



HAL
open science

Fouille de traces dans le sport électronique : recommandation stratégique, analyse spatiale et enjeux pour le sport réel

François Rioult, Jean-Philippe Metivier, Boris Helleu, Nicolas Scelles, Christophe Durand

► **To cite this version:**

François Rioult, Jean-Philippe Metivier, Boris Helleu, Nicolas Scelles, Christophe Durand. Fouille de traces dans le sport électronique : recommandation stratégique, analyse spatiale et enjeux pour le sport réel. Congrès INFORSID 2010 - Atelier ICT 2010 (Interactions, Contextes, Traces), May 2010, Marseille, France. 20 p. <halshs-02110821>

HAL Id: halshs-02110821

<https://shs.hal.science/halshs-02110821v1>

Submitted on 2 May 2019

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.



HAL Authorization

Fouille de traces dans le sport électronique : recommandation stratégique, analyse spatiale et enjeux pour le sport réel

François RIOULT¹, Jean-Philippe MÉTIVIER¹, Boris HELLEU², Nicolas SCELLES², Christophe DURAND²

¹Laboratoire GREYC (CNRS UMR6072)

²Laboratoire IOA (EA4260)

Campus 2, Côte de Nacre

14032 Caen cedex

Prenom.Nom@unicaen.fr

RÉSUMÉ. Le développement et la professionnalisation du jeu vidéo suscitent le besoin d'outils adaptés à l'analyse de la pratique des joueurs, selon des axes sportif, tactique et stratégique. Très populaires et par nature informatique, ces jeux fournissent de nombreuses traces. Dans le cadre d'un jeu opposant deux équipes de cinq joueurs (un MOBA, Multiplayer Online Battle Arena), analogue au Rugby, nous montrons que la fouille de ces traces est fructueuse. Elle permet d'émettre des recommandations stratégiques et l'analyse des configurations spatiales des joueurs fournit des indications précieuses sur l'issue du match. La fouille de traces de sport électronique ouvre des perspectives intéressantes pour l'analyse stratégique du sport réel.

ABSTRACT. The development and professionalization of video game require tools for analysing the practice of the players and teams, their tactics and strategies. Very popular and by nature numerical, these games provide many tracks that we analyze in terms of team play. We study DotA, a MOBA-like (Multiplayer Online Battle Arena), where two teams battle in a game very similar to rugby or American football. We show through topological measures – area of polygon described by the players, inertia, diameter, distance to the goal – that are independent with the exact nature of the game, that simple measures on spacial tracks allow for relevantly predicting the outcome of the match.

MOTS-CLÉS : jeu vidéo, sport électronique, fouille de traces, recommandation, stratégie

KEYWORDS: video game, electronic sport, track mining

1. Introduction

En quelques années, le jeu vidéo s'est considérablement développé. Bénéficiant des avancées technologiques qui ont accompagné la démocratisation de l'informatique, le matériel nécessaire est désormais abordable pour le prix d'un simple ordinateur ou d'une console de jeu. Ces dernières tendent d'ailleurs à fusionner avec l'ordinateur domestique, en proposant un accès à Internet.

Récemment, le marché du jeu vidéo a dépassé celui du cinéma et le place en tête des loisirs. La production d'un jeu vidéo n'a rien à envier à celle d'un film, et cette industrie comporte de nombreux corps de métiers : musicien, graphiste, scénariste, animateur, testeur, *etc.* Les tendances actuelles se concentrent sur l'interactivité avec le développement de nouvelles interfaces de contrôle (senseur sous les pieds, capteur de mouvement, détection vidéo) ou le développement de jeux coopératifs dans des univers persistants. Ce marché est amené à se développer toujours plus, avec le jeu sur abonnement et la multiplication des supports (ordinateur, console, téléphone portable).

1.1. *Emergence du sport électronique*

Comme à leur début, les jeux électroniques actuels se pratiquent majoritairement seuls. Pour autant, bien que l'intelligence artificielle ait fait de nombreux progrès dans la gestion des joueurs contrôlés par l'ordinateur, l'opposition à une entité mécanique n'a pas la saveur de l'inventivité et de la réactivité humaine. Les joueurs se mesurent donc entre eux, par défi et par esprit d'équipe et de convivialité. Le développement d'Internet et des réseaux de communication facilite le jeu à plusieurs en abolissant les distances. Des communautés d'intérêt se développent autour d'un jeu et le font vivre sur la durée, en alimentant des forums, en rédigeant des guides ou en organisant des événements.

De bonnes performances à ces jeux nécessitent un entraînement souvent intensif et régulier. Les joueurs prennent l'allure de sportifs réels et leur pratique dépasse le cadre du simple loisir. Le sport électronique [MOR 04] se popularise et se développe de jours en jours. Le temps consacré au jeu amène certains à choisir une voie professionnelle de cyber-athlète. Ils peuvent être sponsorisés par des équipementiers de l'informatique et participent à des compétitions mondiales rémunératrices qui attirent une foule toujours plus nombreuse. D'autres joueurs professionnels vendent contre de l'argent réel des objets virtuels gagnés dans les mondes persistants. La gestion des communautés virtuelles et l'organisation d'événements populaires diversifient les métiers : organisateur, commentateur, recruteur, entraîneur, agent, *etc.*

En marge des succès commerciaux réservés aux joueurs en solo, l'intérêt des éditeurs est d'inciter au développement d'une communauté de joueurs en ligne qui fera vivre le produit. Alors que la demi-vie d'un jeu à succès joué en solo est d'un an, certains jeux en ligne survivent depuis dix ans. Le jeu commercialisé n'est plus nécessairement utilisé pour évoluer dans l'univers original, il sert uniquement de moteur pour des univers adaptés à la pratique sportive.

Certains jeux constituent une virtualisation de sports réels, comme la conduite automobile, le tennis ou le golf. D'autres simulent des sports collectifs : football, basket-ball, hockey sur glace, *etc.* Nous nous focalisons ici sur les jeux vidéo qui reprennent les principes d'un sport collectif opposant deux équipes, selon un mode de jeu limité et bien réglé. En particulier nous étudions un jeu appelé DOTA, du genre MOBA, *Multiplayer Online Battle Arena*, dont le principe est celui d'un gagne-terrain, dérivé du rugby ou du football américain. Ce type de jeu offre une grande reproductivité des situations, qui permet leur étude et leur analyse.

1.2. Motivations

La professionnalisation du jeu vidéo réclame des outils adaptés au développement de la pratique sportive des joueurs. Pour améliorer leur performances, les athlètes doivent pouvoir disposer de moyens d'analyse, dans le but de définir des objectifs, analyser forces et faiblesses puis établir un plan de travail. Les traces de ces jeux sont nombreuses et leur nature électronique en favorise le traitement. Par ailleurs, l'existence de communautés de joueurs met à disposition de nombreuses ressources.

Grâce à ses traces, le cyber-athlète consciencieux veut gérer l'historique de sa pratique pour l'analyser d'un regard critique et mesurer son évolution. Il veut également se renseigner sur les habitudes de ses adversaires potentiels. Parfois, il est encadré par un entraîneur qui nourrira les mêmes intérêts. L'analyse des traces permet de fournir les instruments nécessaires à la réalisation de ces objectifs.

La profusion de données nécessite également des méthodes de recherche d'information dans de grandes masses. L'automatisation de certaines tâches permet la réalisation de résumés ou l'extraction d'informations pertinentes, comme la réalisation d'une performance exceptionnelle. Si ce type d'outil était disponible, cela aurait pour effet de faciliter la réalisation de commentaires, le recrutement et la formation de joueurs, l'animation des communautés et la réalisation d'événements.

Enfin, l'équilibrage d'un jeu lors de sa conception, puis son évolution régulière peuvent bénéficier d'outils d'analyse automatique des traces. La modification d'une règle trouve généralement son origine dans l'expertise du concepteur et les réclamations des utilisateurs. Mais une exploration des traces des jeux multiplie les axes d'analyse : statistique, spatial, temporel. Ces analyses fournissent des méthodes d'aide à la décision qui améliorent la conception du jeu.

1.3. Point de vue stratégique

L'intelligence artificielle se préoccupe depuis ses origines de réaliser des machines qui jouent contre l'humain. L'approche principale consiste à programmer des stratégies issues de connaissances métier. Elle utilise l'expérience des experts pour élaborer des solutions au problème.

Nous proposons une voie complémentaire qui consiste à analyser un jeu à partir des comportements des joueurs humains, vus comme des traces, puis d'en extraire de la connaissance pour proposer des recommandations stratégiques. À partir des données disponibles, qu'elles proviennent de traces de jeux comme des indicateurs statistiques instantanés, ou qu'elles soient rassemblées dans des contributions de joueurs de la communauté, la connaissance obtenue offre une vision alternative aux expertises. Nous supposons pour cela que l'avis de la communauté de mini-experts est aussi pertinent que celui de l'expert.

Une utilisation judicieuse de la connaissance extraite fournit en effet des solutions pour analyser, évaluer et diriger la pratique sportive. L'appel à des technologies informatiques allège le travail de compilation des données et d'extraction des événements intéressants. Elle accompagne ainsi toutes les étapes du cycle de vie du jeu. La gestion automatique de données, l'extraction de connaissance et la réalisation de méthodes d'aide à la décision proposent des approches complémentaires à l'utilisation de l'expertise métier.

1.4. *Problématiques*

Plus que l'exploitation de traces informatiques classiques, un gros travail de pré-traitement est nécessaire pour obtenir des données exploitables. Les sources potentielles sont multiples : document structuré de contribution dans un forum, bases de données de ligues de joueurs, copies d'écran du récapitulatif de match fourni par le jeu, analyses des sauvegardes. Les données sont aussi hétérogènes que les sources : texte, tables, séquences, graphes. La problématique essentielle de l'exploitation de traces pour le jeu vidéo est d'extraire et de valoriser la connaissance présente dans des données hétérogènes et volumineuses.

La valorisation de cette connaissance nécessite le développement et la mise à disposition d'outils d'analyse et d'aide à préconisation stratégique. Pour cela, des techniques de fouille de données fondées sur les représentations de motifs fréquents sont disponibles [PAS 05]. Elles permettent notamment de générer des motifs émergents, des bases de règles d'association ou de caractérisation, utilisées par des méthodes de classification supervisée [RIO 08b].

Enfin, les acteurs du sport électronique, joueurs, entraîneurs, sélectionneurs, journalistes, réclament des logiciels interactifs et performants pour gérer et exploiter leurs données. Il s'agit là encore d'un défi que de fournir des interfaces agréables pour la gestion de traces complexes et la valorisation de la connaissance extraite.

1.5. *Transposition au sport réel*

Nous présentons ici une étude statistique sur des traces spatiales issues de jeux vidéo. Notre attention est plus particulièrement focalisée sur l'étude de jeux en équipe,

dont la popularité et les enjeux entraînent la constitution des ligues et de classements, à l'instar du sport réel. Nous examinons ici les traces sous l'angle d'indices topologiques caractéristiques de l'**organisation collective**.

L'analyse des traces de jeu vidéo révèle leur fort potentiel stratégique. La mise en œuvre de stratégies suppose un délai de réflexion, soit une certaine durée de jeu et donc un nécessaire équilibre relatif des forces en présence. La notion d'équipe est centrale pour l'étude de l'équilibre compétitif, une thématique majeure du fonctionnement économique des ligues de sports collectifs professionnels [AND 09].

La préservation de cet équilibre est essentielle pour garantir un spectacle passionnant, capable d'entretenir un suspens pendant le match et au fil du championnat. Les conditions de cet équilibre méritent donc d'être étudiées selon l'angle de l'équipe et non pas d'un point de vue de la performance individuelle. En un contre un, une différence marquée entre les deux joueurs ne permettra pas un affrontement équilibré ; plus il y aura de joueurs, plus la possibilité d'une complémentarité des compétences sera envisageable avec pour conséquence des rencontres indécises et riches en rebondissements.

1.6. Contribution

Nous présentons ici l'utilisation de techniques de fouille de données pour l'extraction et la valorisation de connaissances issues de traces du sport électronique. Nous commençons à la section 2.4 par introduire DOTA, le jeu sur lequel nous illustrons notre propos et nous justifions l'intérêt d'analyser les données de ce type de jeu. Ensuite nous détaillons à la section 3 les résultats obtenus sur un corpus de 550 matchs et montrons les recommandations stratégiques correspondantes. La section ?? conclue et livre quelques perspectives.

Nous focalisons donc sur le point de vue de l'équipe pour effectuer une analyse de traces spatiales dans le sport électronique de la manière suivante : après avoir décrit à la section 2 le type de jeu vidéo étudié, nous considérons à la section 3 une forme de trace très primaire, constituée uniquement par les trajectoires décrites par les joueurs. Aucune connaissance sur la modélisation du jeu n'est introduite et nous montrons que les connaissances obtenues sont malgré tout pertinentes pour l'analyse du résultat d'un match. La section 4 nous donne l'occasion de réfléchir à l'impact potentiel de ce type d'analyses dans le domaine du sport réel.

2. MOBA (Multiplayer Online Battle Arena)

En une dizaine d'année, le jeu multi-joueur en ligne a pris un essor colossal. De très nombreux modes de jeu co-existent et proposent des affrontements d'équipes de joueurs dans des matchs amicaux ou de véritables compétitions.

Certains modes de jeu rencontrent un fort succès et définissent une typologie de ces jeux, de la même façon que le sport est défini par ses différentes disciplines. On distingue actuellement :

– MMORPG (Massively Multiplayer Online Role-Playing Game) : le jeu simule un univers persistant dans lequel chaque joueur incarne un avatar.

– FPS (First Person Shooter) : le joueur, incarnant généralement un « simple » soldat, évolue dans un conflit armé.

– RTS (Real Time Strategy) : en temps réel, chaque joueur contrôle une civilisation (infra-structures et habitants), qu’il doit développer pour établir sa suprématie sur les autres joueurs.

Notre étude portant sur le comportement d’une équipe de joueurs, nous excluons les jeux de simulation de sport réel, typiquement le football, car ils n’impliquent qu’un face à face entre deux joueurs.

Face à l’engouement de DOTA (détaillé dans la section suivante), le concept de MOBA (Multiplayer Online Battle Arena) émerge actuellement.

– MOBA (Multiplayer Online Battle Arena) : deux équipes, généralement de cinq joueurs, s’affrontent sur un même terrain de jeu, identique d’une partie à l’autre. Le but du jeu est de repousser les joueurs adverses dans leur camp et d’y détruire un bâtiment particulier.

Le but d’un MOBA est simple : progresser dans le territoire de l’adversaire jusqu’à sa base pour progressivement l’affaiblir puis la détruire.

2.1. Déroulement du jeu

Les règles sont simples : progresser dans le territoire de l’adversaire jusqu’à sa base pour progressivement l’affaiblir puis la détruire.

Les bases sont situées aux coins opposés de la carte (*cf.* figure 1). Trois chemins principaux (un central, deux latéraux) les relient. Toutes les 30 secondes, trois petites armées autonomes quittent chaque base par les trois chemins, en direction de la base adverse, qu’elles mettent une minute à atteindre. Sur leur chemin, elles rencontrent la petite armée autonome adverse. Les trois affrontements définissent une ligne de front.

Sans intervention des joueurs humains, cette ligne de front est en équilibre instable et oscille lentement. Des tours de défense (trois par chemin), bien plus fortes que ces armées autonomes, viennent stopper et limiter ces oscillations naturelles (*cf.* figure 2 et [RIO 08a]). Pour éviter que le jeu seul ne dure indéfiniment, les armées autonomes grossissent régulièrement, amplifiant l’amplitude des oscillations.

En incarnant un héros doté de pouvoirs, le joueur humain accompagne la progression de ses armées autonomes pour les aider à détruire les tours intermédiaires, puis les bâtiments de la base. La destruction de certains bâtiments de la base ennemie renforce alors les armées envahisseuses et précipite la chute de l’assiégé. Enfin, un brouillard artificiel (dit *de guerre*) interdit de connaître les positions des ennemis qui ne sont pas à proximité d’un allié. DOTA est une sorte de rugby à cinq, très lent, avec trois ballons dans trois lignes différentes !

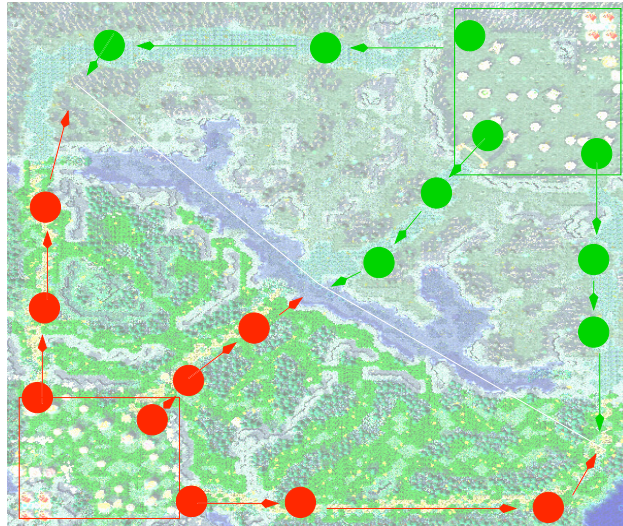


Figure 1 – La carte du mode DOTA de WARCRAFT III. En bas, le camp des *Sentinel*, en haut le clan des *Scourge*. Il faut trente secondes pour aller d'un clan à l'autre par la ligne du milieu et une minute par les lignes extérieures. Les disques représentent les tours de défense, le trait diagonal blanc figure la ligne de front initiale.

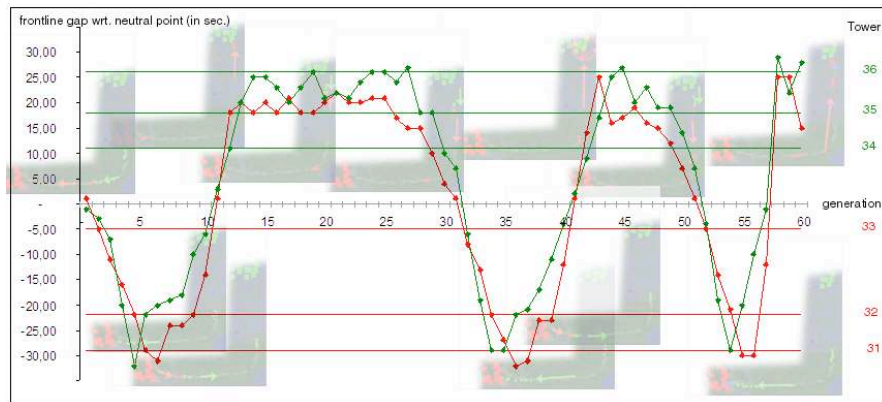


Figure 2 – Évolution libre du front sur la ligne du bas de la carte. Les courbes indiquent l'éloignement temporel entre la base et les points de rencontre des armées autonomes. Les représentations en filigrane précisent les positions géographiques dans le bas de la carte de la figure 1. L'axe des abscisses indique le numéro de la génération d'armée autonome (chaque demi-minute). La progression des armées autonomes présentée ici n'est pas influencée par un héros. Lorsque celui-ci intervient à la génération 55, il favorise énormément la progression du front.

2.2. Complexité stratégique

La simplicité apparente du mode de jeu masque une grande complexité stratégique. En effet, chaque joueur choisit un héros parmi cent possibilités. Chacun est réellement différent des autres et tous sont potentiellement dangereux. Un héros peut infliger des dégâts par attaque directe au corps à corps ou à distance. De plus, il est doté de quatre pouvoirs (ou sorts), qu'il pourra activer en utilisant ses points de magie.

2.2.1. Caractéristiques des héros

Chaque héros est défini par trois caractéristiques primaires (cf. figure 3) :

- la force : conditionne le nombre de points de vie et la capacité de régénération de ces points de vie ;
- l'agilité : détermine la fréquence d'attaque et l'armure ;
- l'intelligence : fixe le nombre de points de magie et leur capacité de régénération.



Figure 3 – Caractéristiques du héros MEDUSA. Sous le portrait, les points de vie et de magie. On trouve au milieu les caractéristiques de dommage, armure, et force, agilité, intelligence. La partie de droite montre les items d'équipement de l'inventaire.

Les héros gagnent de l'expérience et de l'argent en tuant des créatures de l'armée autonome adverse, en détruisant un bâtiment ou en tuant un héros adverse. Cette progression se traduit par le franchissement de niveaux d'expérience, qui augmentent toutes les caractéristiques.

Plus précisément, chaque héros est doté d'une caractéristique principale, qui fixe la quantité de dégât qu'il provoque, mais aussi laquelle de ses caractéristiques augmente le plus à chaque niveau d'expérience. Par exemple, un héros de *force* verra sa caractéristique de force plus augmentée que les autres ; il est destiné à avoir beaucoup de points de vie, mais peu de capacité de magie, et sera utilisé pour encaisser et divertir les assauts ennemis, comme un tank. Un héros d'*agilité* sera plus fragile mais plus prodigue en dommage par seconde. Enfin, un héros de *magie* sera favorisé dans le lancement de ses sorts par une intelligence augmentée.

2.2.2. Sorts et items d'un héros

En progressant dans les niveaux d'expérience, un héros peut activer ou améliorer l'un de ses quatre sorts. On peut distinguer deux types de sorts : offensifs, ils créent des dommages à l'adversaire, diminuent son armure, le ralentissent, le neutralisent. . . Défensifs, ils permettent de se soigner, se protéger, devenir invisible. . . Ces sorts peuvent être d'action permanente, sinon ils nécessitent un temps de repos entre deux déclenchements. La plupart du temps, un héros a également besoin d'un certain nombre de points de magie pour exécuter chaque sort.

On peut quasiment considérer que les sorts d'un héros lui sont réservés (aucun autre héros n'a le même comportement), ce qui confère à DOTA une grande variété de combinaisons stratégiques. De plus, le héros peut acheter des items d'équipement avec l'argent gagné pendant le jeu.

Il existe une centaine d'items à acheter et le joueur ne peut en porter que six. Ces items améliorent les caractéristiques et procurent de nouveaux sorts : dégâts violents, neutralisation, téléportation, invisibilité, soin, *etc.* Ils multiplient encore les possibilités stratégiques.

Certains héros sont plus efficaces en début de jeu, par exemple certains mages. Leurs sorts provoquent beaucoup de dégâts durant cette période, car les adversaires sont moins développés et résistent peu. D'autres héros seront plus efficaces en fin de jeu, une fois bien expérimentés et équipés. Cet aspect amène encore une autre dimension stratégique. De la géographie précise de la carte (chemins possibles, position des magasins d'items, dénivelé, créatures neutres, bonus) à la position du moindre arbre qui permet de se cacher, DOTA possède une grande profondeur tactique.

Lorsqu'un héros meurt, le joueur perd une quantité d'argent proportionnelle à son niveau et doit attendre la résurrection pendant un temps qui peut aller jusqu'à deux minutes, selon son niveau. Son assassin gagne alors de l'expérience et de l'argent. Les joueurs de DOTA doivent savoir gérer le stress et la frustration, mais plus un héros en tue d'autres, plus il devient fort et les autres relativement faibles. De plus, en attendant la résurrection d'un héros, son équipe est privée d'un de ses membres et le déséquilibre augmente. DOTA favorise donc le jeu d'équipe et la mobilité des joueurs.

Dans des conditions de jeu aussi complexes, il serait illusoire de vouloir développer un jeu équilibré. Cet équilibre est cependant possible car DOTA est un jeu d'équipe. Chaque héros a des compétences naturelles pour contrer un certain héros et les équipes peuvent s'organiser pour équilibrer les forces, en choisissant les bons héros contreurs en début de partie puis en les équipant des items adaptés.

DOTA est un jeu dont les règles et principes sont simples mais son potentiel stratégique est très riche. Sa simplicité explique sa popularité, plus d'un million de joueurs réguliers. Sa richesse stratégique en ont fait une épreuve officielle du championnat du monde de jeu vidéo. De nombreuses traces sont donc disponibles sous la forme de sauvegardes de matchs et leur analyse permet d'appréhender les connaissances néces-

saires à la recommandation stratégique. La suite de cet article présente les résultats obtenus en fouillant ces traces.

2.3. *Le jeu en équipe dans les MOBA*

Un MOBA est un jeu très orienté sur la coopération. Chaque joueur incarne un héros qu'il choisit en début de partie parmi une centaine de héros. Chaque héros possède des particularités (forces et faiblesses) qui contraignent la constitution de l'équipe qui doit répartir les compétences nécessaires sur les cinq héros en optimisant sa réponse à l'équipe adverse.

Au cours du jeu, il est vital pour chaque équipe de préparer des actions coordonnées pour répondre aux actions de l'équipe adverse de la manière la plus efficace possible. Ces actions sont coordonnées spatialement et temporellement, afin de modifier de manière significative la ligne de front, permettre une percée dans le territoire ennemi ou débusquer un adversaire. Les « un contre un » sont possibles dans le jeu, mais l'action isolée d'un seul joueur est rarement déterminante.

Le genre MOBA propose un jeu basé sur un équilibre compétitif dans lequel les retournements de situation sont possibles et souvent décisifs tout au long de la partie, évitant les résultats « certains » trop tôt dans la partie (et dès lors l'abandon du jeu de la part du perdant annoncé).

2.4. *DOTA : Defense of the Ancients*

Le MOBA que nous étudions est une carte personnalisée « simplifiée » (un mode) du jeu WARCRAFT III. Cette carte a été développée par des fans à l'aide de l'éditeur de carte fourni avec le jeu officiel. DOTA (Defense of the Ancients) est l'un des premiers MOBA à avoir vu le jour. Il oppose deux équipes de cinq joueurs sur un même terrain de jeu dans des parties durant de 30 à 45 minutes.

Le choix de DOTA s'est imposé naturellement :

- il s'agit d'un des tous premiers MOBA et les résultats que nous obtenons sur DOTA peuvent se retrouver sur d'autres MOBA ;
- ce jeu est très pratiqué en ligne et bien structuré en différentes ligues ;
- il existe de nombreux fichiers de *replay* permettant de rejouer intégralement un match, tandis que les autres MOBA ne fournissent qu'une feuille de résultat de fin de match. Ces replays conservent la trace de chacune des actions des joueurs.

De plus, le site DOTA-LEAGUE¹ organise de nombreux matchs pour 200 000 utilisateurs. Les statistiques de gain de match sont gérées par le site, permettant de calculer une probabilité de gain pour chaque membre. Les matchs que nous analysons sont de deux types :

1. <http://www.dota-league.com>

SIG NORMAL : (single instant game) matchs alloués dès que dix joueurs sont disponibles, sans exigence de niveau. Les équipes sont constituées de manière à équilibrer la probabilité de victoire ;

SIG POUR VIP : match composés uniquement de joueurs de niveau supérieur, contrôlé par les administrateurs du site, constitution automatique des équipes sur le même principe d'équilibre *a-priori*.

3. Fouille des traces de DOTA

Face à la complexité de DOTA (chaque joueur peut choisir parmi cent héros différents, puis équiper son personnage de six items parmi cent), les experts fournissent des préconisations stratégiques sous forme de guides, indiquant par exemple quel item est adapté pour quel héros.

Nous souhaitons proposer ici un système automatique de recommandation d'items, utilisant des connaissances issues des traces de jeux. Notre système propose également aux joueurs de gérer ses matchs, calculer des statistiques ou des requêtes complexes de fouille de données.

3.1. Traces disponibles

Réalisés dans des conditions similaires (équilibre et niveau des joueurs), 550 matchs en cinq contre cinq ont été analysés, pour proposer des recommandations d'items adaptés aux héros. Pour cela, nous avons utilisé le tableau de fin de match (figure 4) produit par le jeu, qui fournit des indicateurs pour chaque joueur : nombre de héros tués, de décès, de créatures tuées, items d'équipement, *etc.* L'analyse de la sauvegarde du jeu permettrait une analyse nettement plus fine, notamment pour mesurer les évolutions temporelles, mais son codage n'est pas ouvert, ce qui rend son exploitation chronophage en reverse-engineering.

Notons que cette étude a été réalisée sur un petit corpus, et il est difficile d'en tirer des conclusions immédiatement exploitables. Une autre étude est en cours, utilisant cette fois la sauvegarde du jeu, c'est-à-dire toutes les traces d'interaction entre le joueur et la machine (achat d'item, changement de position, déclenchement de sorts). Cette étude portera sur 3678 matchs et devrait fournir des résultats plus fins. En particulier, nous pourrions utiliser l'information temporelle de ces traces plutôt qu'un instantané de fin de partie.

3.2. Recommandations stratégiques

Le tableau de fin de jeu fournit des informations précieuses, en particulier il indique les items de chaque héros. Ces informations peuvent être extraites par des techniques de traitement d'image [GRE 08] puis de reconnaissance automatique de texte. Les données résultantes décrivent des héros par des items d'équipement.

	ReggJuckts	ADs.w-Jin	cocheese	Lucki	Amiaq	Asipu
Level	25	22	18	23	25	25
Items	[Icons]	[Icons]	[Icons]	[Icons]	[Icons]	[Icons]
Current Gold	1994	72	658	1235	8	964
Hero K/D	12/7	13/8	7/12	7/13	7/16	23/9
Wards	6	0	0	0	0	0
Tower Stats	2/0	0/1	0/0	1/0	0/1	0/0
Creep Stats	315/33	116/3	61/2	105/0	246/2	278/4
Neutral Kills	7	65	20	2	67	29
Hero Kill Gold	3115	3635	1885	2265	2210	6415
Time Dead	756	856	1008	14:44	20:20	9:12
Gold Lost	3570	4020	4560	6630	9150	4140
Consumables	14	4	2	4	4	2
Double Kills	1	0	2	0	0	3
Triple Kills	0	0	1	0	0	0
Longest Spree	3	5	3	2	1	10
Kill Details	[Icons]	[Icons]	[Icons]	[Icons]	[Icons]	[Icons]
	1/2	4/2	1/5	2/6	1/8	2/1
	4/3	4/0	2/0	1/0	2/1	2/4
	3/1	0/2	0/5	2/3	2/1	5/1
	4/0	3/2	1/1	2/2	2/1	6/2
	0/1	2/2	3/1	0/1	0/5	8/1
Left At	Here	Here	Here	Here	Here	End
Winner	The Sentinel					

Figure 4 – Une partie du tableau de fin de jeu (seulement six joueurs). Pour chaque héros, on connaît son niveau, son équipement, une série de statistiques puis un tableau de contingence indiquant qui a tué qui.

Dans ces données, nous avons extrait des motifs émergents forts [SOU 05] pour chaque héros, c'est-à-dire des combinaisons fréquentes d'items apparaissant significativement davantage pour un héros donné que les autres. Pour des raisons de lisibilité, la figure 5 ne montre que les items fréquents, mais les combinaisons sont bien sûr intéressantes. On trouve dans ce tableau une confirmation des préconisations émises par les experts, consultables dans les forums dédiés.

Ce tableau confirme par exemple les faits suivants :

- les héros qui ont la meilleure chance de gagner sont les héros utiles à l'équipe en fournissant un *support* en régénération de vie (OmniKnight, Dazzle, Enchanteress), de points de magie (Ezalor), en amélioration d'armure (Treant), de dégâts (Lycan) ou en surveillance de la carte (Weaver). Les héros d'équipe qui disposent de capacité d'immobilisation de masse, comme TideHunter et REXXAR, sont également plébiscités.
- certains héros ont de bonnes capacités à éliminer leurs adversaires (Luna, Maiden), d'autres résistent particulièrement bien aux agressions, en devenant immortels par exemple (Leoric, Abaddon), ou invisibles (Treant, Riki).

Click on the colum headers to change the sort order.












Name	Image	WinLose	KillDeath	Kills	Deaths	CrKills/Lvl	CrDeny/Lvl	Items	Pick
Abaddon		0.6	3.3	4.2	5.2	5.2	4		45
Akasha		0.7	2.2	7.2	6.6	6.1	6.5		50
Alchemist		1.3	2	2.7	5.8	5.6	2.9		41
Balanar		0.8	1.7	6	6	4	2.1		44
BaneElemental		0.6	1.1	5.1	7.4	3.9	5.6		35
Barathrum		0.7	1.1	5.7	6.9	4.3	1.8		66
BloodSeeker		0.7	2.4	8.3	6.6	5	6.7		61
Bone		0.7	2.1	6.9	5.4	3.9	4.2		38
Bounty		1	3	7	4.6	4	3.9		62
BroodMother		1.1	2.1	6	6.5	5.1	4.2		56
Chen		0.9	1.9	4	6.6	4.4	2		30
Crixalis		1.1	1.7	5.6	6.7	6.4	4		72
DarkSeer		0.8	1.3	3.9	5.3	10.3	1.5		28
Dazzle		1.8	2.1	4.3	7.3	5.2	8		47
Dragon		1.4	3.2	6.8	5	5.5	5.1		85
EarthShaker		1.3	1.9	4.9	6.4	5	2.9		115
Enchanteress		0.9	2.7	5.3	5.1	4.6	6.2		44
Enigma		1.3	1.2	4.5	6.8	5.8	6.7		35
Ezalor		0.9	2.2	3.5	4.8	8.8	1.8		33
FacelessVoid		0.8	2	4.9	5.5	4.5	4.4		53

Figure 5 – Exemple de résultat de requête générale sur les caractéristiques de chaque héros : rapport de gain des matchs, meurtre/décès, efficacité devant les armées autonomes, items fréquemment achetés, nombre de héros sur l'échantillon.

– les héros qui gagnent le plus d'argent avec les armées autonomes sont les mages qui font beaucoup de dégâts de zone.

Le tableau récapitulatif indique les items fréquemment choisis par les joueurs. Si le corpus est de bonne qualité, obtenu dans des conditions homogènes d'équité de match et de niveau des joueurs, ces indications permettent d'émettre, par exemple, les préconisations suivantes :

– l'item Aghanim's Scepter améliore le sort ultime de certains héros et on les retrouve dans le tableau : Luna, Leshrac, Lich, WitchDoctor, Rhasta, Furion, Ogre, Lion, Zeus.

– la dague, qui permet de se téléporter sur une courte distance, surprend l'ennemi et permet d'initier un combat. Elle est utilisée par tous les héros qui disposent d'une immobilisation de masse : Crixalis, Leviathan, Magnataur, Maiden, Lina.

– la plupart des héros achètent les bottes de téléportation, qui augmentent énormément la vitesse de déplacement et permettent de se rendre instantanément sur une portion amie de la carte. Cet item favorise le jeu d'équipe et la rapidité de réaction, en défense comme en attaque.

– la plupart des héros d'agilité, qui doivent améliorer les dégâts qu'ils causent, achètent les items qui augmentent leur fréquence de tir et la puissance de l'impact,

comme Butterfly.

- pour éviter qu’un héros n’accumule trop de pouvoirs irresistibles, certains items ou sorts incluent un *effet d’orbe*, non cumulable. En particulier, les items de vol de vie, qui rendent en point de vie une portion des dégâts infligés, ont tous cet effet, sauf Vladimir’s Offering. Ce dernier sera utilisé par les héros dont le sort de base a l’effet d’orbe (Ursa, Broodmother).

- le Mekansm, qui redonne instantanément de la vie et un bonus d’armure, est utilisé par les héros qui invoquent des créatures (Furion, Visage, Meepo) ou pour améliorer le support des partenaires.

- pour les tanks, qui ont besoin de beaucoup de vie et de régénération, on trouve les items qui améliorent ces caractéristiques : Heart of Tarrasque, Satanic, Hood of Defiance.

Nous avons également extrait des combinaisons de héros dont l’association influence significativement l’issue du match. Par exemple, les combinaisons autour de Dragon, EarthShaker, Mirana, Leoric, TideHunter et Treant sont fréquemment dans l’équipe gagnante.

Ce type de connaissance permet la mise en évidence de héros ou d’associations de héros contreurs d’un héros particulier. Soumises à l’expertise, ces connaissances ont été validées par la communauté.

La question reste posée de savoir si la masse suit l’avis de l’expert, ou si chaque joueur est un expert à son échelle : notre méthode ne permet pas de trancher mais de valider la convergence des avis respectifs.

4. Recherche et validation d’indices topologiques

Cette section présente nos expériences sur 1120 matchs de DOTA, où nous étudions la pertinence d’indices topologiques sur la configuration spatiale des joueurs. Aucune connaissance *a-priori* sur DOTA n’est utilisée, exceptée celle qui permet de déterminer la vitesse de déplacement, utile pour calculer la position d’un joueur.

4.1. Constitution du corpus

Les parties analysées ici proviennent du site DOTA-LEAGUE (*cf.* section 2.4). Notre corpus est issu des matchs déposés par les utilisateurs des parties instantanées, 787 parties de niveau normal et 333 de niveau VIP. Notons que les parties sont généralement déposées en cas de réclamation pour arbitrage par la suite. Ceci induit un biais dans notre étude, sur lequel nous reviendrons à la section 4.5.

4.2. Indices géographiques - topologiques

Pour chaque match, nous calculons pour chaque seconde et pour chaque équipe :

- l'aire du polygone qu'ils décrivent ;
- la capacité de regroupement : moyenne des distances au barycentre ;
- l'inertie du groupe : écart type des distances au barycentre ;
- le diamètre : la plus grande distance entre deux points du polygone ;
- la distance de son barycentre à son propre but (coin bas gauche ou haut droit selon l'équipe, opposé au but adverse).

Pour pouvoir comparer les ordres de grandeur de ces métriques, on utilise en pratique la racine carrée de l'aire qui donne une mesure homogène à une distance. Les valeurs sont normalisées pour que leur maximum soit à 100. On peut donc considérer que les distances représentent un pourcentage de la distance entre les deux buts.

4.3. Une première étude statistique

La première phase consiste à étudier les différences statistiques entre les indices des équipes victorieuses et perdantes. Nos données concernant des mesures identiques effectuées aux mêmes instants pour les deux équipes ; les échantillons sont donc appariés et leur étude porte sur les **différences d'indice** entre chaque équipe, à chaque seconde. Chaque match fournit une moyenne de ces différences, un écart type et un écart réduit².

corpus	aire	regroup ^t	inertie	diamètre	distance	
VIP (333 matches)	0,28	-4,5	-1,7	4,3	6,9	moyenne
	30,1	18,2	7,25	24,1	38,1	écart
	0,4	-12,4	-12,1	9,1	9,2	écart réduit
Normal (787 matches)	0,5	-4,6	-1,8	4,7	5,9	moyenne
	30,4	18,6	7,4	24,3	37,6	écart
	1,1	-12,3	-11,9	9,9	8,3	écart réduit

Tableau 1 – Analyse statistique des **différences** d'indices entre les équipes gagnantes et perdantes. Les valeurs fournies pour chaque corpus (VIP ou Normal) sont les moyennes des moyennes, écart type et écart réduit des différences d'indice.

La première colonne de la table 1 indique que l'aire du polygone décrit par les joueurs est très variable, mais peu significative pour le gain du match.

En revanche, la capacité de regroupement, l'inertie et dans une moindre mesure le diamètre et la distance, sont nettement plus significatifs. L'équipe qui gagne a une meilleure capacité de regroupement, une inertie plus faible. Ces indices indiquent un avantage à l'équipe qui a la meilleure mobilité.

La pertinence statistique de ces indices confirme des connaissances usuelles sur le jeu en équipe et les qualités à développer : contrôle du terrain, mobilité, agressivité,

2. Si μ est la moyenne des différences d'indice pour les n échantillons, σ son écart type, l'écart réduit est $\sqrt{n} \cdot \frac{\mu}{\sigma}$

repli défensif, *etc.* Les indices topologiques que nous calculons, simples à mettre en œuvre, s'avèrent judicieux pour l'analyse des pratiques en sport électronique collectif.

De plus, on constate peu de différences entre le niveau normal et les VIP : à niveau de joueurs homogènes, l'équipe la plus collective et groupée l'emporte. Nous estimons que cette proximité vient confirmer notre intuition que le jeu en équipe dans les MOBA est plus déterminant que le niveau individuel des joueurs.

4.4. Validation de la pertinence des indices

Nous avons mené quelques expériences en classification supervisée. Cette méthode de décision permet de calculer un modèle pour la prédiction d'une variable. Le modèle, calculé sur une partie des données, est évalué sur l'autre en comparant la prédiction avec la valeur originale. Outre son potentiel décisionnel, la classification supervisée permet de valider la pertinence des descripteurs des données.

Avec la plateforme RapidMiner³, qui fournit une grande variété de modèles, nous avons cherché à prédire le gain du match à l'aide de nos indices topologiques. Pour chaque partie du corpus, le classifieur calcule un modèle à partir des indices (aire, regroupement, inertie, distance) moyennés sur la durée du match, différenciés selon les équipes.

Avec une large variété de modèles (arbres de décision, bayésien naïf, réseau de neurones, séparateurs à vaste marge, analyse discriminante, *etc.*[COR 10]), nous obtenons des scores très encourageants :

- 95% d'aire sous la courbe ROC [FAW 03]. Cette mesure indique la capacité à classer une équipe qui gagne au-dessus d'une équipe qui perd.
- 85% de précision : c'est la proportion d'équipe déclarées vainqueur qui le sont réellement.
- 90% de rappel : c'est la proportion d'équipes gagnantes retrouvées.

L'interprétation des arbres de décision calculés indique que la variable déterminante est la capacité de regroupement (moyenne des distances au barycentre), puis la distance au but.

Nous en concluons que ces indices topologiques sont pertinents non seulement pour prédire l'issue d'un match de MOBA mais également pour préciser quels sont les facteurs topologiques déterminants : capacité de regroupement et offensivité. Cette dernière évaluation permet de valider l'ensemble de notre méthode : calcul d'indices topologiques élémentaires, indépendants de la nature du jeu, mais utilisables pour anticiper et analyser le résultat.

4.5. Biais et limites de l'approche

Notre étude comporte de nombreux biais :

3. <http://www.rapid-i.com>

1) sur la constitution du corpus :

- les parties étudiées ici sont déposées par les joueurs pour être soumises à l'expertise d'un administrateur du jeu car un événement spécial s'est produit : départ intempestif d'un joueur, injures, comportement anti-sportif, *etc.* Il est certain que les parties étudiées sont de qualité médiocre ;

- les équipes sont constituées à partir de la file d'attente des joueurs, de façon à équilibrer les probabilités de gain (celles de chaque joueur sont connues). Cependant, les joueurs ne se connaissent pas préalablement et cela introduit un biais certain.

2) sur les aspects techniques de l'analyse des traces :

- les positions calculées sont le résultat d'une estimation. En effet, l'information n'est pas disponible dans les traces, elle est reconstituée à partir des ordres de mouvement indiqués par les joueurs (en moyenne un par seconde). Néanmoins, la mort d'un héros permet de certifier la position de sa renaissance et l'analyse des mouvements reconstitués montre qu'ils sont réalistes.

- seules les parties ayant été à leur terme ont été analysées, bien que l'abandon avant le terme soit fréquent. Ce choix restreint notre étude aux matchs où l'équilibre a certainement été plus constant.

Nos perspectives concernent l'étude des matchs de championnats officiels. Nous bénéficierons ainsi d'une segmentation par niveau plus fine que la distinction normal/VIP, et d'indices topologiques relatifs à des équipes de joueurs ayant l'habitude d'évoluer ensemble.

5. Enjeux pour l'analyse du sport réel

Nous terminons cet article par quelques réflexions plus « philosophiques » sur les enjeux de l'analyse du sport électronique pour l'étude du sport réel. Dans un premier temps, nous examinons les caractéristiques communes entre les deux types de pratique, puis l'impact de l'analyse de traces pour le sport réel.

5.1. *Transposition au sport réel*

Les sémiologies des sports électroniques et réels coïncident sur de nombreux plans. La notion de mort virtuelle est présente dans le sport classique. En 1975, Bernard Jeu écrit : « Le sport est mort jouée et violence rituelle, mort jouée c'est-à-dire symbolique, c'est-à-dire une mort qui n'est pas réellement mort, violence rituelle c'est-à-dire violence codifiée, limitée, c'est-à-dire violence qui n'est pas réellement violence » [JEU 75].

Très présentes dans les MOBA, les notions d'incertitude du résultat et de fluctuations sont deux des trois composantes du concept d'intensité compétitive [SCE 09]. La troisième réside dans les enjeux de la compétition. Une épreuve avec des enjeux sera plus motivante pour les joueurs et attractive pour les suiveurs qu'une succession de matchs amicaux même incertains. Ceci justifie la constitution de ligues reliées entre

elles par un système de promotions-relégations : les meilleurs d'une division accèdent à la division supérieure tandis que les derniers descendent en division inférieure.

En sport électronique dans le MOBA comme dans le sport réel, la confrontation est attractive pour les joueurs si elle réunit (entre autres) deux critères : des rebondissements possibles en permanence et une durée limitée. Dans les MOBA, la limitation de durée est induite par l'amélioration des compétences des joueurs, l'importance des gains au fil du match et la sévérité croissante des pénalités en cas de mort. Cette notion de durée limitée est présente en sport : le tie-break a été institué au tennis pour éviter des matchs interminables et faciliter leur placement dans les grilles télévisuelles ; au volley, on est passé d'une configuration où il fallait avoir le service pour pouvoir marquer un point à une configuration où chaque action occasionne la marque d'un point, toujours dans le souci de limiter la durée des matchs.

5.2. Outils pour le sport réel

L'étude des sports électroniques est peu coûteuse car les traces sont abondantes et facilement disponibles. Même si cette pratique n'implique ni effort ni confrontation physique⁴, de multiples parallèles peuvent être tracés entre les deux domaines, d'où notre parti-pris d'utiliser le terme de cyber-athlète :

- les jeux vidéo permettent une analyse sociologique des comportements coopératifs. L'analyse des mondes virtuels est potentiellement riche de nombreux enseignements.
- en particulier selon l'axe stratégiques du jeu collectif, de nombreuses illustrations des modes classiques de confrontation sportive sont disponibles dans des univers virtuels.
- à l'instar du sport réel avec lequel il partage un vocabulaire important, les données de performance collective/individuelle peut-être analysées, expliquées et améliorées au cours d'un suivi longitudinal.

Notons que des logiciels dédiés à l'analyse de séquences vidéo sont disponibles sur le marché et proposent des fonctionnalités pour mesurer la performance d'un individu en sport réel : temps de course/repos, vitesse instantanée, accélération, *etc.*

Les sports modernes à dimension (télé)spectaculaire sont ainsi propices à générer des statistiques. Cette capacité de numérisation ou digitalisation des actions de jeu [LOR 96] est très marquée dans les sports nord-américains et émergente dans le football. Il s'agit pourtant là d'un enjeu stratégique de développement du sport spectacle. Par exemple, la Ligue de Football Professionnel a lancé un programme de statistiques officielles de sa compétition majeure (la Ligue 1) qui comptabilisent de 1000 à 1500 informations par match. Elles sont mises à la disposition des clubs, diffuseurs, parraineurs et fans. Dans la même logique, les diffuseurs utilisent de plus en plus l'imagerie 3D pour décortiquer sous différents angles une phase de jeu marquante.

4. quoique dans les tournois, les équipes jouent face à face ; les manifestations physiques peuvent influencer : unité vestimentaires, vocalises, ...

Loin d'être anecdotiques, ces innovations permettent d'optimiser la compréhension du déroulement du jeu mais aussi le « matchday experience », notion clé en mercatique du sport.

Or, les sports spectaculaires modernes présentent des caractéristiques communes avec les MOBA : deux équipes adverses d'un niveau comparable se confrontent. Ce qui se joue alors, c'est la transition de l'incertitude (début de la partie) à la certitude (terme de la partie). Au fur et à mesure que l'on se rapproche du terme d'une partie, le champ ouvert des possibles se restreint jusqu'à lever toute l'incertitude sur l'équipe victorieuse. Ce qui mobilise l'intérêt des spectateurs, c'est le processus de dissipation de cette incertitude de finalité. Pour reprendre Roland Barthes, on pourrait considérer que dans les MOBA comme dans le « sport réel », il existe une « montée de la fortune » qui nécessite « une science du futur » [BAR 57].

Ainsi, nos méthodes topologiques, de la même façon qu'elles participent à l'aide à la décision et à la compréhension du déroulement d'une partie de DOTA, pourraient s'appliquer au « sport réel » qui s'y prête par nature (adversaire, partenaires, incertitude) et par besoin (fournir des outils de compréhension d'une partie).

6. Conclusion - Perspectives

Nous avons montré, avec des mesures topologiques simples, caractérisant la configuration spatiale d'une équipe de joueurs de MOBA, que nous obtenions des indices pertinents pour prédire le gain d'un match. Malgré les biais dus à la constitution du corpus et aux outils utilisés pour extraire l'information, les traces de configurations spatiales requièrent peu de calcul ou de connaissance et sont pertinentes pour l'étude et l'analyse de l'équilibre compétitif dans le sport électronique d'équipe.

Nous sommes convaincus que ces méthodes peuvent être appliquées à des sports réels, sous réserve bien-sûr de la disponibilité des traces, ce qui suppose l'utilisation d'appareillages sensiblement plus lourds que dans le cas des MOBA. Si des mises en œuvre effectives sont en cours, notamment en Handball, il paraît toujours nécessaire de poursuivre les travaux sur le jeu vidéo. À terme, l'idée est de prolonger l'étude sur le plan du relevé des traces et des méthodes d'analyse de données qui leurs sont appliquées. L'objectif suivant sera de mettre en évidence des profils temporels permettant d'affiner la perception de l'évolution d'un match.

7. Bibliographie

- [AND 09] ANDREFF W., « Équilibre compétitif et contrainte budgétaire dans une ligue de sport professionnel », *Revue économique*, vol. 60, n° 3, 2009, p. 591-633.
- [BAR 57] BARTHES R., *Mythologies*, éditions du Seuil, Paris, 1957.
- [COR 10] CORNUÉJOLS A. M. L., *Apprentissage artificiel - Concepts et algorithmes*, Eyrolles, Paris, 2010.
- [FAW 03] FAWCETT T., « ROC Graphs : Notes and Practical Considerations for Researchers », Tech Report n° HPL-2003-4, 2003, HP Laboratories.

- [GRE 08] GREYC LABORATORY, « PANDORE version 6 », <http://www.greyc.ensicaen.fr/EquipeImage/Pandore>, 2008.
- [JEU 75] JEU B., *Le sport, la mort, la violence*, Éditions Universitaires, Paris, 1975.
- [LOR 96] LORET A., *Génération glisse*, Éditions autrement, Paris, 1996.
- [MOR 04] MORA P., « Quand chacun joue son rôle dans le débat e-sportif », <http://www.planetjeux.net/index.php3?id=article&rub=read&article=060>, 2004.
- [PAS 05] PASQUIER N., TAOUIL R., BASTIDE Y., STUMME G., LAKHAL L., « Generating a Condensed Representation for Association Rules », *Journal Intelligent Information Systems (JIIS)*, vol. 24, n° 1, 2005, p. 29-60, Kluwer Academic Publishers.
- [RIO 08a] RIOULT F., « DotA : a question of time », <http://forums.dota-allstars.com/index.php?showtopic=220426&hl=>, 2008.
- [RIO 08b] RIOULT F., ZANUTTINI B., CRÉMILLEUX B., « Apport de la négation pour la classification supervisée à l'aide d'associations », D'ALCHÉ BUC F., Ed., *Actes de la 10e Conférence d'Apprentissage (CAP 2008)*, Cépaduès éditions, 2008, p. 183–196.
- [SCE 09] SCELLES N., « L'incertitude du résultat, facteur clé de succès du spectacle sportif professionnel. L'intensité compétitive des ligues : entre impacts mesurés et effets perçus », PhD thesis, Université de Caen Basse-Normandie, Caen, France, 2009.
- [SOU 05] SOULET A., CRÉMILLEUX B., RIOULT F., « *Post-proceedings of the International Workshop on Knowledge Discovery in Inductive Databases (KDID'04) co-located with the ECML-PKDD'04* », chapitre Condensed Representation of EPs and Patterns Quantified by Frequency-Based Measures, p. 173-190, Springer, 2005.