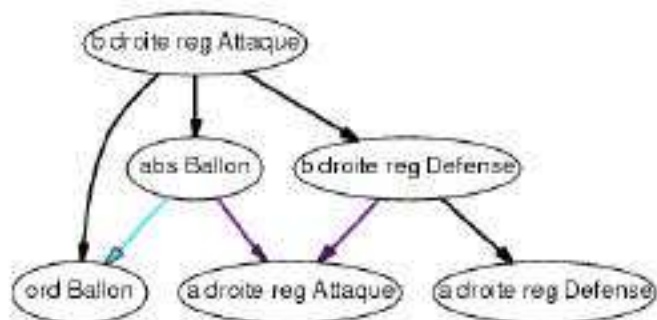


Légende :

Trait discontinu sans flèche = covariation

Trait discontinu avec flèche = influence d'une des deux variables sur l'autre

Représentation de la force des corrélations (couleurs des arcs)



Légende :

Flèche noire = corrélation très forte

Flèche violette = corrélation forte

Flèche bleu clair = corrélation très faible

Interprétation :*Observations globales :*

- Il y a sept arcs dont quatre représentent des corrélations très fortes (arcs noirs).
Etudier cette action de jeu du point de vue des corrélations entre les variations de pente et de hauteur des droites de régression représentant les équipes est donc très pertinent.

Quelles sont les variables en amont qui évoluent avec ou qui ont une influence forte ou très forte sur une variable en aval ?

- Les mouvements latéraux du ballon (abs Ballon) influencent ou évoluent fortement avec, la pente de la droite de régression représentant l'équipe en attaque (a droite reg Attaque).
- La hauteur de la droite de régression représentant l'équipe en défense (b droite reg Defense) influence ou évolue fortement avec, la pente de la droite de régression représentant l'équipe en attaque (a droite reg Attaque).

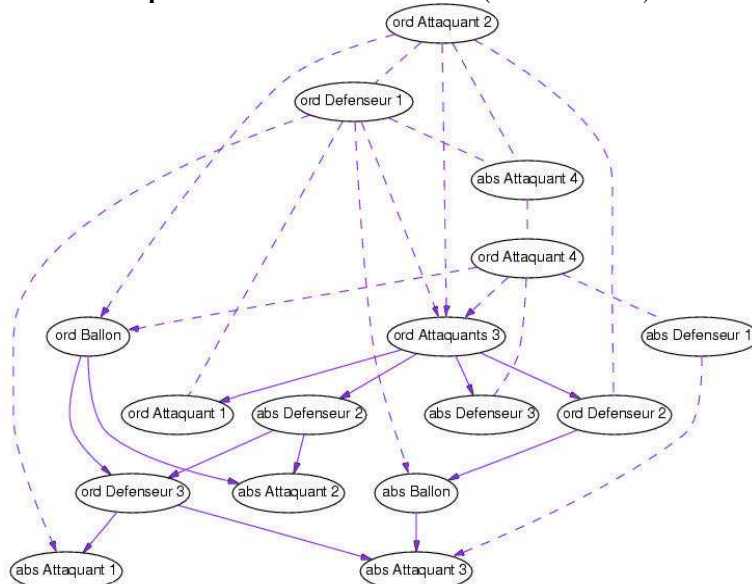
Quelles sont les variables en aval qui évoluent avec ou qui sont influencées fortement ou très fortement par une variable en amont ?

- La pente de la droite de régression représentant l'équipe en attaque (a droite reg Attaque) :
 - évolue avec ou est influencée fortement par les mouvements latéraux du ballon (abs Ballon).
 - évolue avec ou est influencée fortement par la hauteur de la droite de régression représentant l'équipe en défense (b droite reg Defense).

5.2.3. Etude des corrélations entre les mouvements des joueurs et du ballon

Réseau bayésien 3 : Corrélations entre les mouvements des joueurs entre eux et avec ceux du ballon

Représentation des corrélations (forme des arcs)



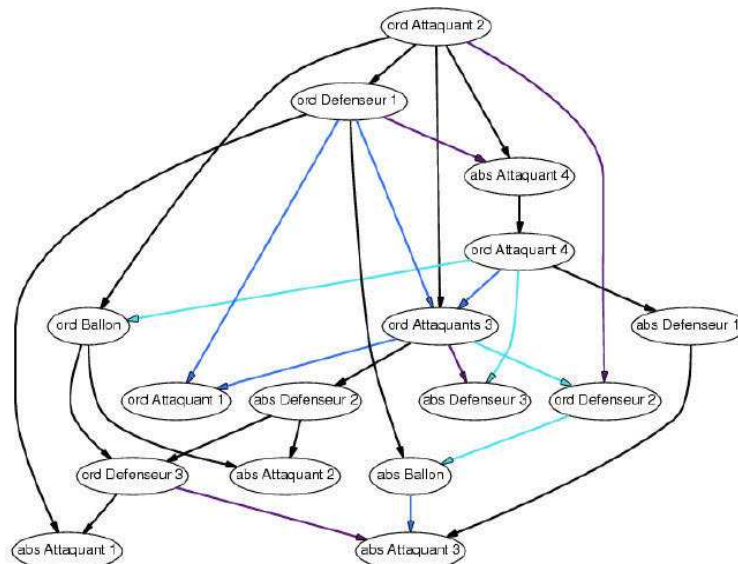
Légende :

Trait discontinu sans flèche = covariation

Trait discontinu avec flèche = influence d'une des deux variables sur l'autre

Trait continu avec flèche = influence de la variable en amont sur la variable en aval

Représentation de la force des corrélations (couleurs des arcs)



Légende :

Flèche noire = corrélation très forte

Flèche violette = corrélation forte

Flèche bleu foncé = corrélation faible

Flèche bleu clair = corrélation très faible

Interprétation :*Observations globales :*

- Il y a vingt-six arcs, dont plus de la moitié représentent des corrélations très fortes (arcs noirs). Etudier cette action de jeu du point de vue des corrélations entre les mouvements des joueurs entre eux et avec ceux du ballon est donc pertinent.

Quelles sont les variables en amont qui évoluent avec ou qui ont une influence forte ou très forte sur une variable en aval ?

- Les mouvements en profondeur de l'attaquant 2 (ord Attaquant 2) :
 - influencent ou évoluent très fortement avec les mouvements en profondeur du ballon (ord Ballon).
 - influencent ou évoluent très fortement avec les mouvements en profondeur de l'attaquant 3 (ord Attaquant 3).
 - influencent ou évoluent fortement avec les mouvements en profondeur du défenseur 2 (ord Defenseur 2).
- Les mouvements en profondeur du défenseur 1 (ord Defenseur 1) :
 - influencent ou évoluent très fortement avec les mouvements latéraux de l'attaquant 1 (abs Attaquant 1).
 - influencent ou évoluent très fortement avec les mouvements latéraux du ballon (abs Ballon).
- Les mouvements en profondeur de l'attaquant 4 (ord Attaquant 4) :
 - influencent ou évoluent très fortement avec les mouvements latéraux du défenseur 1 (abs Defenseur 1).
- Les mouvements en profondeur du ballon (ord Ballon) :
 - influencent très fortement les mouvements en profondeur du défenseur 2 (ord Defenseur 2).
 - influencent très fortement les mouvements latéraux de l'attaquant 3 (abs Attaquant 3).
- Les mouvements en profondeur de l'attaquant 3 (ord Attaquant 3) :

- influencent très fortement les mouvements latéraux du défenseur 2 (abs Défenseur 2).
- influencent fortement les mouvements latéraux du défenseur 3 (abs Défenseur 3).
- Les mouvements latéraux du défenseur 1 (abs Défenseur 1) évoluent avec ou influencent très fortement les mouvements latéraux de l'attaquant 2 (abs Attaquant 2).
- Les mouvements latéraux du défenseur 2 (abs Défenseur 2) :
 - influencent très fortement les mouvements en profondeur du défenseur 3 (ord Défenseur 3).
 - influencent très fortement les mouvements latéraux de l'attaquant 2 (abs Attaquant 2).
- Les mouvements en profondeur du défenseur 3 (ord Défenseur 3) influencent très fortement les mouvements latéraux de l'attaquant 1 (abs Attaquant 1).

Quelles sont les variables en aval qui évoluent avec ou qui sont influencées fortement ou très fortement par une variable en amont ?

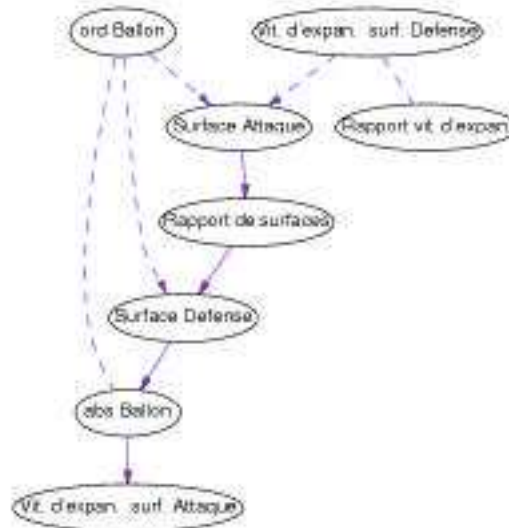
- Les mouvements latéraux de l'attaquant 1 (abs Attaquant 1) :
 - sont très fortement influencés par les mouvements en profondeur du défenseur 3 (ord Défenseur 3).
 - évoluent avec ou sont très fortement influencés par les mouvements en profondeur du défenseur 1 (ord Défenseur 1).
- Les mouvements latéraux de l'attaquant 3 (abs Attaquant 3) :
 - sont fortement influencés par les mouvements en profondeur du défenseur 3 (ord Défenseur 3).
 - évoluent avec ou sont très fortement influencés par les mouvements latéraux du défenseur 1 (abs Défenseur 1).
- Les mouvements en profondeur du défenseur 3 (ord Défenseur 3) :
 - sont très fortement influencés par les mouvements en profondeur du ballon (ord Ballon).

- sont très fortement influencés par les mouvements latéraux du défenseur 2 (abs Defenseur 2).
- Les mouvements latéraux de l'attaquant 2 (abs Attaquant 2) :
 - sont très fortement influencés par les mouvements en profondeur du ballon (ord Ballon).
 - sont très fortement influencés par les mouvements latéraux du défenseur 2 (abs Defenseur 2).
- Les mouvements latéraux du ballon (abs Ballon) évoluent avec ou sont très fortement influencés par les mouvements en profondeur du défenseur 1 (ord Defenseur 1).
- Les mouvements latéraux du défenseur 2 (abs Defenseur 2) sont très fortement influencés par les mouvements en profondeur de l'attaquant 3 (ord Attaquant 3).
- Les mouvements latéraux du défenseur 3 (abs Defenseur 3) sont fortement influencés par les mouvements en profondeur de l'attaquant 3 (ord Attaquant 3).
- Les mouvements en profondeur du ballon (ord Ballon) évoluent avec ou sont très fortement influencés par les mouvements en profondeur de l'attaquant 2 (ord Attaquant 2).
- Les mouvements en profondeur de l'attaquant 3 (ord Attaquant 3) évoluent avec ou sont très fortement influencés par les mouvements en profondeur de l'attaquant 2 (ord Attaquant 2).

5.3. Etude des surfaces occupées par les équipes

Réseau bayésien 4 : Corrélations entre les variations de surface occupée par les équipes

Représentation des corrélations (forme des arcs)



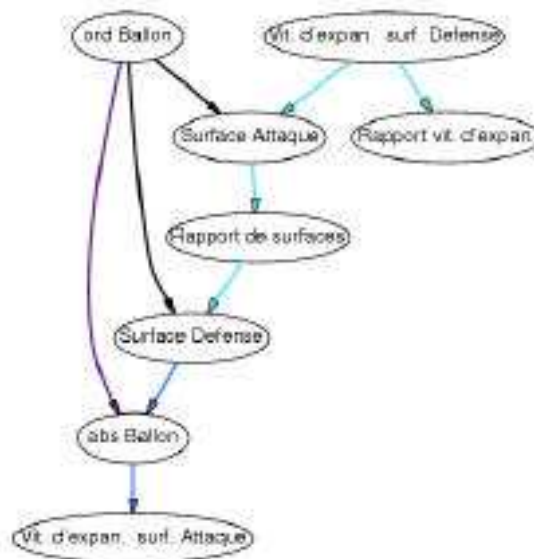
Légende :

Trait discontinu sans flèche = covariation

Trait discontinu avec flèche = influence d'une des deux variables sur l'autre

Trait continu avec flèche = influence de la variable en amont sur la variable en aval

Représentation de la force des corrélations (couleurs des arcs)



Légende :

Flèche noire = corrélation très forte

Flèche violette = corrélation forte

Flèche bleu foncé = corrélation faible

Flèche bleu clair = corrélation très faible

Interprétation :*Observations globales :*

- Il y a neuf arcs dont trois représentent des corrélations fortes ou très fortes (arcs violets et arcs noirs). Etudier cette action de jeu du point de vue des corrélations entre les variations de surface occupées par les équipes est donc pertinent.

Quelles sont les variables en amont qui évoluent avec ou qui ont une influence forte ou très forte sur une variable en aval ?

- Les mouvements en profondeur du ballon (ord Ballon) :
 - influencent ou évoluent très fortement avec la surface occupée par l'équipe en attaque (Surface Attaque).
 - influencent ou évoluent très fortement avec la surface occupée par l'équipe en défense (Surface Defense).

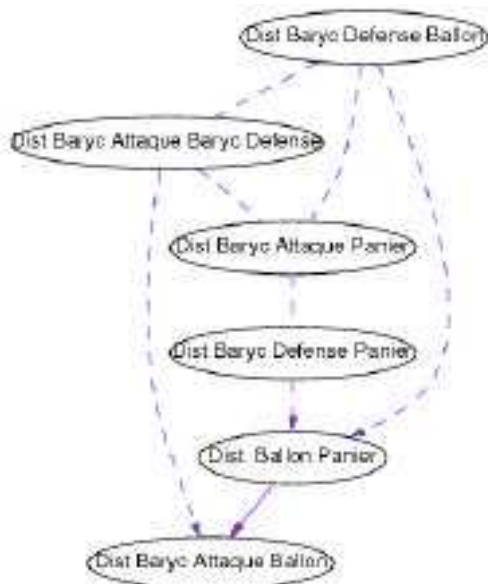
Quelles sont les variables en aval qui évoluent avec ou qui sont influencées fortement ou très fortement par une variable en amont ?

- La surface occupée par l'équipe en défense (Surface Defense) est influencée par ou évolue très fortement avec les mouvements en profondeur du ballon (ord Ballon).
- La surface occupée par l'équipe en attaque (Surface Attaque) est influencée par ou évolue très fortement avec les mouvements en profondeur du ballon (ord Ballon).

5.4. Etude des corrélations entre les distances séparant les équipes, le ballon et le panier

Réseau bayésien 5 : Corrélations entre distances séparant équipes, ballon et panier

Représentation des corrélations (forme des arcs)



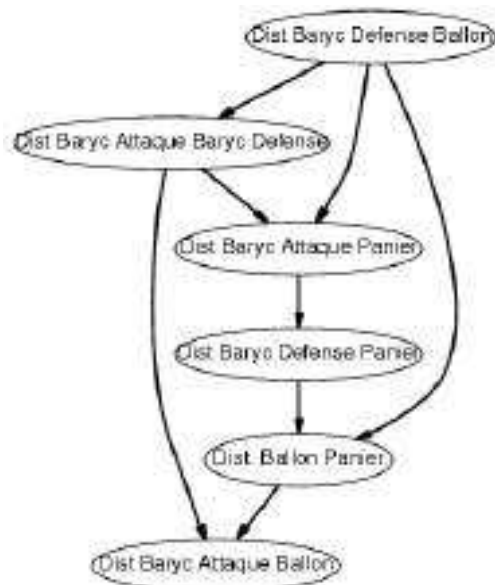
Légende :

Trait discontinu sans flèche = covariation

Trait discontinu avec flèche = influence d'une des deux variables sur l'autre

Trait continu avec flèche = influence de la variable en amont sur la variable en aval

Représentation de la force des corrélations (couleurs des arcs)



Légende :

Flèche noire = corrélation très forte

Interprétation :*Observations globales :*

- Il y a huit arcs. Tous représentent des corrélations très fortes (arcs noirs). Etudier cette action de jeu du point de vue des corrélations entre les distances séparant les équipes, le ballon et le panier est donc très pertinent.

Quelles sont les variables en amont qui évoluent avec ou qui ont une influence forte ou très forte sur une variable en aval ?

- La distance entre le barycentre du nuage de points représentant l'équipe en défense et le ballon (Dist Baryc Defense Ballon) évolue avec ou influence très fortement la distance entre le ballon et le panier (Dist Ballon Panier).
- La distance entre le barycentre du nuage de points représentant l'équipe en attaque et le barycentre du nuage de points représentant l'équipe en défense (Dist Baryc Attaque Baryc Defense) évolue avec ou influence très fortement la distance entre le barycentre du nuage de points représentant l'attaque et le ballon (Dist Baryc Attaque Ballon).
- La distance entre le barycentre du nuage de points représentant la défense et le panier (Dist Baryc Defense Panier) évolue avec ou influence très fortement avec la distance entre le ballon et le panier (Dist Ballon Panier).
- La distance entre le ballon et le panier (Dist Ballon Panier) influence très fortement la distance entre le barycentre du nuage de points représentant l'attaque et le ballon (Dist Baryc Attaque Ballon).

Quelles sont les variables en aval qui évoluent avec ou qui sont influencées fortement ou très fortement par une variable en amont ?

- La distance entre le barycentre du nuage de points représentant l'attaque et le ballon (Dist Baryc Attaque Ballon) :
 - est très fortement influencée par la distance entre le ballon et le panier (Dist Ballon Panier).
 - évolue avec ou est très fortement influencée par la distance entre le barycentre du nuage de points représentant l'attaque et le barycentre du

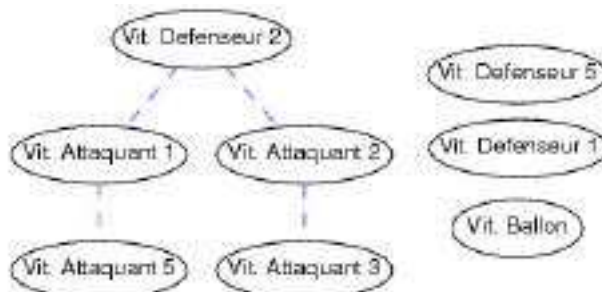
nuage de points représentant la défense (Dist Baryc Attaque Baryc Defense).

- La distance entre le ballon et le panier (Dist Ballon Panier) :
 - évolue avec ou est très fortement influencée par la distance entre le barycentre du nuage de points représentant la défense et le ballon (Dist Baryc Defense Ballon).
 - évolue avec ou est très fortement influencée par la distance entre le barycentre du nuage de points représentant la défense et le panier (Dist Baryc Defense Panier).

5.5. Etude des corrélations entre les variations de vitesse des joueurs et du ballon

Réseau bayésien 6: Corrélations entre les variations de vitesse des joueurs et du ballon

Représentation des corrélations (forme des arcs)



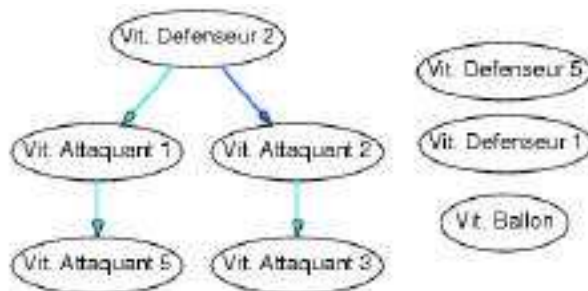
Légende :

Trait discontinu sans flèche = covariation

Trait discontinu avec flèche = influence d'une des deux variables sur l'autre

Trait continu avec flèche = influence de la variable en amont sur la variable en aval

Représentation de la force des corrélations (couleurs des arcs)



Légende :

Flèche noire = corrélation très forte

Flèche violette = corrélation forte

Flèche bleu foncé = corrélation faible

Flèche bleu clair = corrélation très faible

Interprétation :

Observations globales :

- Il y a quatre arcs et tous sont soit bleu foncé soit bleu clair. Aucun arc ne montre de corrélation forte entre les variables. Pour cette action de jeu, le point de vue des variations de vitesse des joueurs et du ballon n'est pas pertinent pour décrire les interactions entre les équipes.

Conclusion

L'élaboration d'un nouvel outil d'analyse d'actions de jeu, combinant une caractérisation cinématique et le recours aux réseaux bayésiens, permet de définir le point de vue le plus pertinent pour étudier les corrélations entre les mouvements des équipes. Cependant, il n'est pas facile d'interpréter les RB produits dans le cadre de cette recherche. En effet, après le visionnage de séquences d'actions de jeu, quelques RB ont été montrés à des entraîneurs experts et à des chercheurs⁸⁶ en STAPS. Si l'outil d'interprétation des RB, présenté au paragraphe 6.1. (*Conception d'un outil d'interprétation des RB*), permet de ne pas se tromper sur l'interprétation de ces représentations graphiques, leur forme reste très éloignée de la séquence vidéo. Les entraîneurs et les chercheurs en STAPS ne sont pas habitués à utiliser cette forme de présentations de corrélations entre des variables cinématiques. L'une des conséquences est la difficulté de retrouver les corrélations, mises en évidence par les RB, lors du re-visionnage de la séquence vidéo.

⁸⁶ Ce travail a été présenté lors des journées de l'INRP/GEDIAPS et a fait l'objet d'une publication dans une revue scientifique à comité de lecture.(ZIANE, 2004).

CHAPITRE 5 : Nouvelles représentations graphiques d'actions de jeu

Introduction

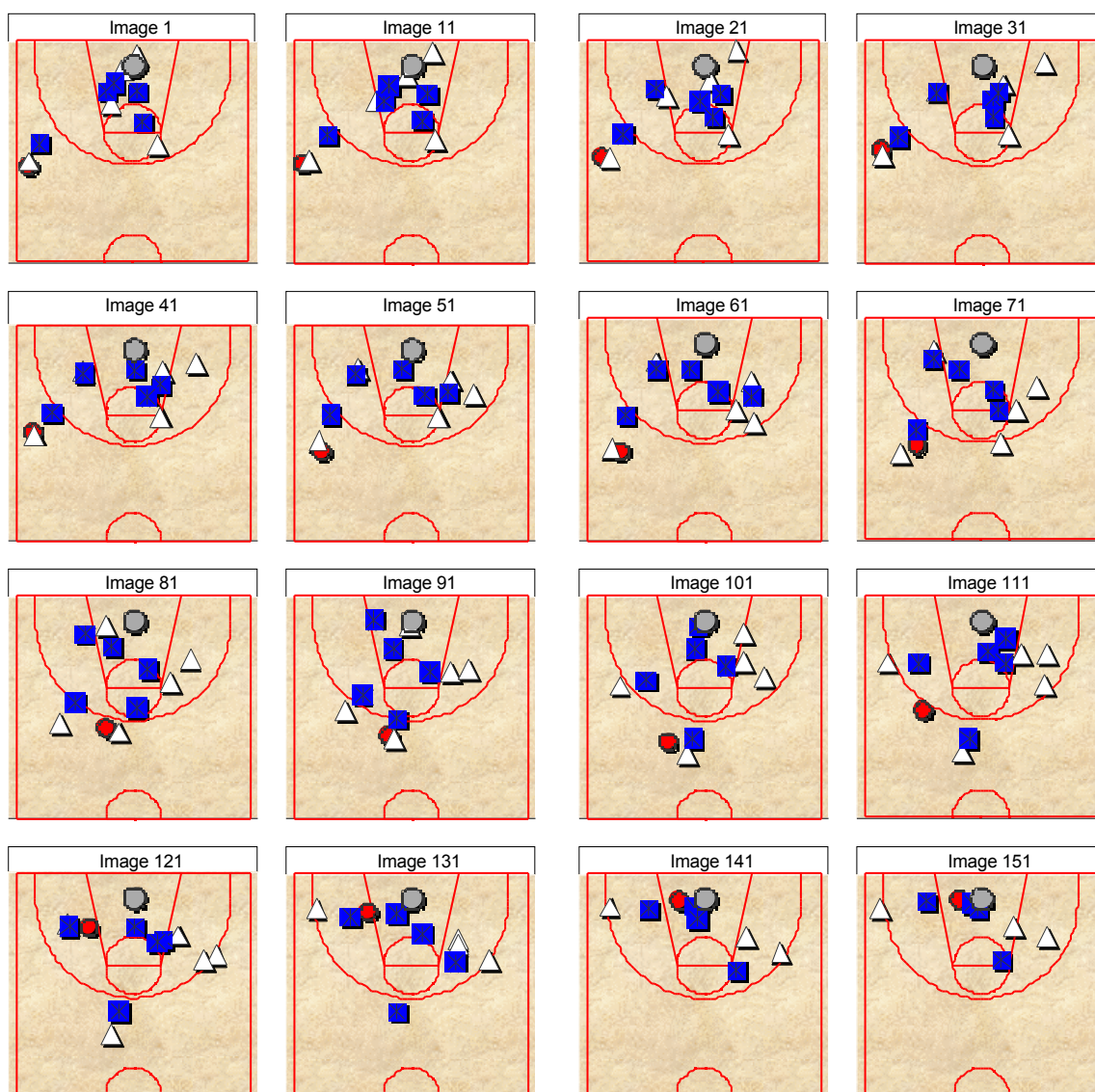
Le problème, de la familiarisation avec les RB mis au point, constitue un obstacle à l'apprentissage de la lecture d'actions de jeu par le recours à ce type de représentations graphiques. Pour dépasser cet obstacle, il a fallu concevoir de nouvelles formes de représentations graphiques inspirées des graphismes schématiques d'entraîneurs experts. Les caractéristiques, de ces graphismes schématiques, reprises sont présentées au *Chapitre 2* du présent mémoire (e.g. : point de vue surplombant, codage graphique). D'autres caractéristiques ont été améliorées (e.g. : grain temporel, précision spatiale) ou même abandonnées.

1. Représentation graphique des mouvements des joueurs et du ballon

Les mouvements des joueurs et du ballon ont été représentés de deux façons :

1. Des animations vidéo, comprenant 25 images par seconde, permettent de visionner l'intégralité de l'action de jeu en vues surplombantes. Ces vues surplombantes ont été reconstruites mathématiquement à partir du module de redressement d'images. Les mouvements des joueurs et du ballon sont représentés par leurs positions successives d'une image à la suivante, sur des gabarits représentant des demi-terrains.
2. Des tracés de trajectoires des joueurs et du ballon sur un gabarit représentant un demi-terrain en vues surplombantes.

Figure 23 : Vues surplombantes représentant les mouvements des joueurs et du ballon

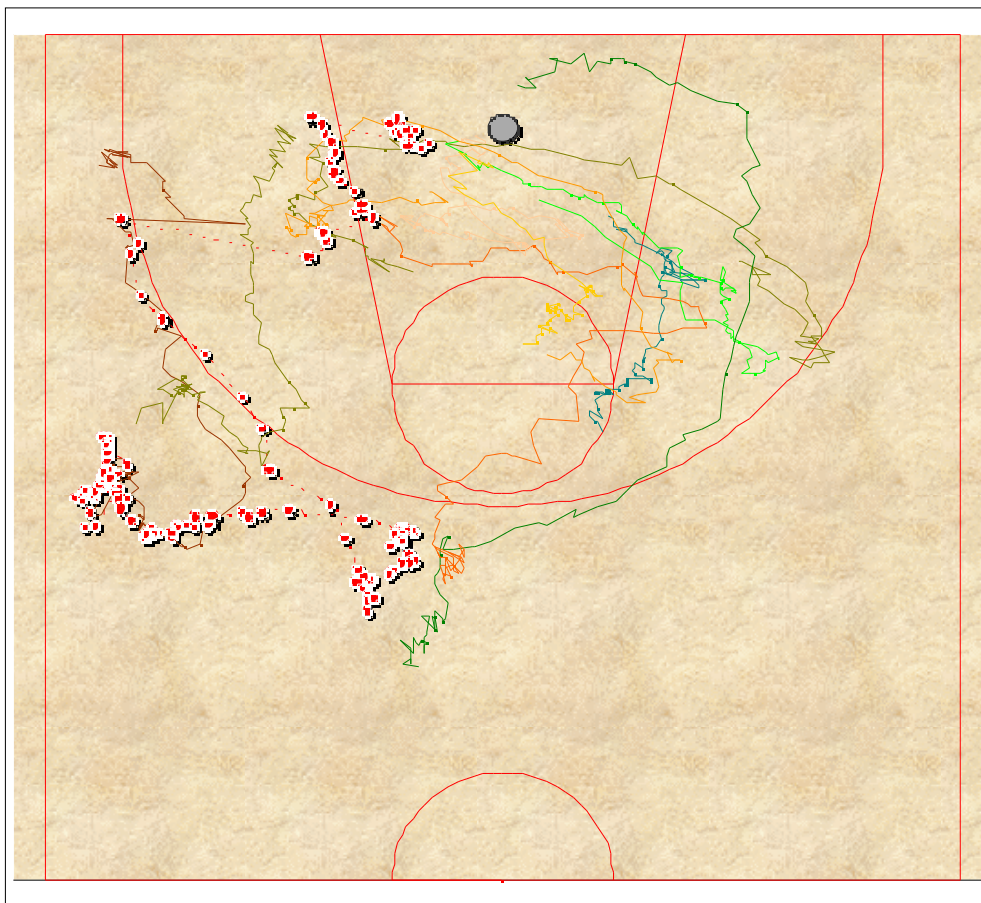


Ces images sont présentées à titre d'illustration. Une image sur dix est présentée ici. Les images intermédiaires ont été réalisées mais ne sont pas montrées.

Contrairement aux graphismes d'experts, les vues surplombantes réalisées ne figurent pas d'« états successifs » à des moments particuliers (dribble, passe, tir), mais toutes les 40ms.

Lors de leur visionnage, il est possible d'interrompre puis de reprendre le défilement des animations vidéo à n'importe quel moment. L'utilisation de l'animation vidéo va consister à rechercher les corrélations entre des trajectoires de joueurs, mises en évidence par les RB.

Figure 24 : Tracés représentant les mouvements des joueurs et du ballon



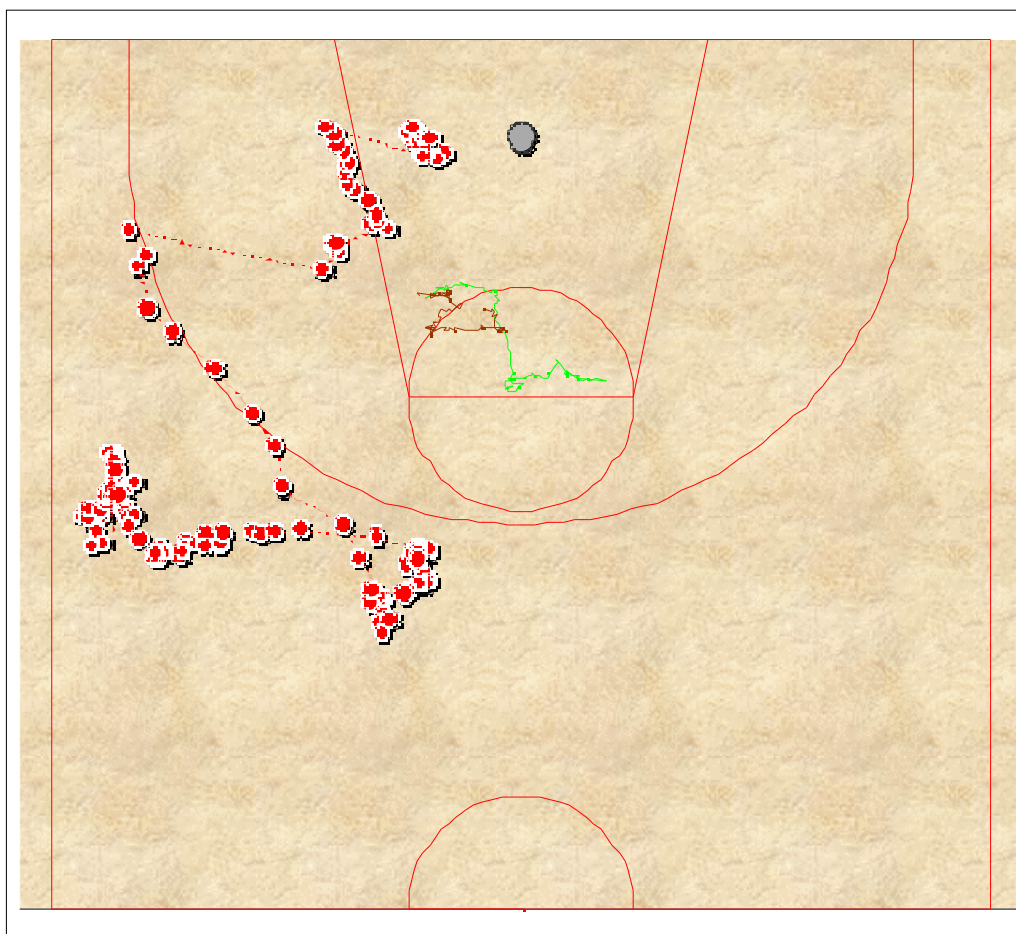
Les mouvements des joueurs défenseurs sont représentés avec des tracés de différents verts. Les mouvements des joueurs attaquants sont représentés en marron, orange et jaune. Les mouvements du ballon sont représentés en traits discontinus blanc et rouges

Ces tracés permettent de bien voir les trajectoires empruntées et leurs corrélations ; par exemple, tel défenseur qui suit tel attaquant ou au contraire, tel attaquant qui essaie de distancer un défenseur particulier.

2. Représentation graphique des mouvements des barycentres des équipes et du ballon

Les mouvements des barycentres des équipes et du ballon ont été représentés par des tracés sur un gabarit de demi-terrain en vue surplombante.

Figure 25 : Tracés représentant les mouvements des barycentres des équipes et du ballon



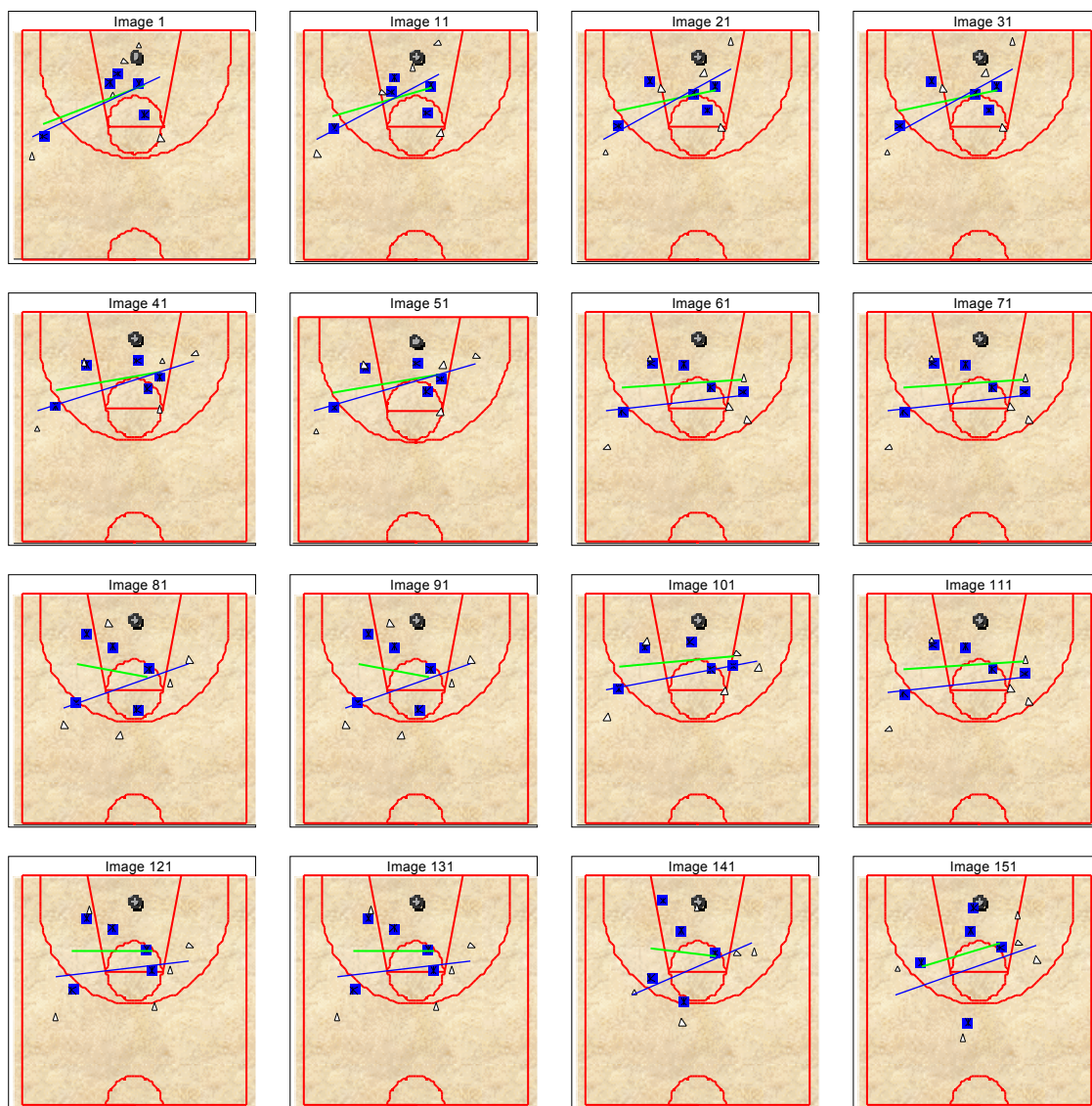
Les mouvements du barycentre de l'équipe attaquante sont représentés par le tracé marron. Ceux de l'équipe en défense sont représentés en vert.

Ces tracés montrent que l'équipe attaquante s'est organisée pour être en avant de la ligne des lancer-francs près du bord gauche. Il s'agit là d'une position très favorable pour le tir surtout pour des joueurs droitiers. L'utilisation du ballon a permis à cette équipe de contraindre l'équipe en défense à s'éloigner de cette zone et même à ne plus se trouver entre l'équipe attaquante et la cible.

3. Représentation graphique des variations de pente et de hauteur des droites de régression représentant les équipes

Les images, présentées ci-dessous, sont issues d'une animation vidéo. Bien que toutes les images aient été produites, seule une image sur dix est présente sur cette page.

Figure 26 : Variations de pente et de hauteur des droites de régressions représentant les équipes



Ces images montrent le déroulement de l'action de jeu en vue surplombantes.

Le segment de droite vert représente la configuration de l'équipe en défense ; le segment de droite bleu représente la configuration de l'équipe attaquante.

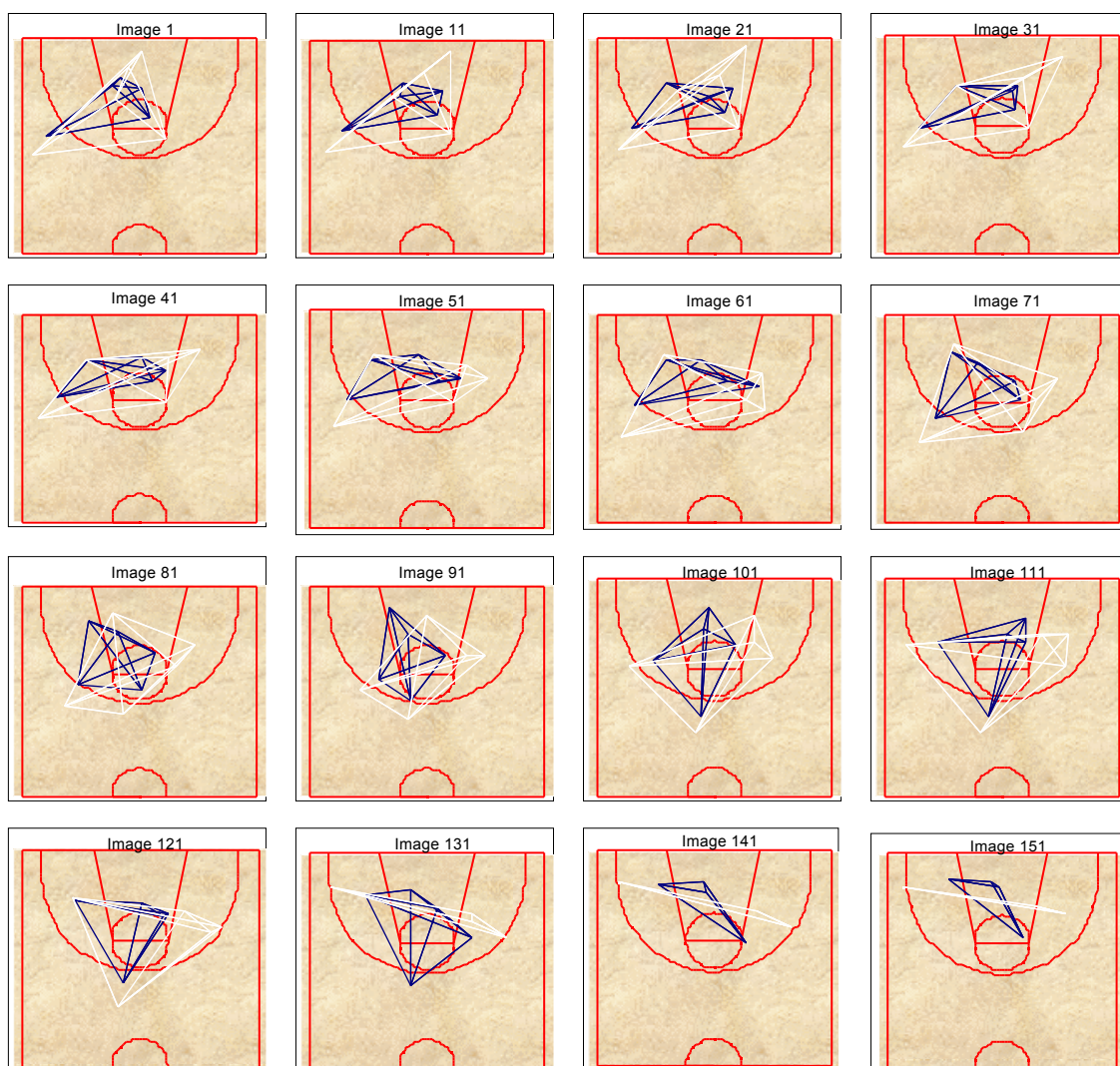
Ces représentations graphiques montrent que l'équipe en défense :

- a fait barrage à l'avancée de l'équipe attaquante,
- a contenu presque la totalité de l'équipe attaquante d'un côté du terrain,
- a réagi au changement de disposition des attaquants.

4. Représentation graphique des surfaces occupées par les équipes

Les images, présentées ci-dessous, sont issues d'une animation vidéo. Bien que toutes les images aient été produites, seule une image sur dix est présente sur cette page.

Figure 27 : Variations des surfaces occupées par les équipes

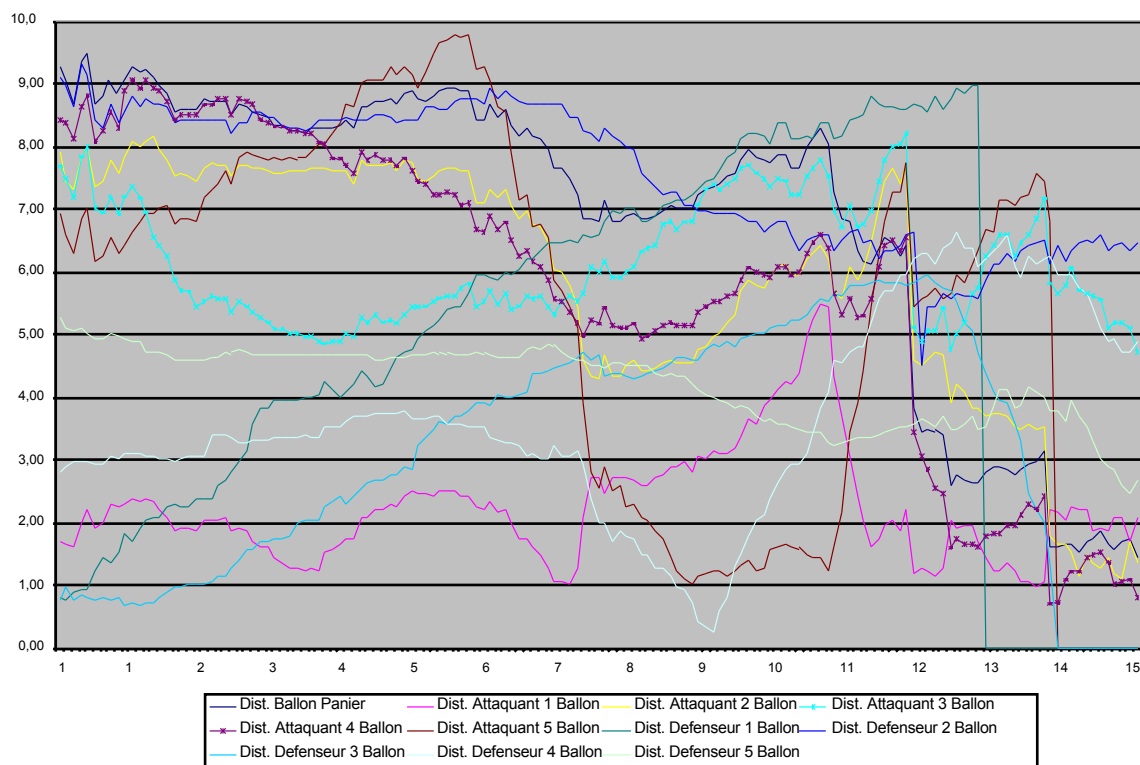


Ces images montrent le déroulement de l'action de jeu en vue surplombante.

Le polygone convexe blanc représente la surface occupée par l'équipe attaquante et le polygone convexe bleu, l'équipe en défense.

5. Représentation graphique des distances entre les équipes, le ballon et le panier

Figure 28 : Variations des surfaces occupées par les équipes



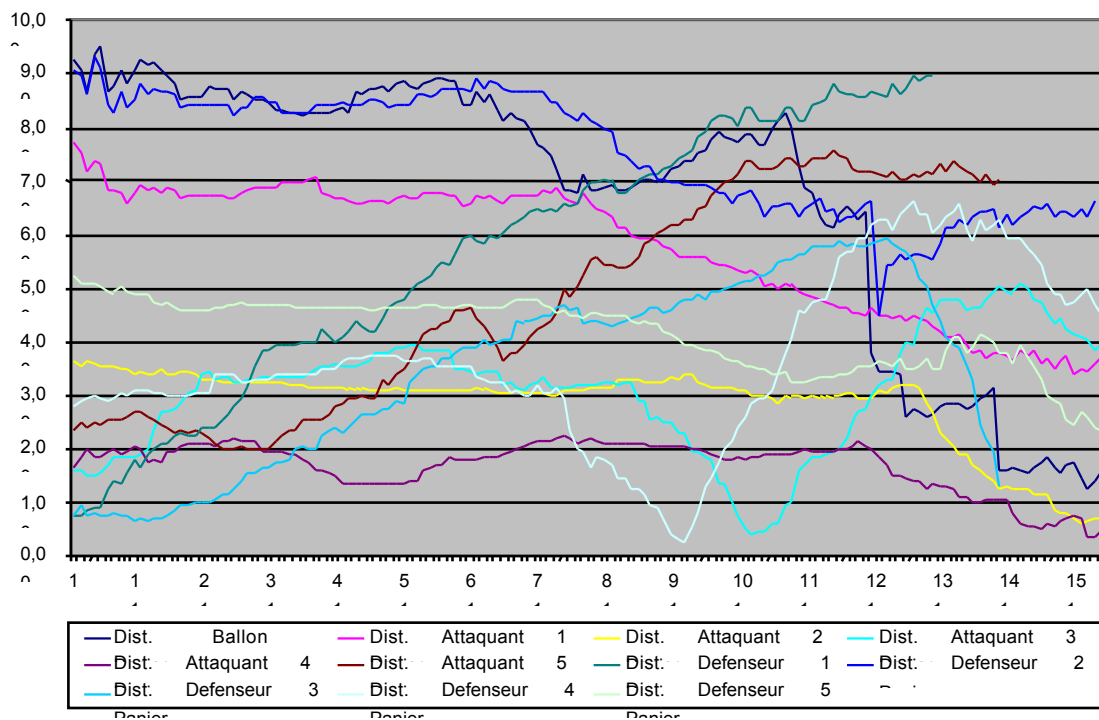
L'axe des abscisses représente le temps. L'unité utilisée est le nombre d'images qui composent la séquence vidéo (151)⁸⁷.

L'axe des ordonnées représente les distances en mètres.

⁸⁷ La séquence vidéo comprenait 25 images par seconde, la séquence a duré 6,04 secondes.

Le graphique ci-dessous montre les variations, au cours de l'action de jeu, des distances entre les joueurs et le ballon, ainsi qu'entre le ballon et le panier.

Figure 29 : Variations des distances entre chaque joueur, le ballon et le panier

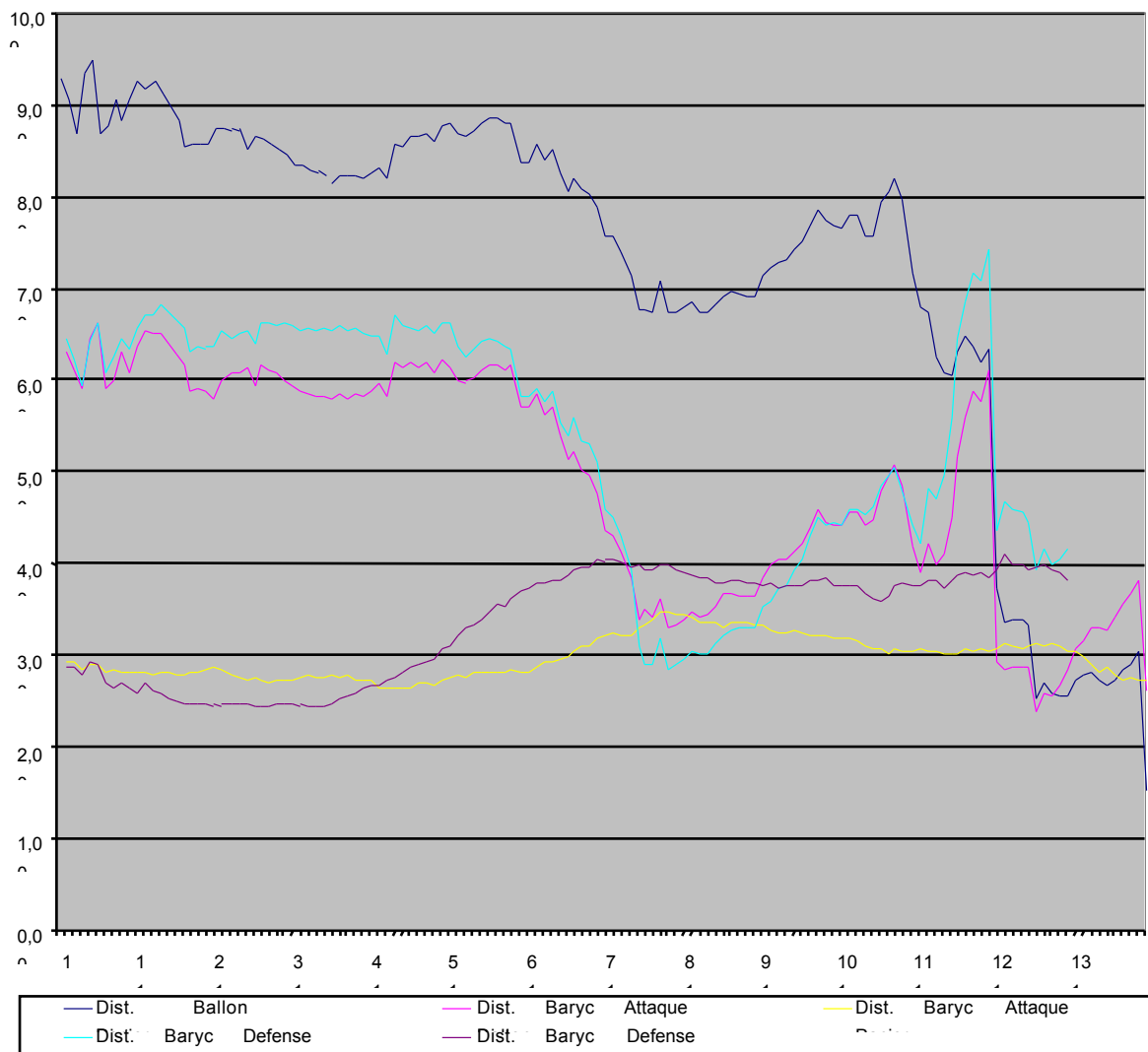


L'axe des abscisses représente le temps. L'unité utilisée est le nombre d'images qui composent la séquence vidéo.

L'axe des ordonnées représente les distances en mètres.

Le graphique ci-dessous montre les variations, au cours de l'action de jeu, des distances entre les barycentres des équipes, le ballon et le panier.

Figure 30 : Variations des distances entre les barycentres des équipes, du ballon et du panier



L'axe des abscisses représente le temps. L'unité utilisée est le nombre d'images qui composent la séquence vidéo.

L'axe des ordonnées représente les distances en mètres.

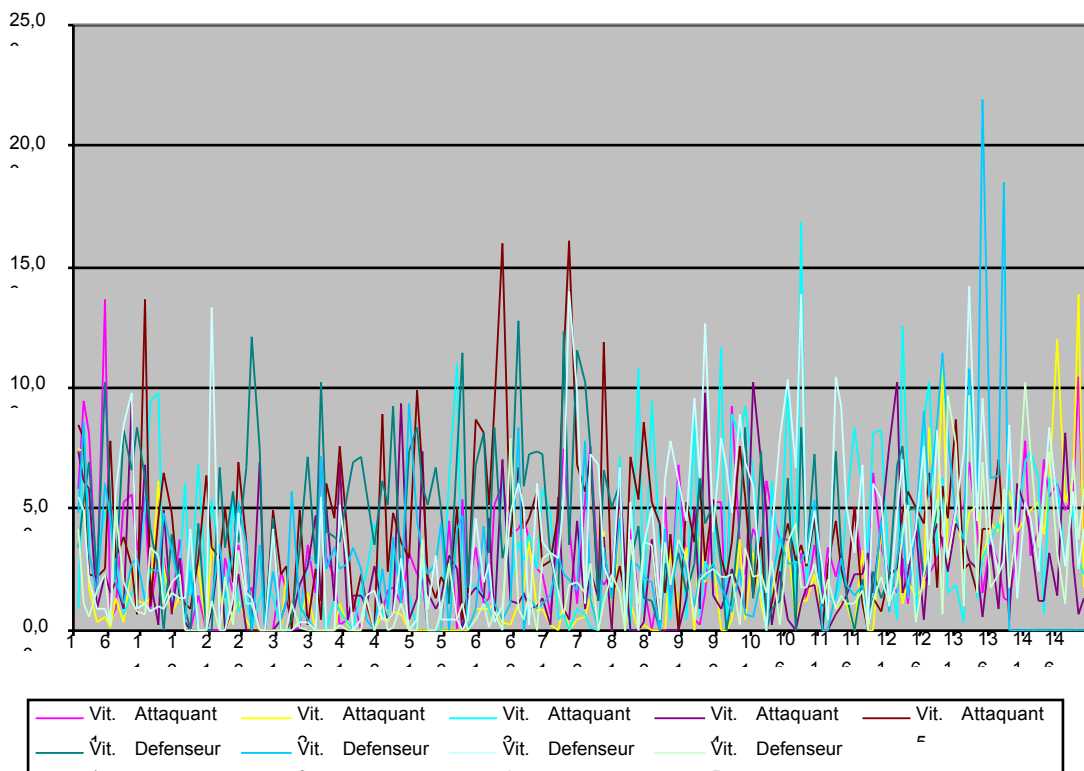
Ce graphique montre les variations, au cours de l'action de jeu, des distances entre les barycentres des équipes, le ballon et le panier.

On voit que la distance entre le barycentre de l'équipe en défense et le panier évolue avec la distance entre le barycentre de l'équipe en attaque et le panier et que l'attaque a réussi à déborder la défense.

On voit également que la distance entre le barycentre de l'équipe en défense et le ballon évolue avec la distance entre le barycentre de l'équipe en attaque et le ballon. Jusqu'à l'image 111, ces deux distances évoluent comme la distance entre le ballon et le panier.

6. Représentation graphique des variations de vitesses des joueurs

Figure 31 : Variations de vitesse de chaque joueur



L'axe des abscisses représente le temps. L'unité utilisée est le nombre d'images qui composent la séquence vidéo.

L'axe des ordonnées représente les vitesses en mètres par seconde.

Ce graphique montre les variations de vitesse des joueurs au cours de l'action de jeu.

Ce point de vue n'est pas pertinent pour décrire cette action de jeu.

Conclusion

Les différents modèles cinématiques mis au point permettent de représenter graphiquement ce qui n'était pas visible auparavant. Les réseaux bayésiens produits permettent de discriminer le point de vue le plus pertinent pour étudier chaque action de jeu. Les nouvelles représentations graphiques réalisées permettent de représenter les corrélations entre des variables, mises en évidence par les RB. Elles permettent également de retrouver plus facilement ces corrélations lors du re-visionnage des séquences vidéo d'actions de jeu.

Les concepts, les modèles et les différentes représentations graphiques mis au point dans le cadre de cette recherche doivent à présent permettre aux formateurs de décrire objectivement des actions de jeu typiques. Pour cela, ces aides didactiques doivent être réunies et articulées dans un outil de description.

CONCLUSION GENERALE

1. Contributions

La principale contribution de cette recherche est de proposer un outil d'étude cinématique d'actions de jeu, fondé sur de nouveaux concepts et modèles. Par les représentations graphiques qu'il permet de réaliser, cet outil offre aux formateurs et aux entraîneurs la possibilité de mettre en évidence et d'étudier quantitativement les relations qu'entretiennent les équipes du point de vue de leurs mouvements.

Les modèles de joueur et du ballon, considérés comme des points qui se déplacent dans le plan, permettent :

- leur localisation à l'écran (i.e. : constituer des fichiers de coordonnées),
- la mise au point de *modèles d'équipe* (e.g. : nuage de points, polygone convexe),
- la mise au point de *concepts pour décrire* les corrélations entre les mouvements des équipes (e.g. : concept de rapport de surfaces occupées par les équipes).

Le module de redressement d'images, conçu et mis au point, permet :

- de retrouver, par le calcul et avec précision, les positions successives sur le terrain des joueurs, du ballon et des équipes, à partir de leurs positions à l'écran,
- de représenter leurs mouvements par une série de vues surplombantes échantillonnées avec précision dans le temps (i.e. : toutes les 40 ms),
- d'étudier les actions de jeu du point de vue cinématique.

Les modèles de mouvements des joueurs, des équipes et du ballon et les coordonnées des joueurs et du ballon sur le terrain permettent d'obtenir, par calcul, des données cinématiques précises sur :

- les variations de distances entre les joueurs, le ballon et panier,

les vitesses des joueurs et du ballon et leurs variations.

Les modèles de corrélations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon produits en ayant recours à la technique des RB, permettent de répondre avec précision aux questions suivantes :

- *Quelles sont les corrélations entre les mouvements des différents joueurs (et du ballon) ?*
- *Quelles sont les corrélations entre les vitesses des différents joueurs (et du ballon) ?*
- *Quelles sont les corrélations entre les distances qui séparent les joueurs, les équipes, le ballon et la cible ?*
- *Quelles sont les corrélations entre les changements de configurations des équipes ?*
- *Quelles sont les corrélations entre les variations des surfaces occupées par les équipes ?*

Ainsi, les concepts, modèles et représentations graphiques, mis au point dans le cadre de cette recherche, permettent de répondre à des questions précises sur les relations entre les mouvements d'équipes opposées. Ces aides didactiques permettent également de vérifier les descriptions d'experts au sujet de ces relations.

L'outil d'« étude cinématique » d'actions de jeu permet aussi de proposer une méthode de catégorisation. Cette méthode consiste à chercher, pour chaque action de jeu, le point de vue le plus pertinent pour rendre compte des interactions des équipes. C'est la recherche de corrélations fortes qui guide la catégorisation. Si un point de vue n'en montre pas c'est un autre point de vue qui est considéré comme pertinent pour catégoriser l'action de jeu.

Différentes catégorisations sont possibles en fonction du point de vue adopté pour analyser les actions de jeu :

- le point de vue des configurations des équipes,
- le point de vue des surfaces occupées par les équipes,
- le point de vue des distances entre équipes, ballon, panier,
- le point de vue des variations de vitesses des joueurs et du ballon.

Ainsi, selon le point de vue adopté pour l'étudier, une action de jeu peut être classée dans différentes catégories. Lorsque le point de vue le plus pertinent pour décrire une action de

jeu a été identifié, il faut rechercher plus en détail les variables influentes. Des sous-catégories apparaissent alors.

2. Extensions

La conception de l'outil de description cinématique d'actions de jeu est fondée sur la manière dont les concepts et modèles, mis au point dans le cadre de cette recherche, pourront être appropriés par les entraîneurs stagiaires. La réflexion, menée sur la conception de cet outil, a conduit à en privilégier la simplicité d'utilisation.

Des suggestions d'utilisation de cet outil sont illustrées par un exemple d'exercice conçu à partir de l'analyse d'une action de jeu.

2.1. Conception et réalisation de l'outil de description d'actions de jeu

Les concepts, les modèles et les représentations graphiques, mis au point dans le cadre de cette recherche, devront permettre aux entraîneurs stagiaires de se représenter mentalement les corrélations entre les mouvements d'équipes opposées au cours d'actions de jeu typiques. Pour cela, ils auront pour rôle de permettre aux formateurs de décrire les corrélations entre les mouvements des deux équipes.

C'est la forme d'un diaporama interactif qui a été retenue. En effet, cette forme de présentation est de plus en plus utilisée par les entraîneurs experts. Le diaporama réalisé permet de présenter pour chacune des soixante-cinq actions de jeu :

- la séquence vidéo de l'action de jeu filmée depuis les tribunes,
- une série de diagrammes commentés par un expert, décrivant le déroulement de l'action de jeu,
- une série de RB montrant les corrélations entre des variables cinématiques propres à cette action de jeu et permettant de discriminer les points de vue les plus pertinents pour étudier chaque action de jeu,
- d'autres représentations graphiques plus lisibles que les RB et plus faciles à interpréter.

Le diaporama a été réalisé en langage .html pour être utilisable comme un site internet. Pour cela, le logiciel FrontPage™ 2000 a été utilisé. Ce logiciel permet de générer des pages au

format .html comprenant des liens vers des séquences vidéo, des graphiques ou d'autres pages .html.

2.2. S'exercer à la lecture d'actions de jeu à l'aide l'outil de description

L'outil de description devra servir aux formateurs à présenter l'analyse d'actions de jeu en cinq étapes :

1. Visionnage d'une séquence vidéo d'action de jeu typique.
2. Analyse de cette action de jeu, réalisée par un expert et illustrée de graphismes schématiques.
3. Description de modèles graphiques cinématiques représentant les corrélations entre les mouvements des joueurs et du ballon au cours de cette action de jeu typique.
4. Description d'autres représentations graphiques plus lisibles que les RB et plus faciles à interpréter.
5. Re-visionnage de la séquence vidéo.

La première étape permet aux entraîneurs stagiaires de bien repérer et mémoriser le déroulement de l'action de jeu. Cette étape pourra être répétée plusieurs fois avant de passer à l'étape suivante. En effet, il est très difficile, même pour des entraîneurs experts, de repérer et de mémoriser les principaux mouvements des joueurs et du ballon après un seul visionnage.

Les graphismes schématiques réalisés et annotés par un expert (étape 2) et les modèles graphiques cinématiques seront commentés par le formateur. La description permise par les modèles graphiques cinématiques, portera sur les corrélations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon du point de vue des variations :

- des mouvements des joueurs et du ballon,
- des configurations des équipes,
- des surfaces qu'elles occupent,
- des distances entre joueurs, ballon, panier.

En re-visionnant plusieurs fois la séquence vidéo (étape 4), les entraîneurs stagiaires devront s'exercer à retrouver les corrélations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon. Ils pourront ainsi mieux se représenter ces corrélations mises au jour par les RB.

2.3. Mise au point de l'outil de description d'actions de jeu

La mise au point de cet outil de description d'actions de jeu, par un dispositif expérimental lors de formations d'entraîneurs, n'a pas été réalisée. En effet, la conception et la réalisation de cet outil et de l'outil d'« étude cinématique » ont nécessité de dépasser deux obstacles techniques complexes :

1. retrouver les coordonnées sur le terrain des joueurs et du ballon à partir de leurs coordonnées à l'écran,
2. concevoir et mettre au point de nouveaux concepts et modèles interpréteurs qui offrent des perspectives d'études cinématiques.

Ces deux obstacles étaient rédhibitoires pour poursuivre cette recherche. Les dépasser, a débouché sur des contributions originales, mais a occupé une part importante du temps de cette recherche.

3. Perspectives

L'outil d'étude cinématique, développé dans le cadre de cette recherche, n'est pas une version aboutie. Sa conception peut être optimisée pour mieux répondre aux besoins des entraîneurs. Avec cette perspective, j'envisage de le modifier de sorte de pouvoir prendre en compte les masses des joueurs⁸⁸. Il s'agit de permettre la caractérisation et la modélisation d'actions de jeu, d'un point de vue cinétique (v.s. : cinématique). Deux autres variables importantes doivent également être prises en compte pour mieux étudier les mouvements des joueurs et des équipes : la taille et l'envergure des joueurs. Les masses et les tailles sont connues et ces données sont régulièrement archivées à la FFBB. L'envergure peut-être définie approximativement par des modèles anthropométriques.

Une autre voie, envisagée pour développer l'outil d'étude cinématique d'actions de jeu, est de chercher des corrélations entre :

- les configurations des équipes,
- les actions sur la balle (e.g. : dribble, passe, tir),
- les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon.

Les modèles produits, à partir de données issues de différents matchs, pourraient permettre aux entraîneurs de mieux se représenter mentalement les conditions qui, pour une équipe donnée, conduisent à un dribble, une passe ou un tir. Pour cela, la méthode consisterait à rechercher, parmi les corrélations mises au jour, celles qui sont invariantes. Ceci permettrait aussi de mettre en évidence des structures du jeu. Mais, un premier obstacle est de définir très précisément les concepts de dribble, de passe et de tir, d'un point de vue cinématique, notamment pour les borner dans le temps à l'échelle d'1/25^{ème} seconde.

La dernière perspective envisagée, est d'utiliser, à partir d'images télévisuelles « *grand public* », l'outil d'étude d'actions de jeu pour étudier d'autres sports collectifs : hand-ball, rugby, football...

⁸⁸ Autrement dit, leur poids corporel.

BIBLIOGRAPHIE

1. Références relatives à l'étude d'actions de jeux sportifs collectifs

- Ali, A.H. (1987). A statistical analysis of tactical movement patterns in soccer. In *Science and football : Processing of the first world congress of science and football*. 302-308.
- Barthès, D. (1998). *"Pour une sémiographie de la planification des actions motrices", Approche technologique d'un objet technique à visée didactique : un modèle en rugby*. Thèse de doctorat. Université Paris XI. (sous la dir. du Pr. D. Bouthier).
- Barthès, D. & Bouthier, D. (2000). Caractérisation des conceptions du jeu en rugby. Approche sémiographique de la représentation graphique auprès des entraîneurs. *Science et motricité*. 41, 77-85.
- Bishovets, A., Gadjiev, G. and Godik, M. (1993). Computer analysis of the effectiveness of collective technical and tactical moves of footballers in the matches of 1998 olympics and 1990 world cup. In *Science and football II : Processing of the second world congress of science and football*. 232-236.
- Bouthier, D. (1988). *Les conditions cognitives de la formation d'actions sportives collectives*. Thèse de Psychologie, École Pratique des Hautes Etudes - Université Paris V.
- Bouthier D., David B., Barthès D. (1994). Technicité collective et actions sportives créatrices : rapports contradictoires ou dialectiques ; l'exemple des combinaisons en jeu déployé dans le rugby français. 3^o journées d'études d'Aquitaine, Euskadi, Navarre. Biarritz. 24-25 Oct.
- Boutmans, J., & de Rammelaere, E. (1988). L'analyse directe de rencontres de basket-ball à l'aide de l'ordinateur. *Sciences et motricité*. 2, 5, 47-52.
- Bouzit, J. (1998). Jeux (Théorie des). In *Encyclopedia Universalis* - CD ROM Version 4.0 - Mériqnac.
- Duke, A., & Corlett, J. (1992). Factors affecting university women's basketball coach's timeout decision. *Canadian Journal of Sport Sciences*. 17-4 : 333-337.
- Eom, H. (1988). A mathematical analysis of team performance in volleyball. *Canadian journal of sport sciences*. 13-3 : 55-56.
- Fernandez, A. (1998). Représentation des actions en jeux sportifs collectifs : utilisation de deux logiciels pour une modélisation en football. In *Actes du Colloque international : Recherche sur l'intervention en EPS et en Sport*. DREEPS, IUFM et UFR-STAPS de Nice : Antibes, 16, 17 et 18 Décembre 1998.

- Franks, I. M., Wilson, G. E., and Goodman, D. (1987). Analysing a team sport with the aid of computers. *Canadian Journal of Sport Sciences*. 12, 2, 120-125.
- Garbarino, J.-M. (1998) The development of a computerised match analysis system designed to automatically track the movements of soccer players. *Notational analysis of sport IV World congress*.
- Gréhaigne, J.-F. (1987). Game systems in soccer from the point of view of coverage of space. In *Science and football : Processing of the first world congress of science and football*. 316-321.
- Gréhaigne J.-F. (1989). "*Football de mouvement*" vers une approche systémique du jeu. Thèse pour l'obtention du Grade de Docteur de l'Université de Bourgogne, Spécialité : Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (sous la dir. du Pr. M. Fayol).
- Gréhaigne, J.-F. (1997). *Modélisation du jeu de football et traitement didactique des jeux sportifs collectifs*. Mémoire pour le diplôme d'Habilitation à Diriger des Recherches en Didactique des Disciplines (sous la dir. du Professeur M. Fayol).
- Gréhaigne, J.-F., Bouthier, D. & David, B. (1995). A method of analysing attacking moves in soccer. *Journal of sports sciences*. 13, 6, 514.
- Grosgeorge, B. (1992). *Analyse informatisée d'actions de jeu en sports collectifs ; application au basket-ball*, Thèse de doctorat - Université de Poitiers. Spécialité : Analyse pluridisciplinaire des interactions du sportif avec son environnement matériel de pratique (s/dir. du Pr. A. Junqua).
- Grosgeorge, B., Sudre, Ph., & Ziane, R. (1999). *Projet de recherche à échéance des jeux olympiques de 2000 : Elaboration d'outils d'anticipation de stratégies individuelles et collectives pour les jeux olympiques... Prolongement pour l'Euro 2001 féminin en France*. Projet de demande de financement par la Préparation Olympique (document non-publié).
- Hartley, S., Pollard, R. & Reep, C. (1987). The quantitative comparison of playing styles in soccer. In *Science and football : Processing of the first world congress of science and football*. 309-315.
- Hughes, M., Robertson, A. and Nicholson, K. (1987). Comparison of patterns of play of successful teams in the 1986 world cup for soccer. In *Science and football : Processing of the first world congress of science and football*. 363-367.
- Hughes, M. & Lewis, M. (1988). A comparative analysis of attacking patterns of play of successful and unsuccessful teams in the 1986 world cup for association football. *Journal of sports sciences*. 6, 2, 169.

- Olsen, E. (1987). An analysis of goal scoring strategies in the world championship in Mexico, 1986. In *Science and football : Processing of the first world congress of science and football*. 373-376.
- Singer, B., Soubié, J.-L. & Villepreux & P. (1994). Apports de l'intelligence artificielle pour l'acquisition et la représentation des connaissances en sports collectifs. Construction d'un système expert de prise de décision tactique en rugby. *Science et motricité*. 21 : 37-38.
- Winkler, W. (1987). A new approach to the video analysis of tactical aspects of soccer. In *Science and football : Processing of the first world congress of science and football*. 368-372.
- Ziane, R. (2004). Caractérisation et représentation des actions de jeu : l'exemple du basket-ball. *Impulsion* 4 :133-158. INRP/GEDIAPS.
- Zhou Yi & Luo Bo-Ping. (1995). An analysis of the tactical patterns creating goal chances during the 1994 world cup in the USA. *Journal of sports sciences*. 13, 6 : 514.

2. Références relatives à la théorisation

- Becker, A. & Naïm, P. (1999). *Les réseaux bayésiens. Modèles graphiques de connaissances*. Editions Eyrolles. Paris.
- Bouthier, D. & David, B. (1989). Référentiel commun : condition de l'action en sports collectifs. *Colloque International : Corporéité, Action et Représentation*. Université du Québec Montréal, 13-14 juin 1989.
- Cullmann G. (1998). Recherches opérationnelle. In *Encyclopedia Universalis* - CD ROM Version 5.0 - MERIGNAC.
- Chauffier, R. (1993). La préparation technico-tactique d'une équipe de sport collectif. *In Mémento de l'éducateur sportif 2^{ème} degré*. Paris : INSEP. 375-383.
- Durey, A. (1997). *Physique pour les sciences du sport*. MASSON éditeur - Paris.
- Gelé, S. (1993). Stratégie et tactique. *In Mémento de l'éducateur sportif 2^{ème} degré*. Paris : INSEP. 349-352.
- Gouju, J.-L. (2000). *Objectivation de l'organisation de l'action. Contribution à l'intervention didactique en athlétisme*. Thèse pour l'obtention du grade de docteur de l'université Paris XI. (Sous la dir du Pr D. Bouthier).
- Gonzales, C. & Wuillemmin, P.-H. (1998). Réseaux bayésiens en modélisation d'utilisateurs. *Sciences et techniques éducatives*. 2-5 : 173-198.

- Grosgeorge, B. (1993). L'importance de la tactique. In *Mémento de l'éducateur sportif 2^{ème} degré*. Paris : INSEP. 359-364.
- Leray, P. (1998). *Apprentissage et Diagnostic de Systèmes Complexes : Réseaux de Neurones et des Réseaux Bayésiens*. Thèse de doctorat. Université Paris 6.
- Martinand, J-L. (1994). Introduction à la modélisation. In *Actes du séminaire de didactique des disciplines techniques*. INRP. Paris.
- Martinand, J.-L. (2000). Rapport au savoir et modélisation en sciences. In A. Chabchoub (dir.), *Rapports aux savoirs et apprentissage des sciences, Actes du 5^{ème} colloque international de didactique et d'épistémologie des sciences*, tome 1, Tunis. 123-135.
- Matveiev, L-P. (1983). Aspects fondamentaux de l'entraînement. Paris. Vigot.
- Morlon, B., Martin A., Legreneur P., Canal M. (1995). Modélisation et biomécanique. Processus général et étude sur quelques exemples. *Actes du Congrès ACAPS - 30, 31 Octobre & 1 Novembre 1995 - Guadeloupe*.
- Parlebas, P. (1994). Action motrice. *Contribution à un lexique commenté en science de l'action motrice*. Paris : édition INSEP. pp 1-3.
- Populaire, S. (2000). *Introduction aux réseaux bayésiens*. Rapport interne du laboratoire SIME. Université de Technologie de Compiègne.
- Saint-Sernin, B. (1999). Stratégie et tactique. In *Encyclopedia Universalis. CD ROM Version 5 Mérignac*.
- Saint-Sernin, B. (2001). Le jeu stratégique. *Science et avenir. 128* : 48-53.
- Thill, E., Thomas, R. & Caja, J. (1989). *Manuel de l'éducateur sportif. Préparation au brevet d'Etat*. 8^{ème} édition. Vigot. Paris.
- Vermersch, P. & Maurel, M. (1997). *Pratiques de l'entretien d'explicitation*. Paris, ESF.
- Von Clausewitz, K. (1955). *De la guerre* (Vom Kriege, 1832-1837), traduction de D. Naville, Edition de Minit, Paris.

3. Références relatives aux stratégies et aux tactiques du basket-ball

- Arteaga, A. (1998). L'attaque d'une défense en boîte. Les cahiers de l'entraîneur. *Basketball*. 630.
- Ballarini, I. (1996). L'attaque de zone et son importance chez les jeunes joueurs. *Pivot*. 73.

- Ballarini, I. & Grosgeorge, B. (1996). Lire le jeu – Jouer juste. *Basket-ball*. 614.
- Beesley, P. (1998a). La transition offensive de l'équipe de France seniors. *Basket-ball*. 628.
- Beesley, P. (1998b). L'attaque des défenses de zone. Les cahiers de l'entraîneur. *Basket-ball*. 633.
- Bergeron, M. (1989). Jeu à 3 – dans la situation 1 meneur (M) – 1 ailier (A) – 1 poste bas (Pb). *Basket-ball*. 537.
- Besson, P. (1991). Une unité de départ. *Basket-ball*. 564.
- Besson, P. (1992). Le jeu rapide. *Basket-ball*. 574.
- Besson, P. (1994). 3 contre 2 en continuité. *Basket-ball*. 589.
- Besson, P. (1996). Les défenses de zone. *Basket-ball*. 614.
- Bosc, G. (1989b). Managérat – questions à MM. Weisz et Renaud. *Basket-ball*. 539.
- Bosc, G. (1995c). Les notions fondamentales. *Basket-ball*. 605.
- Caroff, N. & Ory, P. (1999). L'Euro masculins 1999 (Paris-Bercy) Utilisation des écrans non porteurs. *Pivot*. 92. 14-15.
- Ciani, F. (1997b). Lire la défense homme à homme (1). Les écrans, l'espace et les mouvements. *Basket-ball*. 616.
- Ciani, F. (1997c). Lire la défense homme à homme (2). Les écrans, l'espace et les mouvements. *Basket-ball*. 617.
- Commères, J. (1999). Les relations offensives à 2 joueurs – 3 joueurs. *Basket-ball*. 645.
- de Vincenzi, J-P. (1990). Fin de contre attaque à 2 contre 1. *Basket-ball*. 550.
- de Vincenzi, J-P. (1991b). Une forme de jeu offensive de l'équipe de France juniors. *Basket-ball*. 561.
- de Vincenzi, J-P. (1991c). Une attaque espagnole. *Basket-ball*. 564.
- de Vincenzi, J-P. (2000). Défense match-up tout terrain. *Basket-ball*. 652.
- Grosgeorge, B. (1994e). Attaquer les défenses pressing tout terrain. *Pivot*. 64.
- Grosgeorge, B. (1995g). Questions à Alain Jardel. *Basket-ball*. 598.

- Grosgeorge, B. (1995h). Attaque contre une défense individuelle "Ecran pour le porteur d'écran". Les cahiers de l'entraîneur. *Basket-ball*. 601.
- Grosgeorge, B. (1995i). Défendre en match-up zone. *Basket-ball*. 603.
- Grosgeorge, B. (1995j). Système et lecture du jeu : est-ce compatible ? *Basket-ball*. 604.
- Grosgeorge, B. (1996q). Plaidoyer pour un jeu rapide. *Basket-ball*. 607.
- Grosgeorge, B. (1996r). Vous avez dit démarquage simple. *Basket-ball*. 608.
- Grosgeorge, B. (1996s). La contre-attaque secondaire. *Basket-ball*. 609.
- Grosgeorge, B. (1996t). Pick and roll... et les autres. *Basket-ball*. 612.
- Grosgeorge, B. (1996u). Les rotations défensives dans les défenses homme à homme. *Pivot*. 73.
- Grosgeorge, B. (1997f). Il faut anticiper. *Basket-ball*. 618.
- Grosgeorge, B. (1997g). Les dribbles et leur utilisation. *Basket-ball*. 621.
- Grosgeorge, B. (1997h). Tenus de balle et prise de position sans ballon. *Basket-ball*. 622.
- Grosgeorge, B. (1998). Continuité et transformation dans le jeu offensif. Les cahiers de l'entraîneur. *Basket-ball*. 629.
- Grosgeorge, B. (1999b). Spacing and timing. *Actes de l'Eurocolloque 1999*. Publication de l'AFEB.
- Grosgeorge, B. (1999c). L'anticipation dans les tirs extérieurs. *Basket-ball*. 639.
- Grosgeorge, B. & Jardel, A. (1998). Postes de jeu et actions de jeu prioritaires. *Basket-ball*. 631.
- Grosgeorge, B. & Raimbault, N. (2000). Aspects offensifs du pick and roll. Approche différenciée selon le niveau des joueurs. Les cahiers de l'entraîneur. *Basket-ball*. 649.
- Grosgeorge, B. & Wolff, M. (1998). Petit lexique du joueur de basket. *Basket-Ball*. 602.
- Guillaumat, G. (1990). Passing de l'équipe d'Alaska. *Basket-ball*. 554.
- Halbwachs, F. & Roses, T. (1999). Regard sur le championnat d'Europe masculin 1999. Défendre sur les pick and roll. *Pivot*.

- Hurley, J. (1989). Définition d'un bon tir. *Basket-ball*. 546.
- Jardel, A. (1998). L'attaque placée de l'équipe de France senior féminine. Les cahiers de l'entraîneur. *Basket-ball*. 627.
- Jordane, F. (1988). Fondamentaux offensifs. Exploration des situations relationnelles à trois. *Basket-ball*. 534.
- Jordane, F. (1991). Utilisation d'Antonello Riva. *Basket-ball*. 546.
- Lefrère, N. & Saumur, J-A. (1990). Question : Que proposez-vous pour faire travailler vos joueurs dans les situations de surnombre et en continuité ? *Basket-ball*. 551.
- Legrand, L. (1989a). Rebond défensif 1ère passe (1). *Basket-ball*. 545.
- Legrand, L. (1989b). Rebond défensif 1ère passe (2). *Basket-ball*. 546.
- Legrand, L. (1989c). Rebond défensif 1ère passe (3). *Basket-ball*. 552.
- Legrand, L., Fourcade, Ch. & Chicanne, P. (1997). Une approche de l'attaque de l'équipe de France cadet. Les cahiers de l'entraîneur. *Basket-ball*. 624.
- Lehmann, E. (1996). Pose et utilisation des écrans. *Basket-ball*. 611.
- Long, A. (1998). Attaque de zone "passe partout". Les cahiers de l'entraîneur. *Basket-ball*. 632.
- Maljkovic, B. (1999). Quelques options défensives. *Basket-ball*. 645.
- Messina, E. (1993). Aider et reprendre ?...non merci. Les cahiers de l'entraîneur. *Basket-ball*. 582. (traduction : J. Delachet).
- Messina, E. (1999). L'anticipation dans les 1 contre 1. *Actes de l'Euro-colloque 1999*, résumé par B. Grosgeorge.
- Monschau, J-L. & Grosgeorge, B. (1999). Le tir à 3 points. *Basket-ball*. 640.
- Novello, G. (1985). Principes d'attaque de zones. (Traduction de I. Ballarini). *Basket-ball*. 544.
- Ory, P. (1998b). Organisation offensive de l'équipe de France junior masculine. *Basket-ball*. 626.
- Papini, C. (2000). Principes didactiques pour toutes les catégories de joueurs (1). *Basket-ball*. 651.

- Passemard, C. (1989). Jeux pour la contre-attaque. *Basket-ball*. 542.
- Pisan, P. (1997). Une approche de l'attaque de l'équipe de France cadettes. Les cahiers de l'entraîneur. *Basket-ball*. 575.
- Pisan, P. (2000). Le jeu rapide du Centre Fédéral (équipe féminine). *Basket-ball*. 647.
- Prud'homme, F. (1996). L'attaque de zone. *Basket-ball*. 610.
- Rat, M. (1989). Le jeu 2x2 côté opposé au ballon. *Basket-ball*. 539.
- Roccaforte, S. (1992). Attaque avec un seul centre. Les cahiers de l'entraîneur. *Basket-ball*. 575. (traduction : J. Delachet)
- Ruiz, J. (1995). L'attaque d'une zone avec une autre manière de jouer "flex". Les cahiers de l'entraîneur. *Basket-ball*. 604.
- Ruiz, J. (1996). Une défense de zone press 2-1-2 et ses trappes successives. Les cahiers de l'entraîneur. *Basket-ball*. 613.
- Touzé, J-M. (1998). Les transitions offensives de l'équipe garçons du centre fédéral. *Basket-ball*. 634.
- Vanatta, B. (1992). Attaque spéciale. Les cahiers de l'entraîneur. *Basket-ball*. 576. (traduction : J. Delachet)
- Vernerey, J. (1991b). Défense de zone 1-2-2. *Basket-ball*. 559.
- Vernerey, J., Savasta, L., Sauret, A. & Melain, C. (1993). Défendre sur la balle. *Basket-ball*. 582.
- Vincent, P. (1997). Une approche de l'attaque de l'équipe de France juniors féminines. Les cahiers de l'entraîneur. *Basket-ball*. 625.
- Vincent, P. (1999a). Apprentissage et gestion du duel. *Basket-ball*. 637.
- Vincent, P. (1999b). Le 1 contre 1 dos au panier. *Basket-ball*. 638.

Table des illustrations

<u>Figure 1 : Sept types d'attaque (d'après Ali, 1987)</u>	43
<u>Figure 2 : Exemple d'espace effectif de jeu (d'après Gréhaigne, 1987)</u>	44
<u>Figure 3 : Premier schéma de la modélisation (d'après Martinand, 2000)</u>	73
<u>Figure 4 : Second schéma de la modélisation (d'après Martinand, 2000)</u>	75
<u>Figure 5 : Exemple de représentation d'un terrain de basket-ball (eg : Besson, 1992, 1994 ; de Vincenzi, 1990, 2000 ; Vernerey & al., 1993)</u>	85
<u>Figure 6 : Exemple de représentation graphique d'un demi-terrain (e.g. : Bosc, 1995 ; Ciani, 1997 ; Grosgeorge, 1997)</u>	86
<u>Figure 7 : Exemple de représentation graphique des d'un terrain (e.g. : Grosgeorge, 1996q)</u>	88
<u>Figure 8 : Exemple de représentation symbolique d'un terrain vu des tribunes (e.g. : Gatouillat, 1988)</u>	88
<u>Figure 9 : Exemples de représentations symboliques de joueurs défenseurs (e.g. : Vincent, 1999 ; Papini, 2000 ; Ruiz, 1996)</u>	90
<u>Figure 10 : Exemples de représentations symboliques de joueurs attaquant (e.g. : Guillaumat, 1990 ; Grosgeorge & Raimbault, 2000)</u>	90
<u>Figure 11 : Exemples de représentations symboliques de joueurs attaquants porteurs de ballon (e.g. : Roccaforte, 1992 ; Grosgeorge & Raimbault, 2000)</u>	90
<u>Figure 12 : Exemples de représentations graphiques de mouvements de joueurs (e.g. : Arteaga, 1998 ; Ballarini, 1996 ; de Vincenzi, 1990)</u>	92
<u>Figure 13 : Exemples de représentations graphiques des mouvements du ballon et de l'attaquant porteur de ballon lors d'un dribble (e.g. : Arteaga, 1998 ; Ballarini, 1996 ; de Vincenzi, 1990)</u>	93
<u>Figure 14 : Exemples de représentations graphiques des mouvements du ballon lors d'une passe (e.g. : Arteaga, 1998 ; Ballarini, 1996 ; de Vincenzi, 1990)</u>	93
<u>Figure 15 : Exemples de représentations graphiques des mouvements du ballon lors d'un tir (e.g. : Arteaga, 1998 ; Ballarini, 1996 ; de Vincenzi, 1991b)</u>	93
<u>Figure 16 : Exemple de représentation graphique de relations possibles entre les mouvements des équipes, des joueurs et du ballon (d'après Ballarini & Grosgeorge, 1996)</u>	94

<u>Figure 17 : Modèle de caméra</u>	110
<u>Figure 18 : Modèle de terrain</u>	111
<u>Figure 19 : Position de la caméra par rapport au terrain</u>	111
<u>Figure 20 : Représentation en vue surplombante d'un terrain de basket-ball</u>	116
<u>Figure 21 : Exemple de réseau bayésien</u>	128
<u>Figure 22 : Rappel de la séquence d'action de jeu</u>	139
<u>Réseau bayésien 1 : Corrélations entre les mouvements des équipes entre elles et avec ceux du ballon</u>	148
<u>Réseau bayésien 2 : Corrélations entre les variations de pente et de hauteur des droites de régression représentant les équipes</u>	150
<u>Réseau bayésien 3 : Corrélations entre les mouvements des joueurs entre eux et avec ceux du ballon</u>	152
<u>Réseau bayésien 4 : Corrélations entre les variations de surface occupée par les équipes</u>	156
<u>Réseau bayésien 5 : Corrélations entre distances séparant équipes, ballon et panier</u>	158
<u>Réseau bayésien 6: Corrélations entre les variations de vitesse des joueurs et du ballon</u> ..	161
<u>Figure 23 : Vues surplombantes représentant les mouvements des joueurs et du ballon</u>	164
<u>Figure 24 : Tracés représentant les mouvements des joueurs et du ballon</u>	165
<u>Figure 25 : Tracés représentant les mouvements des barycentres des équipes et du ballon</u>	167
<u>Figure 26 : Variations de pente et de hauteur des droites de régressions représentant les équipes</u>	168
<u>Figure 27 : Variations des surfaces occupées par les équipes</u>	170
<u>Figure 28 : Variations des surfaces occupées par les équipes</u>	171
<u>Figure 29 : Variations des distances entre chaque joueur, le ballon et le panier</u>	172
<u>Figure 30 : Variations des distances entre les barycentres des équipes, du ballon et du panier</u>	173
<u>Figure 31 : Variations de vitesse de chaque joueur</u>	175

Mots clé :

Formation d'entraîneurs, basket-ball, modélisation, cinématique, actions de jeu, représentations graphiques.

Résumé :

Pour élaborer des stratégies de jeu, les entraîneurs doivent savoir décrypter les tactiques employées par les équipes adverses. Cette activité est appelée *lecture d'actions de jeu*.

Pour former des entraîneurs à la lecture d'actions de jeu, les formateurs décrivent des séquences vidéo filmées depuis les tribunes. Pour cela, ils élaborent des graphismes schématiques qu'ils commentent. Mais ces graphismes schématiques et les descriptions qui les accompagnent ne permettent pas de répondre à des questions précises sur les mouvements relatifs d'équipes opposées. Pour dépasser ces limites, il est nécessaire d'étudier, d'un point de vue objectif, les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon. Cette recherche propose, pour les formations d'entraîneurs, un outil qui permet l'étude cinématique d'actions de jeu à partir de séquences vidéo filmées depuis les tribunes. Cet outil est fondé sur de nouveaux modèles :

- de joueurs, d'équipes, de ballon et de terrain,
- de mouvements des joueurs, des équipes et du ballon,
- de relations entre ces mouvements.

Ces modèles permettent d'interpréter avec précision les variations de configuration des équipes, de surface occupée par chaque équipe, de distance entre joueurs, ballon et panier, de vitesse des joueurs et du ballon. D'autres modèles mis au point permettent aussi d'identifier, parmi les points de vue proposés, celui qui est le plus pertinent pour étudier les corrélations entre les mouvements des joueurs, des équipes et du ballon. Les représentations graphiques permettent de montrer ces corrélations qui n'étaient pas visibles auparavant.