

L'Intelligence Artificielle peut-elle contribuer davantage à l'amélioration du système de la VAR voire le remplacer ?

Travail de Bachelor réalisé en vue de l'obtention du Bachelor HES

par :

Diogo CANAS ALMEIDA

Conseiller au travail de Bachelor :

Patrick JOSET, maître d'enseignement HES

Genève, le 02 septembre 2024

Haute École de Gestion de Genève (HEG-GE)

Filière Informatique de gestion

Déclaration

Ce travail de Bachelor est réalisé dans le cadre de l'examen final de la Haute école de gestion de Genève, en vue de l'obtention du titre Bachelor of Science HES-SO Informatique de gestion.

L'étudiant a envoyé ce document par email à l'adresse remise par son directeur de mémoire afin qu'il l'analyse à l'aide du logiciel de détection de plagiat COMPILATIO.

L'étudiant accepte, le cas échéant, la clause de confidentialité. L'utilisation des conclusions et recommandations formulées dans le travail de Bachelor, sans préjuger de leur valeur, n'engage ni la responsabilité de l'auteur, ni celle du conseiller au travail de Bachelor, du juré et de la HEG.

« J'atteste avoir réalisé seul le présent travail, sans avoir utilisé des sources autres que celles citées dans la bibliographie. »

Fait à Genève, le 02 septembre 2024

Diogo CANAS ALMEIDA

Remerciements

J'aimerais remercier Mr. Patrick Joset, qui m'a suivi tout au long de la rédaction de ce Travail de Bachelor et qui a su m'aider, par son expérience et ses conseils, à améliorer mon Travail.

J'aimerais également remercier Mr. Lionel Tschudi et Mr. Ilyes Talbi pour avoir accepté mes interviews et avoir répondu à mes questions de façon claire et concise. Je remercie aussi toutes les personnes qui ont pris le temps de répondre à mon sondage.

Résumé

Depuis quelques années, le football utilise une technologie pour assister les arbitres dans leurs prises de décisions : la VAR. Cette dernière s'est maintenant installée dans le monde du ballon rond et a été améliorée depuis, notamment avec l'avènement de l'intelligence artificielle. L'IA a permis le développement du hors-jeu semi-automatique, une technologie qui détecte automatiquement les hors-jeux et les signale aux arbitres vidéo. Depuis son implémentation et son succès, les amateurs de football se demandent si l'IA va continuer d'évoluer dans le système de la VAR ou non.

Dans ce mémoire, je commence par présenter la VAR et l'IA avant d'essayer de comprendre comment les deux peuvent encore se "mélanger". Je décris les avantages et les inconvénients de plus d'IA dans la VAR, les avis des acteurs du monde du football ou bien encore les perspectives de la VAR pour l'avenir. Toutes ces étapes sont réalisées dans le but de répondre à la problématique : l'Intelligence Artificielle peut-elle contribuer davantage à l'amélioration du système de la VAR voire le remplacer ?

Utilisation de l'IA dans ce Travail de Bachelor

Tout au long de la rédaction de ce Travail de Bachelor, j'ai utilisé la version GPT-4 du modèle d'intelligence artificielle ChatGPT développée par OpenAI (disponible à l'adresse suivante : <https://chatgpt.com/>). ChatGPT est une IA générative qui génère du texte et qui est spécialisée dans le dialogue.

J'ai utilisé cette IA dans deux types de situations différents. Tout d'abord, je l'ai utilisé pour me guider avant même de démarrer la rédaction de ce Travail. J'ai pu développer ma table des matières en m'aidant de ChatGPT et de ses suggestions de thème à aborder. J'ai également utilisé cet outil pour me corriger, au niveau de l'orthographe mais aussi de la grammaire. Certaines expressions ou phrases que j'utilisais ne sonnaient pas toujours français et je pouvais utiliser ChatGPT pour les vérifier. Voici un exemple de prompt utilisé pour vérifier une expression :

*"Est-ce que **"l'éthique sera respectée"** est une expression correcte en français ?"*

Ce à quoi il me répondait :

*"Oui, l'expression **"l'éthique sera respectée"** est correcte en français. Elle signifie que les principes moraux ou les règles éthiques seront honorés ou suivis dans une situation donnée."*

En aucun cas je n'ai utilisé cet outil pour générer du texte et pour écrire à ma place. Tout ce qui a été écrit dans ce mémoire l'a été fait à base de mes connaissances et de toutes les sources présentes dans la bibliographie.

Table des matières

Déclaration	i
Remerciements	ii
Résumé	iii
Utilisation de l'IA dans ce Travail de Bachelor	iv
Liste des figures	viii
1. Introduction	1
1.1 Contexte	1
1.1.1 Présentation de mon sujet	1
1.1.2 Qu'est-ce que la VAR ?.....	1
1.1.3 Importance de la VAR dans le football moderne	3
1.1.4 Problématiques et controverses actuelles autour de la VAR.....	3
1.2 Objectifs de la recherche	4
1.3 Méthodologie	4
2. La VAR.....	6
2.1 Historique et évolution de la VAR	6
2.2 Fonctionnement actuel de la VAR	7
2.2.1 Technologies utilisées.....	7
2.2.1.1 Les caméras	7
2.2.1.2 La goal-line technology	8
2.2.1.3 Le hors-jeu semi-automatique	8
2.2.2 Processus d'utilisation de la VAR	10
2.3 Avantages et limitations de la VAR actuelle.....	11
2.3.1 Avantages de la VAR.....	11
2.3.1.1 Correction des erreurs humaines.....	11
2.3.1.2 Jeu plus propre	11
2.3.1.3 Arbitres plus confiants.....	11
2.3.2 Limitations de la VAR.....	11
2.3.2.1 Interruptions du jeu	11
2.3.2.2 Inégalités selon les compétitions	11
2.3.2.3 Réduction de l'émotion spontanée.....	12
2.4 Comparaisons des décisions avec et sans VAR	12
3. L'intelligence artificielle	14
3.1 Introduction à l'IA.....	14
3.2 Les différents types et catégories d'IA	14
3.2.1 Les différents types d'IA.....	15
3.2.1.1 L'IA descriptive.....	15
3.2.1.2 L'IA prédictive.....	15
3.2.1.3 L'IA prescriptive.....	15
3.2.2 Les différentes catégories d'IA.....	15
3.2.2.1 L'IA faible	15

3.2.2.2	L'IA forte.....	16
3.2.2.3	L'IA hybride	16
3.2.3	Le Machine Learning	16
3.2.3.1	Apprentissage supervisé.....	17
3.2.3.2	Apprentissage non supervisé.....	17
3.2.3.3	Apprentissage par renforcement.....	17
3.3	Applications de l'IA dans le sport.....	17
4.	Qu'est-ce que l'IA peut apporter de plus à la VAR ?.....	19
4.1	Analyse de l'environnement.....	19
4.2	Détection automatique des fautes.....	20
4.2.1	Fonctionnement du DAF	21
4.2.2	Avantages du DAF	21
4.2.2.1	Uniformité des décisions	21
4.2.3	Limitations du DAF	21
4.2.3.1	Biais du traitement des images.....	21
4.2.3.2	Complexité de la technologie.....	22
4.2.3.3	Coût élevé.....	22
4.3	Assistance vocale à l'arbitre principal	22
4.3.1	Fonctionnement de l'AVA.....	23
4.3.2	Processus d'utilisation de l'AVA.....	24
4.3.3	Avantages de l'AVA	24
4.3.3.1	Accès aux informations.....	24
4.3.3.2	Précision des décisions	24
4.3.4	Limitations de l'AVA	24
4.3.4.1	Reconnaissance de la voix	24
4.3.4.2	Mise à jour des informations en temps réel	25
4.4	Autres technologies implémentables	25
4.4.1	Détection des sorties de balle.....	25
4.4.2	Calcul du temps additionnel automatisé	25
5.	Défis de l'implémentation de l'IA dans la VAR	26
5.1	Éthique de l'intelligence artificielle	26
5.1.1	Équité.....	26
5.1.2	Explicabilité	26
5.1.3	Robustesse	27
5.1.4	Transparence.....	27
5.1.5	Confidentialité des données.....	27
5.2	Défis éthiques, réglementaires et politiques.....	27
5.2.1	Adaptation du règlement.....	27
5.2.2	Adaptation / Déshumanisation du corps arbitral	28
5.2.3	Responsabilité en cas d'erreur.....	28
5.2.4	Indépendance des ligues / fédérations	29
5.3	Avis des parties prenantes	29
5.3.1	Avis du public.....	29

6. Perspectives	33
6.1 Innovations technologiques et futur de la VAR	33
6.2 Futur de l'IA dans la VAR	34
6.3 L'IA va-t-elle remplacer la VAR ?	35
7. Conclusions	37
7.1 Résumé des points clés	37
7.2 Réponses aux questions de recherche	37
7.2.1 Est-ce que la VAR est suffisamment efficace ?	37
7.2.2 Qu'est-ce que l'IA peut apporter de positif à la VAR ?	38
7.2.3 Quelles sont les nouvelles technologies utilisant l'IA qui pourraient voir le jour au sein de la VAR ?	38
7.2.4 L'IA, simple assistant ou remplaçant de la VAR ?	38
7.3 Limites du sujet	39
Glossaire	40
Bibliographie	41
Annexe 1 : Interview de Lionel Tschudi	45
Annexe 2 : Interview d'Ilyes Talbi	53
Annexe 3 : Sondage au public	57

Liste des figures

Figure 1 - La salle de la VAR pendant la Coupe du Monde de la FIFA en 2018.....	2
Figure 2 - Disposition des caméras pour la Coupe du Monde au Qatar en 2022	7
Figure 3 - Schéma explicatif de la règle du hors-jeu	9
Figure 4 - Un arbitre effectuant une analyse en bord de terrain.....	10
Figure 5 - Compte-rendu de la VAR en PL pendant la saison 2023-2024	13
Figure 6 - Machine Learning et Deep Learning dans l'IA	16
Figure 7 - Graphique des réponses à la 2ème question de mon sondage.....	30
Figure 8 - Graphique des réponses à la 5ème question de mon sondage.....	30
Figure 9 - Graphique des réponses à la 6ème question de mon sondage.....	31
Figure 10 - Graphique des réponses à la 7ème question de mon sondage.....	31
Figure 11 - Graphique des réponses à la 9ème question de mon sondage.....	32
Figure 12 - Graphique des réponses à la 10ème question de mon sondage.....	32
Figure 13 - 1ère et 2ème questions de mon sondage.....	57
Figure 14 - 3ème et 4ème questions de mon sondage	57
Figure 15 - 5ème et 6ème questions de mon sondage	58
Figure 16 - 7ème et 8ème questions de mon sondage	58
Figure 17 - 9ème et 10ème questions de mon sondage	59

1. Introduction

1.1 Contexte

1.1.1 Présentation de mon sujet

Depuis sa création au 19ème siècle, le football a toujours été en constante évolution. Les règles ont évolué, mais également les tactiques et la façon de jouer. Mais le progrès le plus important de ces dernières années dans ce sport est sans aucun doute la VAR, ou Video Assistant Referee.

Ce système d'aide à l'arbitrage est une révolution pour le football mais aussi pour tous les sports ayant le même type de technologie, comme le rugby ou le football américain. Il a permis d'améliorer la façon d'arbitrer les matchs et d'éradiquer certaines erreurs commises par les arbitres, telles que les hors-jeux mal signalés. Lors de mon interview avec Lionel Tschudi, ce dernier me disait :

"La VAR c'est quoi ? Nous on faisait une erreur que tout le monde avait vu dans le stade, que tout le monde avait vu à la télé, puis les seuls qui n'avions pas vu c'est nous sur le terrain."
(Lionel Tschudi 2024)

Comme toutes les technologies aujourd'hui, la VAR n'a pas été épargnée par l'avènement de l'intelligence artificielle. En effet, en 2022 lors de la Coupe du Monde au Qatar, la FIFA, l'entité responsable de l'organisation de la compétition a mis en place une nouvelle technologie au sein de la VAR : le hors-jeu semi-automatique.

À la suite de la mise en place et du succès de cette dernière technologie, nous pouvons nous attendre à encore plus d'intelligences artificielles dans le football et plus précisément dans la VAR. Plus ces technologies se multiplieront, plus le rôle des arbitres et officiels dans le football sera réduit. J'ai donc choisi ce sujet pour savoir si l'arbitrage dans le football est simplement en train de s'améliorer ou si le métier d'arbitre est en voie de disparition.

1.1.2 Qu'est-ce que la VAR ?

L'assistance vidéo à l'arbitrage, plus communément appelée VAR, est un système d'assistance vidéo utilisé par les arbitres dans le football. Utilisée pour la première fois, à titre expérimental, lors d'un match entre l'Ajax Amsterdam et Willem II Tilburg en septembre 2016, cette technologie s'est implantée au fur et à mesure dans toutes les grandes compétitions de football et est aujourd'hui devenue un outil indispensable à la bonne tenue de l'arbitrage des matchs professionnels. (Le Temps 2018).

L'objectif de la VAR est de venir en aide à l'arbitre principal, celui qui se trouve sur le terrain, dans ses prises de décisions sur des actions spécifiques. Pour ce faire, un arbitre

assistant vidéo, accompagné d'un ou plusieurs adjoints ainsi que d'un ou plusieurs techniciens vidéo, se trouvent dans une pièce équipée de plusieurs écrans. Ils ont un accès illimité aux images produites par le diffuseur et peuvent communiquer avec l'arbitre principal. (IFAB s.d.).



Figure 1 - La salle de la VAR pendant la Coupe du Monde de la FIFA en 2018
On compte quatre types d'actions sur lesquelles la VAR peut intervenir et influencer l'arbitre dans sa prise de décision :

1. Les buts validés ou annulés

Dès qu'un but est inscrit, qu'il soit momentanément annulé par les arbitres présents sur le terrain ou non, l'action est analysée par la VAR.

2. Les pénaltys sifflés ou non sifflés

Lorsqu'un pénalty est suspecté par la VAR, l'action est analysée par cette dernière.

3. Les cartons rouges directs

Un deuxième carton jaune, qui se transforme en un carton rouge, ne peut pas être analysé par la VAR, même si c'est une erreur.

4. Les erreurs d'identité

Il arrive que l'arbitre principal se trompe de joueur lorsqu'il distribue un carton jaune. Il est du devoir de la VAR de prévenir l'arbitre de son erreur et de la lui faire corriger.

Le protocole veut que l'arbitre principal prenne une décision au moment de l'incident. L'arbitre assistant vidéo ne peut intervenir qu'en cas "d'erreur manifeste" ou "d'un

incident grave manqué", selon le site de l'IFAB¹. C'est à l'arbitre principal de décider s'il fait confiance aux indications de l'arbitre assistant vidéo ou s'il veut lui-même se faire une idée avec les images.

1.1.3 Importance de la VAR dans le football moderne

La VAR a amené beaucoup de choses positives dans le football moderne. Avant la mise en place de la VAR, l'arbitre principal prenait une décision sur le terrain et cette dernière était irrévocable. Il arrivait donc fréquemment que l'arbitre commette des erreurs, comme signaler un pénalty inexistant ou considérer une grosse faute (carton rouge) comme une faute légère (carton jaune). Ces erreurs touchaient également les arbitres assistants, que l'on appelle communément "juges de touche". Leur rôle est d'assister l'arbitre principal notamment en signalant les hors-jeu et les sorties de balles. Lorsqu'un but était validé malgré un hors-jeu pendant l'action, la responsabilité de cette erreur leur revenait.

Aujourd'hui, la VAR permet aux arbitres de revoir plusieurs fois les actions litigieuses et de revenir sur leurs décisions. Les erreurs sur des décisions dites "binaires"² comme lors d'un hors-jeu ont pratiquement disparu.

"Aujourd'hui, si on parle uniquement des décisions binaires, comme le hors-jeu, la VAR est parfaite."
(Lionel Tschudi 2024)

Des technologies comme la "goal-line technology", qui permet de savoir si le ballon a totalement franchi la ligne de but ou non, ou le hors-jeu semi-automatique, qui permet de savoir rapidement si un hors-jeu est existant lors d'une certaine action, ont totalement modifié l'arbitrage d'un match.

1.1.4 Problématiques et controverses actuelles autour de la VAR

Malgré les bonnes décisions et les améliorations que la VAR a apportée à l'arbitrage dans le football, les controverses ne se sont pas éteintes pour autant. Certaines décisions litigieuses continuent d'être prises, notamment les décisions non-binaires qui demandent une interprétation de l'arbitre. Qui dit interprétation dit que l'arbitre prend une décision selon sa vision des choses et lorsque le public est majoritairement contre, des polémiques surgissent.

Ce fut le cas à de multiples reprises, notamment en Premier League, le championnat de première division anglaise. Au cours de la saison 2023-2024, le directeur du football Tony Scholes rapportait que si la VAR avait pris la bonne décision 57 fois au cours de

¹ Instance qui détermine les règles du jeu du football.

² Décision qui ne demande pas l'interprétation de l'arbitre.

la saison, 20 mauvaises décisions avaient été constatées. (RMC Sport 2024a). Mais il n'y a pas que les erreurs d'arbitrage qui sont au centre de la discussion. Un des thèmes les plus discutés dans l'utilisation de la VAR est le temps que les arbitres prennent pour se décider. L'IFAB stipule que l'analyse d'une action n'est pas soumise à une limite de temps, car "la précision est plus importante que la vitesse". Cette vision des choses rend parfois les analyses longues et ces dernières coupent le rythme du match.

En ce qui concerne les décisions binaires, certaines rares erreurs continuent d'exister. Il peut arriver que des arbitres se trompent lors de la mise en place des lignes et qu'un but hors-jeu soit accordé, comme lors de la rencontre entre les clubs de Casa Pia et Sporting en août 2023. (Trivela 2023).

1.2 Objectifs de la recherche

Le but de ce travail de recherche est de répondre à la question suivante : "L'Intelligence Artificielle peut-elle contribuer davantage à l'amélioration du système de la VAR voire le remplacer ?". Cette question contient deux problématiques : l'amélioration de la VAR par l'implémentation de nouvelles technologies via l'IA et le remplacement de la VAR et de ses arbitres par l'IA.

En tant que supporter de football et étudiant en informatique, la VAR et l'IA sont deux sujets qui m'intéressent beaucoup. Le fait que l'une se soit nourrie de l'autre me fait me poser des questions auxquelles je cherche à répondre à travers ce travail. Pour cela, je dois me poser des questions plus spécifiques. Est-ce que la VAR est suffisamment efficace ? Qu'est-ce que l'IA peut apporter de positif à la VAR ? Quelles sont les nouvelles technologies utilisant l'IA qui pourraient voir le jour au sein de la VAR ? L'IA, simple assistant ou remplaçant de la VAR ?

1.3 Méthodologie

Afin de répondre à ces questions, j'ai cherché à m'informer de la meilleure façon possible. J'ai commencé par effectuer des recherches sur Internet afin de comprendre comment fonctionnait la VAR et l'IA, plus précisément son utilisation dans l'arbitrage. Pour cela, les sites officiels d'instance du football, comme ceux de l'UEFA et de la FIFA ont été très utiles.

Je voulais absolument avoir l'avis de personnes spécialisées dans la VAR et l'IA. Pour cela, j'ai effectué deux interviews. La première a été réalisée avec Lionel Tschudi, arbitre de football professionnel suisse depuis 2016 qui officie sur le terrain et à la VAR en Suisse mais aussi en Arabie Saoudite. J'ai pu lui poser des questions précises sur l'utilisation de la VAR et sur son ressenti depuis son implémentation. Nous avons

également parlé de l'avenir de son métier et l'arrivée de l'IA dans l'arbitrage. La deuxième interview a été réalisée avec Ilyes Talbi, ingénieur freelance en vision par ordinateur et fondateur de "La revue IA" (La revue IA 2023), une revue en ligne dans laquelle il écrit régulièrement et grâce à laquelle je l'ai connu. Avec lui, nous avons pu discuter des points plus techniques de l'utilisation de l'IA dans le football et de ses futures implémentations dans la VAR. J'ai également contacté l'UEFA par mail pour leur demander une interview, ils m'ont malheureusement répondu que personne n'était disponible mais m'ont envoyé quelques articles de leur site UEFA.com, qui avaient comme sujet l'utilisation de la VAR. Finalement, pour connaître l'avis du public en général, j'ai réalisé un sondage qui a reçu 26 réponses qui m'ont aidé à mieux comprendre le ressenti du public envers la VAR et l'IA.

2. La VAR

2.1 Historique et évolution de la VAR

L'arbitrage vidéo est une technologie récente dans le football, mais pas dans le sport en général. Certaines disciplines en étaient pourvues bien avant le ballon rond. La TMO, ou Television Match Official, permet dès 2001 aux arbitres de rugby de savoir si un essai est valable ou non, entre autres. (The Sun 2023). Pour le football américain, l'utilisation de la vidéo a commencé en 1986 et est depuis là devenu une technologie indispensable au bon déroulement d'un match. (Jacquemard 2018).

Dans le monde du football, l'arbitrage vidéo est dans les discussions des supporters et des acteurs de ce sport depuis longtemps. Les erreurs d'arbitrage et les polémiques s'enchaînant, certains y ont vu une solution à tous ces problèmes. Au début des années 2010, la KNVB, fédération néerlandaise de football, lance le projet "Refereeing 2.0" qui a pour but d'utiliser la technologie afin d'améliorer la qualité de l'arbitrage ainsi que de mieux faire accepter les décisions arbitrales. La première innovation de ce projet était la création de la goal-line technology, acceptée en 2012 par la FIFA et présentée mondialement lors de la Coupe du Monde 2014 au Brésil. Après la réussite de l'implémentation de cette technologie, la KNVB s'est attaquée à l'arbitrage vidéo. Testé à travers plusieurs simulations lors de la saison 2012-2013 du championnat de première division néerlandais, l'IFAB donne son feu vert pour des tests et l'implémentation de la VAR courant 2016. Voici ce que Lukas Brud, secrétaire de l'IFAB, dira à propos de cette technologie :

"Avec toute la 4G et le Wifi dans les stades aujourd'hui, l'arbitre est la seule personne qui ne peut pas clairement voir ce qui se passe et c'est pourtant lui qui devrait"
(Wired 2018)

À partir de ce moment-là, la VAR a été testée lors de plusieurs matchs non-officiels jusqu'au 21 septembre 2016 et un match de coupe néerlandaise entre l'Ajax Amsterdam et Willem II Tilburg, lors duquel la VAR fut utilisée pour la première fois avec un moniteur au bord du terrain, permettant à l'arbitre principal de revoir les actions et de se faire un avis personnel. Petit à petit, certains championnats, comme le portugais ou l'américain, ont implémenté la VAR. Cette technologie apparaît aux yeux du monde entier lors de son utilisation à la Coupe du Monde 2018 en Russie. Malgré la division qu'elle crée, elle sera implémentée en Ligue des Champions, compétition la plus populaire dans le football, en 2019 et deviendra alors une technologie indispensable au bon déroulement d'un match de football. (Wikipédia 2024).

En 2021, la FIFA a lancé une série de tests sur une nouvelle technologie, le hors-jeu semi-automatique. Aidée par l'intelligence artificielle, elle permet de suivre la position des joueurs en temps réel et de notifier les arbitres vidéo lorsque l'un d'eux joue le ballon en position de hors-jeu. Elle est utilisée pour la première fois lors de la Coupe du Monde 2022 au Qatar. C'est une technologie coûteuse et qui demande les infrastructures nécessaires pour pouvoir l'utiliser, c'est pour ces raisons que peu de compétitions l'ont implémenté. Cette utilisation de l'IA en appelle d'autres dans le futur, pour la détection de fautes ou encore une assistance vocale à l'arbitre.

2.2 Fonctionnement actuel de la VAR

2.2.1 Technologies utilisées

2.2.1.1 Les caméras

L'implémentation et l'utilisation de la VAR requièrent la mise en place de plusieurs équipements ou technologies. Tout d'abord, il faut un système de caméras assez vaste pour pouvoir couvrir le terrain sous plusieurs angles. Des caméras "slow motion" sont nécessaires pour les ralentis et l'identification d'éléments factuels tels que le point de contact entre deux joueurs sur un tackle. Pour pouvoir utiliser le hors-jeu semi-automatisé, il faut la mise en place de caméras qui traque en temps réel la position du ballon et des différents joueurs.

Le nombre de caméras dépend de la fédération qui organise le match et de l'importance de ce dernier. Par exemple, lors de la Coupe du Monde 2022 au Qatar, organisée par la FIFA, 42 caméras étaient mises à disposition des arbitres assistants vidéo. Lorsque la VAR a été implémentée en Suisse par la SFL, la Ligue suisse de football, seulement 6 caméras (10 lors de matchs diffusés sur les chaînes nationales) étaient disponibles. (RTS Sport 2019).

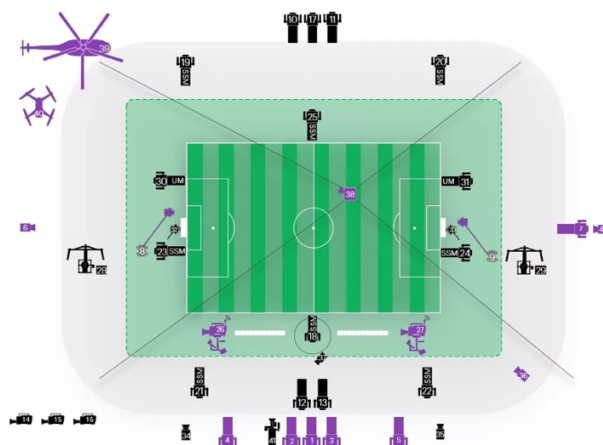


Figure 2 - Disposition des caméras pour la Coupe du Monde au Qatar en 2022

Toutes les images fournies par ces caméras sont mises à disposition des arbitres vidéo. Pour chaque match, on compte un arbitre assistant vidéo avec à ses côtés un ou plusieurs adjoints, qui assistent l'arbitre assistant vidéo, et un ou plusieurs techniciens vidéo, qui aident les arbitres à choisir les bonnes images et à utiliser les logiciels. Ces derniers se trouvent tous dans une salle appelée la "VAR room" ou salle de la VAR en français. Cette salle est une régie où les arbitres vidéo peuvent voir et analyser les images du match et communiquer avec l'arbitre principal. Le nombre d'adjoints et de techniciens dépend du nombre d'images et de caméras. En plus des caméras et de la salle de la VAR, des technologies ont été développées pour assister l'arbitre principal dans ses décisions, comme la goal-line technology ou le hors-jeu semi-automatique (UEFA.com 2024).

2.2.1.2 La goal-line technology

La goal-line technology, ou GLT, est une technologie développée entre 2010 et 2013 qui permet de savoir avec précision si le ballon a franchi ou non la ligne de but. Selon les lois du jeu régies par l'IFAB, un but est marqué lorsque le ballon a entièrement franchi la ligne de but. Avant l'arrivée de la GLT, il arrivait qu'aucun arbitre présent sur le terrain ne voit le ballon franchir la ligne, et par conséquent un but valide n'était pas compté comme tel. Les "buts fantômes" comme ils étaient appelés étaient des événements plutôt rares mais qui faisaient polémique quand ils se réalisaient, celui de Geoff Hurst en 1966 (qui offrit la Coupe du Monde à l'Angleterre) est encore discuté aujourd'hui. Cette technologie fut conçue par l'entreprise britannique Hawk-Eye, responsable du même dispositif utilisé sur les courts de tennis depuis les années 2000. Grâce à quatorze caméras, sept par but, la position exacte du ballon est détectée grâce à un système de triangulation puis les données sont envoyées sur un logiciel. Le logiciel crée une image 3D du but avec la reconstitution du ballon. Si le ballon a franchi la ligne, un signal est envoyé sur la montre connectée de l'arbitre principal et ce dernier peut valider la réussite. (ScienceABC 2017).

2.2.1.3 Le hors-jeu semi-automatique

Le hors-jeu semi-automatique, ou SAOT, fonctionne lui aussi grâce à un système de caméras et de détection. Cette technologie a été mise en place pour aider les arbitres à détecter les hors-jeux. Un joueur est en position dite de "hors-jeu" lorsqu'au moment où un coéquipier lui délivre une passe, on retrouve moins de deux joueurs adverses entre lui et la ligne de but. Si pendant une action de jeu, un joueur est hors-jeu, l'action est annulée.

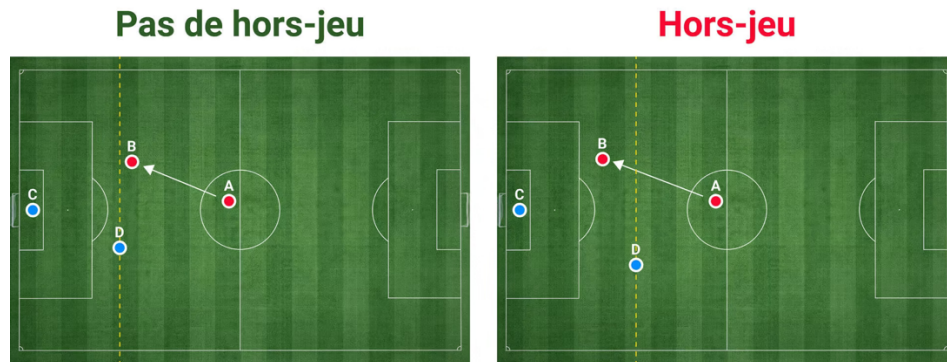


Figure 3 - Schéma explicatif de la règle du hors-jeu

Depuis la création de cette règle, ce sont les arbitres assistants, un de chaque côté du terrain, qui s'occupent de signaler les infractions. Munis d'un drapeau jaune et rouge, ils le lèvent lorsqu'un joueur hors-jeu joue ou touche le ballon. Pendant toutes ces années sans VAR, les buts mal annulés ou mal validés se sont enchaînés. En effet, les erreurs de jugement des arbitres de touche étaient fréquentes et ces erreurs avaient tendance à fausser le résultat de certaines rencontres.

Depuis l'arrivée de la VAR, ces erreurs ont presque disparu. Lorsqu'un hors-jeu était suspecté, les arbitres vidéo devaient "poser les lignes"³ sur les images du match et vérifier l'existence du hors-jeu. Pour faciliter la tâche aux officiels, le hors-jeu semi-automatique a été créé. L'objectif de cette technologie est de capter la position des joueurs et du ballon en temps réel grâce à des caméras et de comparer ces positions à une ligne de hors-jeu virtuelle. Si l'un des joueurs qui reçoit le ballon est en position de hors-jeu, l'arbitre assistant vidéo en est notifié et vérifie l'information avant de prévenir l'arbitre principal. Une fois que l'arbitre principal a pris et informé sa décision, les informations récupérées sont utilisées par une intelligence artificielle pour créer une animation 3D de l'action qui sera partagée aux spectateurs présents dans le stade et aux diffuseurs pour tous les téléspectateurs. (FIFA 2022).

Les caméras utilisées pour capter la position des joueurs doivent pouvoir couvrir le terrain sous tous ses angles. Elles captent 50 fois par seconde 29 points, comme les articulations ou les extrémités, du corps de tous les joueurs. Ce sont à peu près 8,3 millions de données par match selon le président de la Commission des arbitres de la FIFA, Pierluigi Collina. (Eurosport 2022). Elles s'occupent aussi de capter la position du ballon, grâce à un capteur d'unité de mesure inertielle se trouvant dans son centre. Toutes ces données sont ensuite utilisées pour chercher des hors-jeux.

³ Poser des lignes perpendiculaires au bord du terrain sur l'image pour vérifier le hors-jeu.

2.2.2 Processus d'utilisation de la VAR

En décembre 2023, la RTS réalisait un reportage lors d'un match entre le Lausanne-Sport et le Servette FC. Ils ont suivi le match depuis la salle de la VAR et nous ont montré comment cette technologie était utilisée. Dans les 2 heures qui précèdent le match, l'arbitre assistant vidéo et ses assistants / techniciens s'installent et se préparent. La communication avec l'arbitre principal sur le terrain est testée. Pendant le match, l'arbitre assistant vidéo se doit de vérifier toutes les actions litigieuses vérifiables par la VAR (cf. ch. 1.1.2). Sur son bureau, il a accès à deux boutons. Le bouton vert lui permet de notifier à l'arbitre principal qu'il entre dans une phase de vérification. Le bouton rouge sert à ouvrir le canal de communication avec l'arbitre principal. (RTS Sport 2024).

Sur le terrain, l'arbitre principal doit toujours prendre une décision. Si celle-ci est erronée, il pourra la changer grâce à l'assistance vidéo. La communication entre les arbitres dépend du genre de situation auquel ils font face. Si lors d'une vérification, aucune erreur flagrante n'est remarquée, les arbitres ne doivent pas obligatoirement communiquer, on appelle ça une vérification silencieuse. Cependant, lorsqu'une erreur est trouvée pendant l'analyse, les deux arbitres doivent communiquer. L'arbitre vidéo va donner sa vision des choses à l'arbitre principal et va lui conseiller, ou non, de voir les images lui-même. Pour voir les images, l'arbitre principal doit se déplacer au bord du terrain et se diriger vers l'écran qui s'y trouve. Là, il effectuera ce qu'on appelle une analyse en bord de terrain, ou "on-field review" en anglais. La décision de revoir les images lui revient toujours. Après l'analyse de l'arbitre assistant vidéo et/ou de l'arbitre principal, une décision ou une révision de décision est prise sur le terrain et le jeu peut reprendre. (IFAB s.d.).



Figure 4 - Un arbitre effectuant une analyse en bord de terrain

2.3 Avantages et limitations de la VAR actuelle

2.3.1 Avantages de la VAR

2.3.1.1 Correction des erreurs humaines

Aujourd'hui, les arbitres ont la possibilité de revoir les images du match et de revenir sur leurs décisions, et ainsi de corriger des erreurs qu'ils auraient pu commettre. Parfois, un but mal annulé ou un carton rouge mal distribué peut avoir de terribles conséquences sur la saison d'un joueur ou d'une équipe. Grâce à la VAR, ce genre d'erreurs est dorénavant moins fréquent.

2.3.1.2 Jeu plus propre

Avant l'arrivée de la VAR, certains joueurs pouvaient tromper les arbitres en simulant des fautes ou en allant même jusqu'à agresser des joueurs de l'équipe adverse sans que personne ne le voie. Avec la VAR, ce genre de geste ne passe plus inaperçu et cela a peut-être dissuadé certains joueurs de ces comportements.

2.3.1.3 Arbitres plus confiants

La VAR est une sécurité pour les arbitres. Ils savent qu'en cas d'erreur, ils peuvent se rattraper grâce à la vidéo. Cela leur offre plus de confiance et moins de stress pendant le match.

2.3.2 Limitations de la VAR

2.3.2.1 Interruptions du jeu

Lors d'une analyse de la VAR, le jeu est interrompu. Certains cas sont complexes et une longue révision des images peut être nécessaire. Pour les joueurs, le rythme est cassé et le jeu peut s'avérer dur à reprendre. Pour les spectateurs présents dans le stade, ils n'ont pas accès aux images et l'attente peut vite devenir longue. Lorsque l'arbitre va voir les images en bord de terrain, il prend entre 90 et 120 secondes à se décider. Si on ajoute à ce temps, celui de l'analyse en salle de la VAR par l'arbitre assistant vidéo, on atteint des gros temps d'arrêt de jeu. (OUGGOURNI 2023).

2.3.2.2 Inégalités selon les compétitions

Beaucoup de compétitions n'utilisent pas la VAR, en raison de son coût mais également en raison des conditions d'installation. Pour utiliser la VAR, les stades doivent être dotés de plusieurs caméras pour couvrir tous les angles de vue possibles. Certains petits stades, dépourvus de toit ou n'ayant qu'une seule tribune ne remplissent pas les conditions nécessaires. Son prix est également un frein. Pour installer la VAR en première division suisse, il a fallu dépenser trois millions de francs. La moitié pour l'introduction du système et la formation des arbitres et l'autre moitié pour les frais de

fonctionnement, à diviser à l'époque entre les dix clubs suisses, c'est-à-dire 150'000 francs par club. (Tribune de Genève 2019).

Si en plus de la VAR, une ligue veut pouvoir utiliser la goal-line technology ou le hors-jeu semi-automatique, il faut dépenser encore quelques millions de plus, ce que la plupart des ligues nationales ne sont pas prêtes à faire.

2.3.2.3 Réduction de l'émotion spontanée

Un but marqué par son équipe favorite provoque chez le supporter de football une explosion de joie. Avant la VAR, un but ne pouvait pas être annulé, le supporter pouvait donc fêter sans s'en soucier. Aujourd'hui, les supporters savent que leur joie peut être de courte durée, car la validité du but peut être revue et celui-ci annulé.

2.4 Comparaisons des décisions avec et sans VAR

Avant la mise en place de la VAR, la question principale que les amateurs de football se posaient était si oui ou non, la VAR allait vraiment améliorer le taux de bonne décision des arbitres. Au cours de la saison 2023-2024, la Premier League, à travers son directeur du football Tony Scholes, a annoncé des chiffres et des statistiques sur le développement de la VAR dans son championnat. (Sky Sports 2024). Avant l'introduction de la VAR, en Premier League, le taux de bonnes décisions des arbitres s'élevait à 82%, ce qui veut dire que près d'une décision sur cinq était erronée et portait préjudice à l'équipe qui en était victime. Depuis que la VAR a été introduite, ce taux est monté à 96% et frôle la perfection. Les plus pessimistes diront qu'il existe toujours 4% de mauvaises décisions, mais comme me l'a dit Lionel Tschudi, la VAR n'est pas là pour régler tous les problèmes.

" [...] on a cru que la VAR allait régler tous les problèmes mais non, elle n'est pas là pour ça, elle est là pour les grosses erreurs [...]" (Lionel Tschudi 2024)

Afin de déterminer quelles ont été les bonnes et les mauvaises décisions prises par les arbitres, la PL a mis en place un panel composé d'anciens joueurs, d'anciens entraîneurs et d'arbitres, tous expérimentés dans le monde du football.

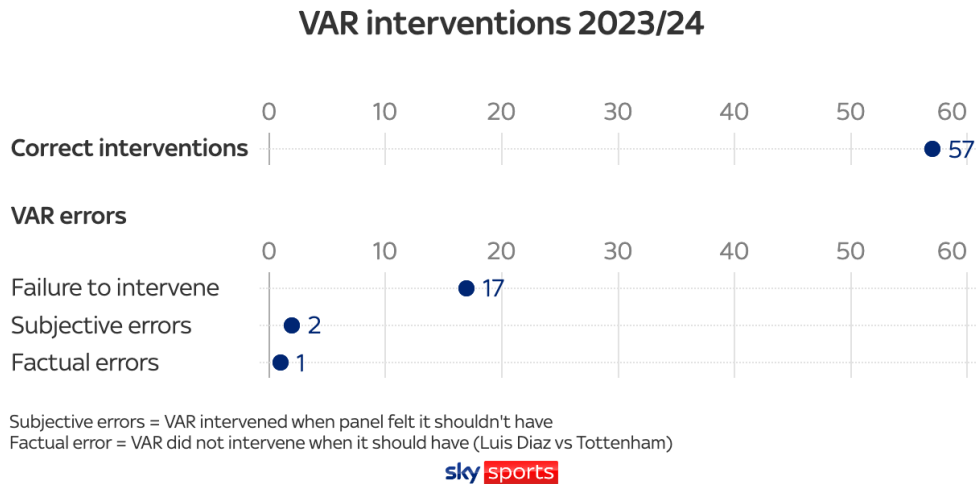


Figure 5 - Compte-rendu de la VAR en PL pendant la saison 2023-2024

Ce graphique compare les bonnes décisions aux mauvaises, en séparant ces dernières en 3 types d'erreurs :

- "Failure to intervene" sont les moments où la VAR aurait dû intervenir pour assister l'arbitre principal, mais ne l'a pas fait. Une mauvaise décision de leur part selon le panel.
- "Subjective errors" sont les erreurs subjectives qu'a commis la VAR. Des erreurs qui peuvent être discutées.
- "Factual errors" sont les erreurs factuelles, des erreurs dont tout le monde avouera qu'elles n'auraient pas dû être commises.

Toutes les actions concernées par les erreurs de la VAR auraient aussi existé sans elle tandis que les actions qu'elle a corrigées n'auraient pas pu l'être si elle n'avait jamais été implémentée. En 2023, la LFP dressait un bilan de l'utilisation de la VAR dans son championnat principal, la Ligue 1. Dans ce bilan, on apprenait que la VAR avait annulé 32 buts, dont 25 pour des positions de hors-jeu. Encore une fois, sans la VAR, ces buts auraient été validés car personne n'aurait pu voir ou analyser les images. Ces 32 buts auraient changé et faussé le déroulement de ce championnat, ce qui a pu être évité grâce à la technologie. (Le Parisien 2023).

3. L'intelligence artificielle

3.1 Introduction à l'IA

L'intelligence artificielle, ou IA, est une technologie qui permet aux ordinateurs et aux machines d'imiter l'intelligence humaine et sa faculté à résoudre des problèmes. Depuis plusieurs années, l'IA est partout : reconnaissance vocale, ChatGPT, voitures autonomes, etc. Combinée à d'autres technologies, comme les caméras dans le cas du SAOT, l'IA peut reproduire des tâches qui nécessiterait normalement une intervention humaine. (IBM s.d.). Pour faire fonctionner une IA, il est nécessaire de joindre plusieurs facteurs. (Arnaud Miribel s.d.). :

1. Les données

Une donnée est une information à l'état brut, sans le contexte. Pour fonctionner, les IA ont besoin de données, en grande quantité (ce qu'on appelle le Big Data) mais également de bonne qualité. Les données sont la source d'apprentissage de l'IA. Dans le cas du Machine Learning, l'IA aura besoin de données d'entraînement et de données de test.

2. Les algorithmes

Un algorithme est une suite d'instructions ou d'étapes conçues pour analyser des données dans l'objectif d'exécuter une tâche avec succès. L'algorithme va entraîner le modèle puis le tester, le but étant que le résultat final de ses deux phases soit le même. Le modèle sera entraîné avec un ensemble de formation, qui sont les données d'entraînement, et sera évalué avec un ensemble de test. Cette technique garantit que le modèle n'a pas seulement retenu les données d'entraînement mais qu'il sait maintenant fonctionner avec n'importe quelle donnée.

3. La puissance de calcul

Pour entraîner et faire fonctionner un modèle d'IA, il faut beaucoup de données et beaucoup de calculs. Pour cela, il faut une grande puissance de calcul mais également une grande capacité de stockage et donc des ordinateurs ou machines très puissantes.

3.2 Les différents types et catégories d'IA

Il existe plusieurs types et plusieurs classes d'IA. Les types différencient les IA selon leurs manières de traiter les données tandis que les classes différencient les IA selon leurs niveaux de sophistication et d'autonomie. (Comte 2024).

3.2.1 Les différents types d'IA

3.2.1.1 L'IA descriptive

L'IA descriptive est un type d'intelligence artificielle qui analyse et décrit des données. Son objectif est de transformer des données brutes, généralement en grande quantité, en informations compréhensibles. Le processus commence par une collecte de données, des données qui sont nettoyées et structurées. L'IA applique ensuite à ses données traitées des modèles statistiques afin de récupérer en retour des rapports ou des graphiques que tout le monde peut comprendre. Dans le football, les statistiques de matchs, disponibles sur des applications comme Sofascore (Sofascore 2024) sont générées par des IA descriptives.

3.2.1.2 L'IA prédictive

L'IA prédictive est une IA qui se base sur des données historiques dans le but de prédire des tendances futures. Ces données historiques sont utilisées dans un modèle d'apprentissage automatisé, ou Machine Learning. Grâce à ce modèle, l'IA sera capable d'identifier les données sans aucune intervention humaine, mais uniquement en apprenant par elle-même. Une fois ces données analysées, l'IA identifie des logiques et associe des données à des circonstances. Les données météorologiques sont souvent générées grâce à des IA prédictives, qui analysent les données "météo" de ces dernières décennies et sont ensuite capables de prédire le temps à venir. (Cloudflare s.d.).

3.2.1.3 L'IA prescriptive

L'IA prescriptive utilise, comme l'IA prédictive, un modèle d'apprentissage automatisé sur un grand nombre de données. Son but n'est pas de prédire de futures tendances mais de créer de nouvelles données. Ces nouvelles données sont retournées sous forme de recommandations et d'actions à mener afin d'atteindre un certain résultat. Ce type d'IA ne doit pas être confondu avec une de ses sous-catégories : l'IA générative.

L'IA générative ne recommande rien, mais se concentre uniquement sur la création de contenu. Elle est utilisée dans la génération de texte, d'images ou encore de musiques. Elle apprend également sans intervention humaine, avec l'apprentissage automatisé. L'agent conversationnel ChatGPT (ChatGPT 2024), qui génère du texte à partir d'un prompt en entrée, ou bien le générateur de code Microsoft Copilot (Microsoft Copilot 2024) en sont de bons exemples.

3.2.2 Les différentes catégories d'IA

3.2.2.1 L'IA faible

L'IA faible, ou IA étroite, est une catégorie d'intelligence artificielle qui se concentre sur une tâche spécifique. Elle est appelée "faible" car elle est limitée, elle ne peut pas sortir

de son domaine de prédilection. Cette IA répond à un algorithme et des règles précises et n'apprend pas seul. L'IA utilisée dans le système du hors-jeu semi-automatique est un exemple d'IA faible, car elle est spécifiée dans la détection de hors-jeux et ne peut pas accomplir d'autres tâches que celles pour lesquelles elle a été développée.

3.2.2.2 L'IA forte

L'IA forte, ou IA générale, est la forme d'IA qui se rapproche le plus de l'intelligence humaine. Cette IA est capable de traiter n'importe quel problème intellectuel qu'un humain peut résoudre. Elle peut raisonner, apprendre et prendre des décisions sans aucune limite, comme un humain le ferait. C'est un genre d'IA qui n'existe pas encore, du moins pas dans notre réalité. Dans les films de science-fiction, les droïdes de la saga Star Wars ou le cyborg de Terminator sont des exemples d'IA fortes. Des IA qui ont leurs propres consciences et qui agissent mentalement comme des humains.

3.2.2.3 L'IA hybride

L'IA hybride est une IA qui mélange les principes de l'IA faible et de l'IA forte. L'IA utilise la capacité d'adaptation de l'IA forte et l'efficacité de l'IA faible, via sa spécialisation.

3.2.3 Le Machine Learning

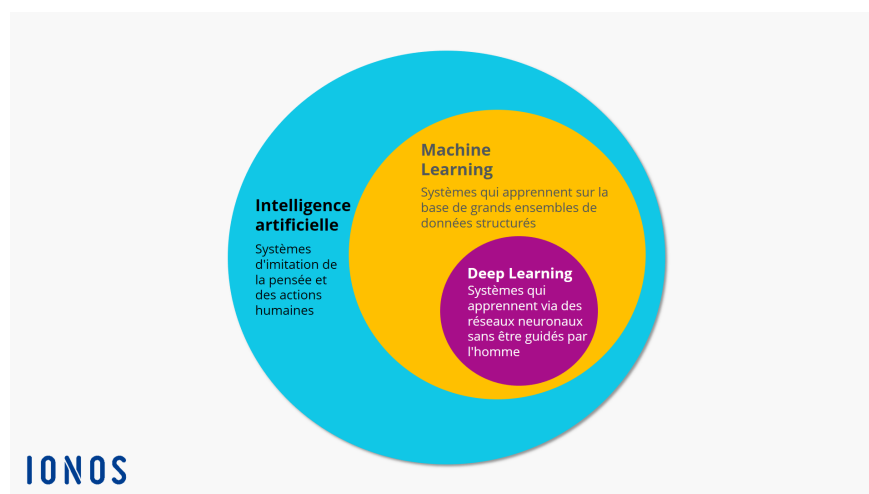


Figure 6 - Machine Learning et Deep Learning dans l'IA

Le Machine Learning, ou apprentissage automatique, est un sous-ensemble d'intelligence artificielle qui apprend à partir de données puis qui s'améliore par l'expérience. Le ML permet à l'IA d'apprendre et de s'améliorer sans programmation explicite. Le ML fonctionne à travers des entrées et des sorties. Il reçoit des données (les entrées) et produit des résultats (les sorties). Il est entraîné avec un certain dataset, ou ensemble de données, puis est testé avec un autre dataset, qui diffère de celui d'entraînement. (Cloudflare s.d.). Le ML comprend lui-même un sous-ensemble appelé Deep Learning, ou apprentissage profond. Le DL fonctionne à base de réseaux

neuronaux artificiels, des algorithmes imitant le fonctionnement du cerveau humain, dans le but d'apprendre avec une grande quantité de données. Il est utilisé pour résoudre des problèmes plus complexes. (Oracle s.d.). Il existe plusieurs types d'apprentissage pour les modèles de Machine Learning.

3.2.3.1 Apprentissage supervisé

L'apprentissage supervisé est la principale méthode de ML. Cette méthode fonctionne à l'aide de données labellisées, c'est-à-dire que les données d'entraînement en entrée sont accompagnées d'un label (par exemple, une image de chien avec un label "chien"). Une fois entraînée, l'IA sera capable de reconnaître les images des données de test et de les lier à un label. Deux algorithmes existent pour ce type d'apprentissage : les algorithmes de classification et de régression. (Blent 2022).

Les algorithmes de classification cherchent à déterminer à quelle catégorie appartient une donnée. On en retrouve dans les modèles de reconnaissance d'images ou de texte. Les algorithmes de régression sont ceux qui cherchent à prédire une valeur continue. Une IA prédisant le prix d'un appartement selon ses caractéristiques en est un bon exemple.

3.2.3.2 Apprentissage non supervisé

L'apprentissage non supervisé utilise lui des données non labellisées. L'objectif de cet algorithme est de trouver une structure parmi les données. Contrairement à l'apprentissage supervisé, il ne connaît pas le résultat. Il est notamment utilisé pour regrouper des données entre elles, chaque groupe possédant des données aux mêmes caractéristiques ou bien pour réduire la dimensionnalité, c'est-à-dire réduire le nombre de variables à prendre en compte dans l'analyse. (Blent 2022).

3.2.3.3 Apprentissage par renforcement

L'apprentissage par renforcement se distingue des deux autres types d'apprentissage. C'est un algorithme qui entraîne les modèles à prendre des décisions dans le but d'atteindre un objectif. Il utilise un système de récompenses et de punitions. Lorsqu'une action réalisée rapproche le modèle de son objectif, il se voit offrir une récompense qui lui indique que c'est une action qu'il doit renforcer. Au contraire, si l'action menée ne va pas dans le sens de l'objectif alors, il reçoit une punition et apprend à ne plus recommencer. (AWS s.d.).

3.3 Applications de l'IA dans le sport

Aujourd'hui, l'IA est un élément indispensable dans le sport de haut niveau. Comme je l'ai déjà mentionné plus haut, l'IA est présente dans la VAR et nous pouvons nous

attendre à ce qu'elle le soit de plus en plus dans les prochaines années. C'est aussi une technologie présente dans le suivi des performances des athlètes. Tous les footballeurs professionnels jouent munis d'un capteur qui permet de récupérer les données du match du joueur, comme son nombre de kilomètres parcouru ou sa position sur le terrain au cours de la rencontre. Avec toutes ses données, l'IA peut créer des statistiques et des résumés de performance qui peuvent permettre aux joueurs d'optimiser leurs entraînements et de prévenir les blessures. (Le Point 2024).

Les entraîneurs, eux, peuvent utiliser l'IA dans l'analyse vidéo. Avant de jouer un match, peu importe le sport, on analyse son adversaire. Cette analyse est souvent réalisée via une vidéo de la performance de ce dernier. En donnant à un modèle d'IA entraîné des heures d'enregistrement de performances d'un athlète ou d'une équipe, elle pourrait nous donner des stratégies à adopter ou des points faibles à exploiter. (Le Point 2024).

4. Qu'est-ce que l'IA peut apporter de plus à la VAR ?

La VAR, comme nous l'avons vu plus haut, s'est mêlée à des technologies intégrant des IA. Le SAOT est un franc-succès et a corrigé un problème majeur de la VAR, dans le domaine du hors-jeu en tout cas, qui est la perte de temps. On estime que cette technologie a réduit le temps d'analyse des arbitres de 31 secondes pour les hors-jeux. (BBC 2024). Les arbitres vidéo ne doivent plus poser les lignes mais peuvent se contenter de vérifier ce qu'a réalisé le SAOT. Nous pouvons donc facilement imaginer que les instances de football (IFAB, FIFA, UEFA, etc.) ne vont pas s'arrêter là. Il existe plusieurs situations où l'IA pourrait être utile à la VAR et à certaines situations d'arbitrages dans le football.

Dans ce chapitre, je vais décrire deux façons d'utiliser l'IA pour améliorer la VAR. La première serait la détection automatique de fautes. Après la détection de hors-jeux, la suite logique serait de pouvoir détecter les fautes sur un terrain. La deuxième façon d'améliorer la VAR serait d'implémenter une assistance vocale à l'arbitre principal, afin de lui communiquer des informations plus précises sur le déroulement du match qu'il arbitre.

4.1 Analyse de l'environnement

Avant de créer de nouvelles technologies, il est toujours utile d'analyser l'environnement externe à ces dernières. Une analyse PESTEL est donc nécessaire afin de savoir dans quel environnement ces technologies vont évoluer.

1. Politique

Les technologies implémentées dans la VAR devront être testées longuement et auditées par les instances du football. Les règlements pourraient être adaptés et tous les changements dus à l'arrivée de ces nouvelles technologies devront être expliquées aux supporters afin d'assurer le plus de transparence possible.

2. Économique

Le développement ainsi que la recherche avant lui pour la création de cette technologie sont des processus coûteux pour les instances responsables. Le matériel nécessaire au bon fonctionnement de ces technologies et son installation le sont aussi. Les clubs et les fédérations devront payer pour pouvoir utiliser les technologies implémentées dans la VAR.

3. Socioculturel

Ces additions au système de la VAR pourraient changer le football à jamais. Les parties prenantes de ce sport, c'est-à-dire les joueurs, les entraîneurs, les supporters, les arbitres, etc. auront leur mot à dire. Non pas officiellement, l'addition de ces technologies se fera avec ou sans leur bon vouloir mais ils pourront protester. En Suisse, lorsque la SFL a voulu modifier le format du championnat de première division, les supporters se sont rebellés et ont fait savoir leur mécontentement. Ces manifestations ont fait reculer la ligue suisse qui a finalement adopté un autre format. L'avis des supporters est très important dans le monde du sport et surtout du football.

4. Technologique

La technologie étant en constante évolution, il faudra faire en sorte de toujours être à jour dans toutes les technologies implémentées dans la VAR afin de ne rien utiliser d'obsolète. Si une nouvelle technologie émerge dans le milieu du football et de la VAR, une plus puissante que celles que nous avons aujourd'hui, comme l'informatique quantique, toutes les technologies utilisées actuellement seraient dépassées.

5. Éthique

Le problème éthique est toujours le même, faut-il continuer de développer ces technologies quitte à mettre en risque le métier d'arbitre ? Tant que ces dernières seront développées pour assister les arbitres, l'éthique sera respectée. Il faut aussi la respecter en respectant les piliers de l'éthique de l'IA, indispensables à une bonne utilisation de cette dernière.

6. Légal

Le système de la VAR capture énormément de données pour pouvoir faire fonctionner ses technologies. Ces données sont des données personnelles et sensibles pour les joueurs, c'est pourquoi elles doivent être protégées.

4.2 Détection automatique des fautes

Après l'implémentation de la technologie du hors-jeu semi-automatique, avec une IA qui détecte les hors-jeux, la logique voudrait que la même chose puisse être faite pour les fautes comme les tacles ou les tirages de maillot. L'arbitre principal est sur le terrain pour gérer et diriger le match, notamment en sifflant les fautes. Si la détection de fautes devient automatique, en plus des hors-jeux, le rôle de l'arbitre sera minime par rapport à celui qu'il a aujourd'hui. Heureusement pour les arbitres, il existe dans le football ce que Lionel Tschudi appelle une "zone grise". Cette zone grise, ce sont tous les faits de jeux où l'interprétation de l'arbitre est nécessaire. Par exemple, l'IA va pouvoir détecter

un tirage de maillot, mais ce tirage a-t-il déstabilisé le joueur qui subit la faute ? Ce joueur s'est-il laissé tomber en se sentant accroché ou a-t-il vraiment été tiré vers le sol ? Seul un arbitre expérimenté, qui a vu passer des dizaines de tirages de maillot dans sa carrière pourra faire la différence.

4.2.1 Fonctionnement du DAF

Le fonctionnement du DAF reposerait sur le même principe que le SAOT. Les corps des joueurs seraient captés grâce à des caméras prévues à cet effet. La position exacte du ballon est connue grâce au capteur se situant à l'intérieur de ce dernier. La position des joueurs en temps réel étant connu du système, il faudrait ensuite que ces données soient utilisables par l'IA pour pouvoir détecter des contacts entre les joueurs. Un algorithme d'apprentissage supervisé, avec des images labellisées "faute" ou "pas faute", pourrait être testée. Des méthodes mathématiques et géométriques pourraient aussi être utilisées pour détecter les contacts. Lors de mon entrevue avec Ilyes Talbi, nous avons parlé de la possibilité de développer une telle technologie.

"Après, techniquement, je ne sais pas exactement comme le mettre en place, c'est un projet de recherche qui peut prendre du temps, il y a des tests à faire et ce n'est pas facile. Tu peux, par exemple, essayer de mettre en place des méthodes géométriques et regarder par rapport aux positions des joueurs. S'il est par terre, on peut signaler quelque chose à l'arbitre."
(Ilyes Talbi 2024)

C'est une technologie qui serait compliquée à implémenter et plusieurs IA devraient être utilisées pour arriver au but. Le DAF pourrait détecter une faute, un contact entre deux joueurs mais le problème est l'intensité de ce contact, que l'IA rencontrerait des difficultés à déceler.

4.2.2 Avantages du DAF

4.2.2.1 Uniformité des décisions

Les décisions, ou plutôt les conseils que l'IA donnerait à l'arbitre seraient uniformes. Il arrive que certains arbitres aient une vision différente de certaines règles du football. Le DAF, lui, aurait la même vision tout le temps et les mêmes fautes auraient le droit au même traitement, ce qui n'est pas toujours le cas aujourd'hui.

4.2.3 Limitations du DAF

4.2.3.1 Biais du traitement des images

Lorsqu'une IA apprend d'elle-même, il se peut qu'elle prenne en considération certaines caractéristiques indésirables, c'est pourquoi il faut savoir bien traiter ses données d'entraînement. En 2014, Amazon a développé une IA qui notait, de 1 à 5 étoiles, les CV que l'entreprise recevait. Les données avec lesquelles l'IA s'était entraînée étaient les CV reçus par l'entreprise sur les dix dernières années. Dans ces données, se trouvaient

plus de candidatures d'hommes que de femmes. L'IA a donc appris à rejeter systématiquement les femmes. (Les Echos 2018). Un problème équivalent pourrait se poser pour le DAF. Si sur les images données à l'IA, les équipes qui souffrent le plus de fautes sont celles qui portent des maillots bleus, alors elle pourrait décider de siffler systématiquement les fautes sur les maillots bleus. Ce mauvais apprentissage de l'IA pourrait devenir éthiquement plus grave s'il fait la différence sur les couleurs de peau. Pour éviter ce problème, selon Ilyes Talbi, les images devraient être traitées et données en entrée à l'IA en noir et blanc, qu'il s'agisse des données d'entraînement ou bien des données de test.

4.2.3.2 Complexité de la technologie

Le développement d'une technologie comme le DAF est très complexe. Elle demande un certain matériel, qui est coûteux et qui doit être installable dans les stades, mais aussi une grande collecte de données sur les joueurs, et ça, plusieurs fois par seconde dans chaque match. Comme il est décrit au-dessus, le travail de recherche demandé pour développer un système de ce genre est conséquent. C'est surtout une technologie qui ne pourrait, pour l'instant, être automatique, dû à la complexité des contacts et des fautes dans le football. L'IA ne peut pas juger une intentionnalité ou l'intensité d'une faute, c'est la fameuse zone grise.

4.2.3.3 Coût élevé

Le coût de la VAR étant déjà élevé, l'implémentation de nouvelles technologies ne ferait qu'augmenter ce prix. En Suisse, la VAR coûte 1,5 million de francs à la SFL. Le SAOT, jugé trop coûteux n'a pas été adopté. Les dispositifs du DAF sont plus ou moins les mêmes que ceux du SAOT, on peut donc imaginer que le prix sera à peu près égal. Pour les championnats, qui comme la Premier League⁴, ont adopté le SAOT, auraient déjà la plupart des installations prêtes. Pour les autres, comme le championnat suisse, il faudra payer cher pour en profiter.

4.3 Assistance vocale à l'arbitre principal

Pendant mon interview avec Lionel Tschudi, je lui ai demandé s'il s'imaginait discuter avec une IA au lieu de discuter avec la salle de la VAR, la technologie ayant remplacé la VAR dans mon exemple, et il m'a parlé d'une possible assistance vocale à l'arbitrage, que l'on appellera ici AVA. Pendant un match, les arbitres ont sur eux un microphone et une oreillette alimentés par un système de communication. Cela leur permet de se parler pendant le match, entre l'arbitre principal et ses assistants ou avec la VAR. L'idée de cette assistance vocale serait d'avoir une IA qui grâce aux données récupérées pendant

⁴ Championnat de première division en Angleterre

le match, communique des informations utiles pour l'arbitre. L'arbitre pourrait utiliser ce système pour demander des informations sur un joueur, comme son nombre de fautes. Ce ne serait pas une technologie qui prend une décision ou qui analyse le cours du match mais, si cette technologie voit le jour, nous pourrions être ramenés à cela. Voici ce que dit Lionel Tschudi :

"Ce qui peut être intéressant aussi c'est que l'AI, automatiquement avec le système de communication, pourrait dire : "c'est la 3ème faute du numéro 8 ou le numéro 8 vient réclamer depuis quinze mètres""
(Lionel Tschudi 2024)

En tant qu'arbitre officiant dans le monde professionnel depuis bientôt dix ans, il pense qu'une technologie de ce genre aiderait l'arbitre au moment de la décision et pourrait lui servir de "base de données", car il ne peut pas se rappeler de tout ce qu'il se passe dans le match.

Les outils de reconnaissance et d'assistance vocale font aujourd'hui parti de notre quotidien. En 2011, la marque Apple dévoilait la première version de l'IA Siri, un assistant virtuel vocal qui depuis est devenu un indispensable des produits de la marque à la pomme. Sur les télécommandes de la plupart des TV-Box, se trouve un logo de microphone, qui permet à l'utilisateur de retranscrire des paroles en texte afin d'effectuer une recherche d'émission, par exemple. Ce n'est donc pas dur d'imaginer l'implémentation de ce genre de technologie dans le monde de l'arbitrage.

4.3.1 Fonctionnement de l'AVA

Le fonctionnement d'une technologie d'assistance vocale, qui mêle la reconnaissance vocale à la retranscription d'un texte en voix, est composé de plusieurs étapes. Il faut d'abord "réveiller" l'assistant vocal et cela pourra être fait grâce à un "wake word", ou mot déclencheur en français, ou grâce à une activation via un bouton sur l'oreillette ou sur une montre connectée. Ensuite, la voix est retranscrite en texte après avoir été enregistrée, traitée et analysée. Les enregistrements pouvant parfois être perturbés par des bruits de fond, ce qui serait le cas pour un arbitre dans un stade rempli de supporters bruyants, les fichiers audio doivent être normalisés afin d'être les plus lisibles possible. La normalisation d'un fichier audio est un processus d'ajustement du volume de ce dernier. L'objectif est que les pics et les creux se trouvant dans les fréquences soient supprimés afin de rendre l'audio plus harmonieux. C'est à l'aide d'un algorithme de Deep Learning que les mots prononcés dans le fichier audio vont être associés à des phonèmes et que le texte va être retranscrit selon les prédictions de l'IA. Un module de NLP, ou Natural Language Processing⁵, va s'occuper, en plusieurs étapes, de traduire

⁵ Traitement du langage naturel

le langage humain en langage machine. L'IA va tenter de comprendre la position et la signification des mots dans la commande afin de donner un sens à la phrase et comprendre les indications de l'utilisateur. C'est là que l'AVA va exécuter la commande, en récupérant des informations dans une base de données pour notre cas, et va la communiquer à l'arbitre à l'aide d'une synthèse vocale qui va dicter la réponse grâce au système de communication. (Chapuzet 2021).

4.3.2 Processus d'utilisation de l'AVA

Lorsque l'arbitre principal ferait face à un certain joueur, il pourra recevoir des informations sur le match de ce dernier comme son nombre de fautes, son nombre de réclamations, le temps perdu, etc. Pour cela, il pourra utiliser l'AVA vocalement grâce à son système de communication. Un exemple de demande serait : "Combien de fautes a réalisé le numéro 8 de l'équipe A ?".

4.3.3 Avantages de l'AVA

4.3.3.1 Accès aux informations

L'arbitre ayant accès à plus d'informations que celles dont il a accès actuellement, ces décisions pourraient être de meilleure qualité. Les agissements de certains joueurs qui commettent plusieurs fautes ou les gardiens de but qui perdent du temps lors du dégagement seraient connus du juge de la partie.

4.3.3.2 Précision des décisions

Avec plus d'informations sur le contenu du match d'un joueur, le jugement que l'arbitre apportera lors du match pourrait être plus juste. Le temps perdu par les gardiens de but lors des dégagements atteint souvent des taux significatifs. Si les arbitres principaux avaient conscience du temps exact que les joueurs perdent pendant un match, ils les sanctionneraient sans doute plus rapidement.

4.3.4 Limitations de l'AVA

4.3.4.1 Reconnaissance de la voix

Les technologies de reconnaissance vocale ne sont pas infaillibles. Il arrive parfois que les mots retranscrits ne soient pas ceux qui ont été prononcés. Dans un match, avec le bruit ambiant du stade et peut-être même avec des joueurs qui viennent réclamer, il peut s'avérer compliqué pour l'arbitre de se faire comprendre de l'assistant. C'est là que l'étape de normalisation des fichiers audio devra être la plus efficace possible. Cependant, si la commande n'est pas comprise par l'AVA, les arbitres assistant vidéo pourraient jouer le rôle de la technologie en informant l'arbitre avec les données qu'il demande.

4.3.4.2 Mise à jour des informations en temps réel

L'arbitre demande des informations sur les joueurs qui vont lui permettre de prendre une décision plus claire et donc d'influencer le cours du match. Les informations du match doivent donc être à jour à tous les instants du match, ou bien de fausses informations pourraient être communiquées à l'arbitre et cela pourrait influencer le match en mal.

4.4 Autres technologies implémentables

4.4.1 Détection des sorties de balle

Aujourd'hui, grâce à la goal-line technology, on sait si le ballon a entièrement franchi la ligne de but ou non. Cette même technologie pourrait être utilisée pour détecter si le ballon est entièrement sorti ou non. Lorsque ce genre de fait est revu à la VAR, ils peuvent être difficiles à vérifier à cause des caméras qui ne couvrent parfois pas le bon angle de vue. Ce fut le cas lors d'un match de la Coupe du Monde au Qatar en 2022, entre le Japon et l'Espagne, quand les Nippons ont marqué après une situation douteuse de ce genre. (L'Équipe 2022).

4.4.2 Calcul du temps additionnel automatisé

En analysant le match en temps réel, une IA pourrait chronométrer les temps d'arrêt des matchs à chaque fois que le ballon sort des limites du terrain ou qu'une faute est signalée. Cela permettrait aux joueurs de jouer, au mieux, la totalité des 90 minutes qui composent un match de football et, en tout cas, d'augmenter considérablement le temps de jeu effectif. En 2022, le CIES Football Observatory, un centre de recherche suisse basé à Neuchâtel, dévoilait la moyenne de temps de jeu effectif dans les différents championnats européens depuis la saison 2018-2019. Le meilleur temps était de 63 minutes tandis que le moins bon descendait à 54 minutes. Cela signifie que pendant cette période de plus de 3 saisons, on jouait en moyenne que 2/3 d'un match. (CIES 2022).

5. Défis de l'implémentation de l'IA dans la VAR

5.1 Éthique de l'intelligence artificielle

L'éthique est l'ensemble des principes moraux qui nous permettent de distinguer le bien du mal. Et dans le domaine de l'intelligence artificielle, l'éthique est très importante. Lorsque l'IA est implémentée dans un système, on doit faire en sorte qu'elle respecte un certain nombre de principes éthiques. Les piliers ou les principes fondamentaux de l'éthique dans l'IA dépendent des sources et des entreprises qui les rédigent. Après avoir effectué des recherches, je me suis penché sur les piliers de l'éthique de l'entreprise IBM, qui opère dans le monde de l'informatique, car ils sont les plus sensés pour l'analyse de l'implémentation de l'IA dans la VAR. Leurs cinq piliers forment l'acronyme "FERTD". (IBM 2023).

5.1.1 Équité

L'équité, ou "fairness" en anglais, permet à l'IA de traiter tous les individus de façon égale, sans discrimination ni préjugés. Comme il a été expliqué dans le chapitre 4.1.1.1, un modèle de ML qui apprendrait à détecter des fautes pourrait développer des penchants racistes et discriminatoires. En utilisant des images en noir et blanc, l'IA ne ferait plus la distinction entre les couleurs de maillot ou de peau et serait alors plus juste. Une autre solution réalisable, mais moins réaliste due au taux de travail qu'elle demanderait, serait d'utiliser le montage vidéo. En juin 2023, la marque Orange dévoilait une publicité visant à promouvoir le football féminin. (Marie Claire s.d.). Dans la vidéo, ils ont mis le visage et les maillots de joueurs sur des actions de joueuses. Une technique dans ce genre pourrait mettre tout le monde au même niveau et aider à ne pas influencer l'IA. L'équité s'explique aussi par le fait que tous les clubs devraient être traités de la même façon. Malheureusement, le prix de la VAR et de ses technologies fait que certains clubs de certaines divisions n'ont pas accès à la vidéo.

5.1.2 Explicabilité

L'explicabilité, ou "explainable" en anglais, désigne le fait que le fonctionnement des systèmes d'IA utilisés doit être expliqué et compréhensible, surtout pour le grand public. Sur les sites des instances de football comme l'UEFA ou la FIFA, les technologies du GLT et du SAOT sont expliquées dans le détail et même un néophyte est capable de comprendre. Les nouvelles technologies qui seront implémentées devront aussi être expliquées et claires pour les supporters qui souhaitent savoir comment leur sport favori évolue.

5.1.3 Robustesse

La robustesse, ou "robustness" en anglais, désigne la sécurité des systèmes d'IA. Une IA doit être sécurisée comme tout système informatique dans le monde. Il existe peu de documentation sur la sécurité de la VAR actuelle. La robustesse peut aussi être associée à la capacité de réaction lors d'une erreur. Il peut arriver qu'une IA commette une erreur et dans ce cas-là, il faudra une réaction de la part des instances du football. Il faudra enquêter et comprendre pourquoi le système a fauté et faire en sorte que cela ne se reproduise pas.

5.1.4 Transparence

La transparence, ou "transparency" en anglais, montre que le système utilisé doit être expliqué au public, comme lors d'un match de football. La technologie du SAOT, après utilisation, voit son résultat être montré à la télévision à l'aide d'une représentation en 3D du hors-jeu. Cette dernière permet aux utilisateurs de comprendre la décision finale de l'arbitre et met tout le monde d'accord. Les technologies utilisées dans le futur devront être transparentes envers le public afin de ne pas éveiller des soupçons de triche. Nous savons que les supporters de football sont très méfiants dû à la forte corruption qui existe dans le sport.

5.1.5 Confidentialité des données

La confidentialité des données, ou "data privacy" en anglais, concerne la mise en sécurité des informations récoltées pendant les matchs de football. Les données récoltées sont surtout celles des performances des joueurs, qui en étant volées peuvent divulguer des informations cruciales pour les rivaux. C'est pourquoi les données collectées doivent être sécurisées en utilisant des techniques classiques de cybersécurité comme le chiffrement des données ou bien la réalisation d'audits de sécurité réguliers.

5.2 Défis éthiques, réglementaires et politiques

5.2.1 Adaptation du règlement

Si l'on veut continuer à modifier la VAR et à y rajouter des technologies via l'IA, les règles pourraient venir à changer. Lors de l'implémentation du SAOT, les critiques les plus récurrentes visaient la précision extrême de la technologie, qui pouvait détecter un hors-jeu pour une avance pour le moins significative. Cette précision a poussé certains noms du football à repenser la règle du hors-jeu, comme l'entraîneur Arsène Wenger, légende du club d'Arsenal. Actuellement, un joueur est fautif si une partie de son corps est hors-jeu. Avec la loi Wenger, le joueur est en jeu tant qu'une partie de son corps l'est. (beIN SPORTS 2024).

Ce n'est pas la seule adaptation de règle qui guette le ballon rond. Si l'on veut développer des technologies comme le DAF ou l'AVA, il faut changer le règlement. Actuellement les arbitres ne peuvent faire intervenir la VAR que lors d'un cas d'erreur manifeste, ce qui n'est pas le cas d'une simple faute. Avec ces implémentations, les arbitres devront pouvoir changer la quasi-totalité de leurs décisions comme les cartons jaunes, par exemple.

5.2.2 Adaptation / Déshumanisation du corps arbitral

Le SAOT est une technologie semi-automatique car ce sont les arbitres vidéo qui confirment le hors-jeu et c'est l'arbitre principal qui prend la décision finale. Le protocole est ainsi fait afin que l'arbitre ne soit pas totalement remplacé dans ces faits de jeu et dans le but de ne pas entamer une déshumanisation du corps arbitral. Mais le retour que nous fait le SAOT aurait pu être la décision finale tant cet outil est précis.

Au tennis, les avancées technologiques sont telles que l'arbitre n'est là "que pour compter les points". La technologie Hawk-Eye arrive à déterminer si la balle a tapé à l'intérieur des lignes et si le point est valide ou non. On peut facilement imaginer que dans quelques années le rôle d'arbitre au tennis sera en train de disparaître petit à petit.

Avec des technologies comme le DAF ou l'AVA, le rôle de la technologie prendra de plus en plus de place et le rôle des humains, de moins en moins. Ce remplacement du rôle humain dans l'arbitrage est un thème éthique qu'il est important de mettre sur la table. Nous en avons justement parlé avec Lionel Tschudi lors de notre interview. Il m'a dit qu'il ne trouvait pas impossible que dans quelques années, les arbitres principaux présents sur le terrain soient au nombre de deux mais qu'on ait supprimé les arbitres assistants. En effet, avec le SAOT une grande partie de leur rôle s'est évaporée.

"[...] est-ce qu'on aura deux arbitres principaux et pas d'assistants ? C'est une possibilité d'évolution. Je sais que pas mal de tests ont été faits pour savoir si on peut arbitrer avec deux arbitres ou non."

(Lionel Tschudi 2024)

5.2.3 Responsabilité en cas d'erreur

Si le SAOT commet une erreur et signale un joueur en position de hors-jeu alors qu'il ne l'est pas, à qui incombe la faute ? La faute pourrait revenir aux développeurs de cette technologie, aux instances qui fournissent les images, aux instances de football qui auront testé cette technologie ou encore aux arbitres présents dans la salle de la VAR. Lorsqu'un arbitre commet une faute sur le terrain, la faute lui incombe sans aucun doute. Mais lorsque c'est une technologie, un débat se crée. Les instances responsables du bon fonctionnement de ces technologies devraient porter devant les supporters la

responsabilité de leur erreur. Après cela, il pourrait être difficile pour les supporters de continuer à faire confiance à la VAR et ses IA.

5.2.4 Indépendance des ligues / fédérations

Comme l'EFL l'a fait avec la technologie "Dragon", les ligues ou fédérations nationales mécontentes du fonctionnement et du rendement de la VAR, pourraient essayer de développer leurs propres solutions. À l'aide de certaines marques intéressées, comme Apple dans le cas de Dragon, ces développements pourraient créer une mauvaise rivalité entre les développeurs de ces technologies et des conflits d'intérêts entre l'UEFA et la FIFA et ces fédérations internationales.

5.3 Avis des parties prenantes

Dans le cas d'une implémentation accrue de technologies utilisant l'intelligence artificielle ou le remplacement total du corps arbitral, les avis de la part des principales parties prenantes du monde du football comme les arbitres ou les supporters seraient multiples. Ces avis seraient différents selon les mentalités des personnes. Il est assez difficile de savoir quelle serait l'avis des joueurs, des entraîneurs ou bien même des arbitres à plus de technologies dans la VAR voire un remplacement du métier d'arbitre. J'ai cependant pu connaître l'avis d'un arbitre, qui m'a dit la chose suivante :

"Dans tout projet, dans toute évolution il y a ceux qui sont fermés et ceux qui sont ouverts. Je pense que c'est une question de mentalité et de philosophie mais aussi de plus-value. Moi je suis pour les modifications technologiques qui amènent quelque chose mais je sais que pas tout le monde est du même avis."

(Lionel Tschudi 2024)

Nous savons que les avis différencieraient, cependant nous pouvons être sûrs que les arbitres n'aimeront pas l'idée de voir leur métier être remplacé par des machines et des robots. D'ailleurs, le manque d'humanité et de rapports humains qui en découlerait ne devrait pas non plus plaire aux joueurs, ni aux supporters.

"Aujourd'hui je ne suis pas convaincu qu'un joueur de football veuille un robot qui lui dise quoi faire et même le supporter, il ne pourra plus râler sur un robot."

(Lionel Tschudi 2024)

5.3.1 Avis du public

Pour mieux comprendre quelle serait l'avis du public à de tels changements, j'ai partagé un sondage avec dix questions à choix multiples qui m'a permis de mieux connaître leurs avis. Les premières questions tournaient autour de la confiance du public envers la VAR et ce qu'ils avaient pu ressentir pour ou contre cet outil.

Comment évaluez-vous l'impact de la VAR sur le jeu ?

26 réponses

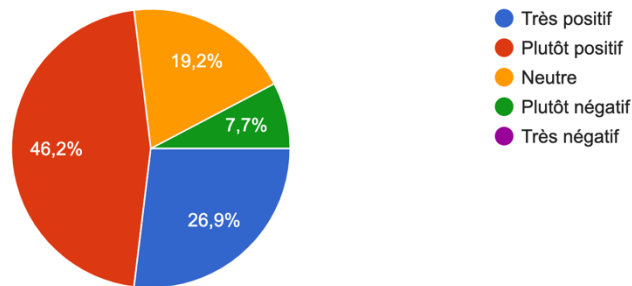


Figure 7 - Graphique des réponses à la 2ème question de mon sondage

Dans quelle mesure faites-vous confiance à la VAR pour prendre des décisions justes ?

26 réponses

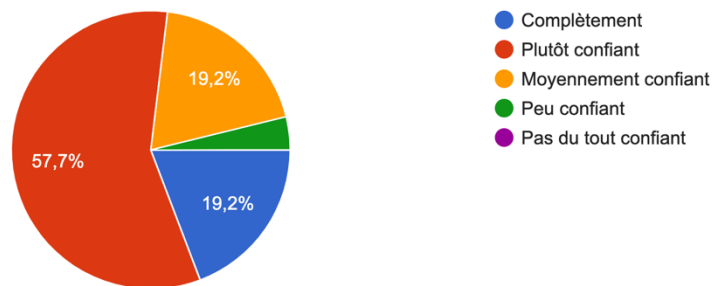


Figure 8 - Graphique des réponses à la 5ème question de mon sondage

Avant même d'aborder le sujet de l'IA, j'ai voulu savoir si le public avait confiance en la VAR ou non. Les questions 2 et 5 m'ont le plus aidé à comprendre leur avis. Avec toujours plus ou moins 3/4 de réponses positives, cela marque la réussite claire de l'implémentation de la VAR dans le football qui selon la plupart, a réussi à impacter positivement le jeu. Si l'on met de côté les réponses neutres, entre 4% et 7% des sondés trouvent que la VAR a eu un impact négatif ou n'ont pas confiance en elle. C'est un chiffre minime mais qui pourrait venir à augmenter en cas de mauvaises performances de la VAR dans les prochains mois.

Pensez-vous que l'utilisation de l'IA, devrait être augmentée dans le football pour améliorer l'arbitrage ?

26 réponses

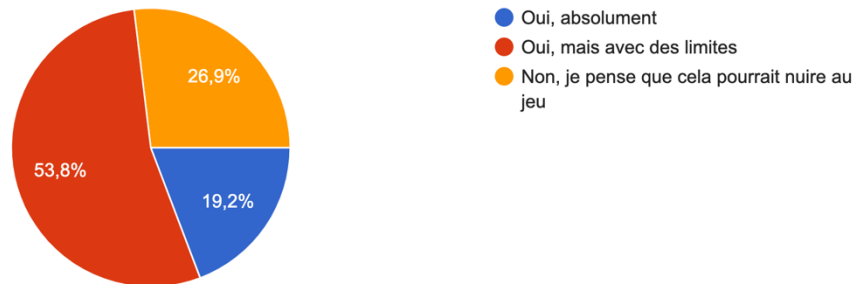


Figure 9 - Graphique des réponses à la 6ème question de mon sondage

Seriez-vous favorable à ce que l'IA remplace les arbitres humains présents dans la salle de la VAR ?

26 réponses

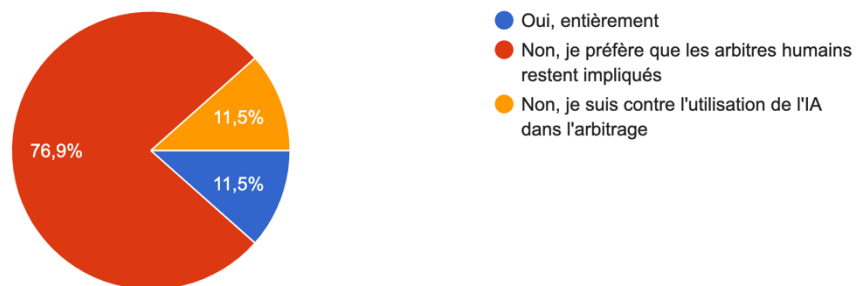


Figure 10 - Graphique des réponses à la 7ème question de mon sondage

En ce qui concerne l'IA, les questions étaient tournées vers l'augmentation de son utilisation dans la VAR voire le remplacement de cette dernière par cette technologie. Globalement, le public est pour une augmentation de l'utilisation de l'IA dans la VAR, mais plus de la moitié veulent que cette augmentation soit limitée. Effectivement, le deuxième graphique nous montre que plus de 3/4 des sondés ne souhaitent pas voir les machines ou les robots prendre totalement le contrôle de la VAR mais qu'ils souhaitent bel et bien des arbitres humains.

Quel est, selon vous, le plus grand avantage de l'IA dans l'arbitrage ?

26 réponses

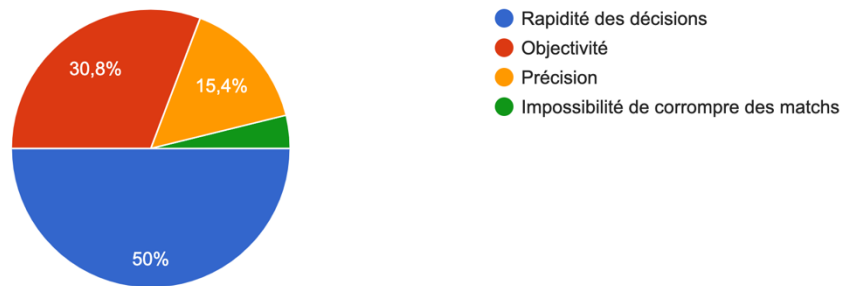


Figure 11 - Graphique des réponses à la 9ème question de mon sondage

Quelles sont vos plus grandes craintes à ce que l'IA remplace la VAR actuelle ?

26 réponses

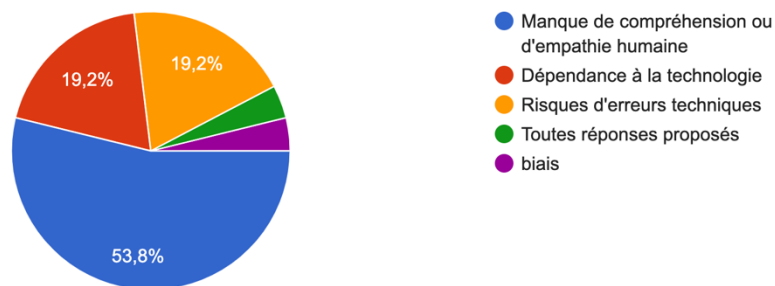


Figure 12 - Graphique des réponses à la 10ème question de mon sondage

Finalement, il est intéressant de comprendre quels sont les avantages et les craintes du public envers l'IA dans la VAR. Dans les deux cas, une réponse est majoritaire : la rapidité des décisions pour les avantages et le manque de compréhension ou d'empathie humaine pour les craintes. Comme le SAOT l'a démontré, l'IA peut aller beaucoup plus vite que l'humain. La décision finale de l'arbitre principal peut donc être prise plus rapidement et le jeu peut reprendre sans de grandes interruptions. En ce qui concerne le manque de compréhension ou d'empathie, cela explique les réponses à la 7ème question. Si les sondés préfèrent que les arbitres restent en place à la VAR et qu'ils ne soient pas remplacés par l'IA, c'est par peur d'un manque d'humanité dans l'arbitrage des matchs.

6. Perspectives

6.1 Innovations technologiques et futur de la VAR

Plus le temps passe, plus les technologies et les IA s'améliorent avec l'avancée des réseaux mobiles comme la 5G, les IA de plus en plus et de mieux en mieux entraînées, etc. Plus les années passent, plus ces dernières pourront résoudre de nouveaux problèmes et être considérées dans des domaines comme celui de la VAR. En août 2024, c'est l'EFL, la ligue anglaise de football, qui a dévoilé être en train de travailler sur une nouvelle forme de SAOT appelée "Dragon".

Cette technologie de détection semi-automatique des hors-jeux se base sur la puissance des iPhone, les smartphones de la marque Apple, pour améliorer ce point de la VAR lors des matchs de Premier League, le championnat de première division anglaise. À l'aide de 28 de ces iPhone interconnectés postés tout autour du terrain et de la puissance de leurs caméras, la précision de la détection des hors-jeux sera décuplée. De nos jours, le SAOT capte 29 points dans le corps de chaque joueur tandis que Dragon en captera entre 7'000 et 10'000. Plus que des points comme des articulations ou extrémités, ce sont les contours des corps des joueurs qui seront captés et utilisés. De plus, les images seront capturées 200 fois par seconde au lieu de 50, aujourd'hui. Cela permettra à la VAR d'être plus précise et de savoir exactement à quel moment le ballon est parti du pied du joueur qui fait la passe. (RMC Sport 2024b). En Angleterre, dû aux multiples erreurs de la VAR, cette dernière n'est pas appréciée, que ce soit par les supporters, les instances ou bien même les clubs. Si la Premier League, qui est incontestablement le championnat de football le plus populaire du monde en ce moment, décidait d'abandonner la VAR, cela pourrait ouvrir la boîte de Pandore et pousser d'autres championnats "anti-VAR" à développer leur propre technologie ou bien à en utiliser une déjà développée comme Dragon.

Dans tous les cas, la VAR devrait changer dans les prochaines années. Que ce soit par l'IA ou non, de nouvelles technologies ou fonctionnalités seront implémentées pour mieux assister l'arbitrage. Les règles pourront être adaptées, tout comme le nombre d'arbitres. Avant l'arrivée de la VAR, un arbitre de surface était présent à côté de chaque but pour surveiller les agissements dans la surface de réparation⁶ et valider que le ballon avait bien franchi la ligne en cas de but. Avec l'implémentation de la VAR et du GLT, il

⁶ Surface se trouvant devant un but dans laquelle le gardien peut toucher le ballon avec les mains.

n'est plus d'utilité d'avoir un arbitre de ce genre sur le terrain. D'autres adaptations du corps arbitral pourraient être d'actualité dans le futur.

6.2 Futur de l'IA dans la VAR

L'IA existe depuis des décennies, mais ce fût lors de ces dernières années qu'elle connue son avènement. Cette technologie s'améliore et devient plus puissante d'année en année. Cette évolution nous permet de penser que la VAR ne va pas s'arrêter au SAOT, mais qu'elle va continuer à implémenter de nouvelles IA toutes plus utiles les unes que les autres. Ces IA pourraient être celles décrites dans le chapitre 4, qui seraient de superbes assistants à l'arbitrage, comme l'est le SAOT aujourd'hui.

Ces technologies développées dans le chapitre 4 sont celles dont on imagine facilement l'implémentation dans les prochaines années, voire les prochaines décennies. Certaines comme l'AVA ou le système de détection de sortie de balles pourraient être, avec un peu de volonté de la part des différentes instances de football, développées prochainement. Le système de détection de sortie de balles est une technologie très proche de la GLT, aucune recherche spécifique pour le développement de la technologie n'est à faire. L'AVA est une technologie dont m'a parlé Lionel Tschudi qui travaille régulièrement en tant qu'arbitre principal ou en tant qu'arbitre assistant vidéo, il sait donc de quoi il parle quand il dit qu'une technologie d'assistant vocal serait un plus pour l'arbitrage.

La technologie qui prendra le plus de temps à venir, si elle vient à voir le jour, c'est le DAF qui détecte automatiquement les fautes. La technologie est décrite plus haut avec plus de limitations que d'avantages, pour la simple et bonne raison que c'est une technologie moins réaliste et moins réalisable que les autres. On pourrait ne jamais la voir être implémentée dans la VAR pour deux raisons principales. La première est due à la zone grise dont me parlait Lionel Tschudi. Le football est un sport qui nécessite de l'interprétation au niveau de l'arbitrage, une interprétation que l'IA ne pourrait pas apporter. Sur un contact, comme une main d'un défenseur posée sur l'épaule d'un attaquant pendant une course droit au but de ce dernier, l'IA pourrait détecter le contact et la faute. Mais seul un arbitre humain pourrait savoir si la faute existe réellement, si le joueur ne s'est pas laissé tomber en sentant le contact. La deuxième raison est la difficulté de développement d'une telle technologie. Ilyes Talbi m'avouait pendant notre échange que cette question, c'est-à-dire savoir comment l'on pourrait développer un détecteur de fautes pourrait être le sujet d'un travail de recherche entier tant il est complexe.

Nous pouvons être sûrs que la VAR ne va pas s'arrêter en si bon chemin après le succès du SAOT. D'autres technologies viendront, mais les instances telles que l'UEFA, la FIFA

ou encore l'IFAB sauront-elles s'arrêter à une assistance au corps arbitral ou iront-elles jusqu'à remplacer ce dernier ?

6.3 L'IA va-t-elle remplacer la VAR ?

Lors du développement du SAOT et de Dragon, le choix des instances a toujours été de laisser le dernier mot aux humains, ce sont des technologies semi-automatiques. Ce parti pris montre bien l'envie des instances de ne pas robotiser l'arbitrage dans le football, de garder les arbitres humains et de ne pas les remplacer. Comme je l'ai déjà expliqué plus haut, le SAOT a tout pour pouvoir être automatique. Les instances responsables du processus d'utilisation de cette technologie au sein de la VAR auraient pu leur laisser la responsabilité de la décision finale. Mais cette dernière a été laissée aux arbitres, notamment à l'arbitre principal, afin de ne pas écarter totalement les hommes en noir. Les arbitres, eux, n'ont évidemment pas envie de voir leur métier disparaître au profit des robots et des machines. D'autant plus que les arbitres exercent ce qu'on appelle un "métier passion", et que certains le font de manière non-professionnelle, comme c'est le cas en Suisse. Dans mon entretien avec Lionel Tschudi, ce dernier m'a avoué avoir déjà pensé au remplacement de son métier par l'IA. Malgré tout, il ne pense pas que ce sera possible dû à la zone grise qui existe dans le football, mais qui n'existe pas dans le tennis par exemple, qui pourrait prochainement voir ces arbitres être remplacés par la technologie Hawk-Eye. Benjamin Guedj, chercheur en Machine Learning et spécialiste en IA, confirme les dires de l'arbitre suisse :

"Aucune machine ne sait deviner l'intention d'un joueur qui commet une faute, alors que l'arbitre intégrera sa perception à la décision. Cela peut faire la différence entre une faute simple, un carton jaune ou un carton rouge, soit un fait de jeu potentiellement majeur."
(Brosseau 2024)

Ilyes Talbi, expert en IA, m'a lui raconté que chez les développeurs d'intelligences artificielles, ils n'étaient pas dans l'optique de remplacer l'humain, en tout cas pas pour l'instant :

"D'ailleurs, nous dans les projets d'intelligence artificielle, on n'est pas beaucoup à être dans une optique de remplacement des professions. Sur les questions d'arbitrage ou d'analyse des performances, c'est pas du tout l'état d'esprit actuel."
(Ilyes Talbi 2024)

Grâce à toutes ces recherches et interviews, je pense pouvoir dire que non, l'intelligence artificielle ne remplacera pas la VAR, en tout cas pas tout de suite. Car oui, l'avancée de la technologie est telle que dans quelques années, le contenu de ce document pourrait devenir caduque car l'éthique autour du remplacement des métiers aura peut-être changé et la technologie sera assez avancée pour pouvoir développer un arbitre virtuel. Mais actuellement ce n'est pas le cas. Les instances du football continueront à profiter

de l'IA et de sa puissance pour aider et assister les arbitres dans leurs tâches, mais leur remplacement ne devrait pas se réaliser.

7. Conclusions

7.1 Résumé des points clés

Grâce à ce travail de recherche, j'ai pu développer mes connaissances sur l'IA et la VAR à l'aide de mes recherches et de mes interviews. J'ai pu imaginer ce que pourrait être le futur de la VAR et plus spécifiquement le futur de l'IA dans la VAR. La technologie la plus évidente est le système de détection de fautes. Une technologie qui ne verra le jour qu'après beaucoup de recherche et de développement mais également beaucoup d'envie de la part des instances de football. Au cours de ma discussion avec Lionel Tschudi, nous avons développé une idée de technologie d'assistance vocale à l'arbitrage, un outil qui peut s'avérer utile pour tenir l'arbitre informé de certains faits de jeu au fur et à mesure du match. Ce sont les deux technologies principales parmi celles que j'ai listé, avec leurs avantages et leurs limites.

J'ai également pu développer les défis que représente l'implémentation de nouvelles technologies d'IA dans la VAR. Les défis éthiques, comme l'adaptation du corps arbitral mais aussi des défis réglementaires et politiques comme l'adaptation du règlement ou l'indépendance des ligues et fédérations. Ces défis doivent être connus afin de savoir ce qui peut coûter aux parties prenantes du football de voir la VAR se développer. Il a aussi été intéressant de connaître l'avis de ces parties prenantes, sans quoi le football ne serait rien. Après avoir discuté avec un arbitre et sondé le public, que j'ai appelé "public" et non "supporters" car certains sondés ne suivent pas le football, j'ai pu avoir un avis plus global sur le futur de l'IA dans la VAR.

Finalement, j'ai décrit les perspectives et le futur de l'IA dans la VAR, notamment en parlant de Dragon, l'outil d'assistance à l'arbitrage qui remplacera la VAR en Angleterre. Tout ce travail m'aura permis de répondre aux questions de recherche et également à la problématique de mon mémoire.

7.2 Réponses aux questions de recherche

7.2.1 Est-ce que la VAR est suffisamment efficace ?

L'utilisation de la VAR a su corriger les erreurs dans des situations dites binaires, comme les hors-jeu ou les buts (but ou pas but). Pour ce qui est des décisions non-binaires, la VAR a permis aux arbitres, principaux comme assistants vidéo, de revoir ces images et se forger un nouvel avis en fonction de celles-ci. C'est ainsi que beaucoup d'erreurs ont été corrigées et que le taux de bonnes décisions des arbitres a grimpé au fil des années. Cependant, encore quelques erreurs persistent et gâchent certains matchs. Le problème se trouve rarement dans les technologies utilisées mais plutôt dans la communication

entre les arbitres et dans de mauvaises interprétations des images. La VAR est extrêmement efficace et dans le futur, elle pourrait être amenée à l'être encore plus.

7.2.2 Qu'est-ce que l'IA peut apporter de positif à la VAR ?

L'IA, à travers le SAOT, a apporté une technologie semi-automatique qui permet aux arbitres vidéo de ne plus devoir poser les lignes lors d'une analyse d'une situation de hors-jeu. La rapidité à laquelle le SAOT prend une décision est incomparable à celle des humains : 31 secondes séparent les deux en moyenne. C'est cette rapidité d'exécution que l'IA apporte à la VAR. Sur les situations binaires, elle effectue le travail de l'arbitre plus rapidement. Sur des situations non-binaires, avec une technologie comme le DAF, elle pourrait ramener une certaine stabilité et une certaine objectivité à l'arbitrage, notamment en maintenant toujours les mêmes critères, ce que ne sont pas toujours capable de faire les arbitres aujourd'hui. Effectivement, les arbitres ont tous une vision différente du football et de certaines règles. Une IA, elle, traiterait tout le monde de la même façon, avec le même jugement et les mêmes critères.

7.2.3 Quelles sont les nouvelles technologies utilisant l'IA qui pourraient voir le jour au sein de la VAR ?

Les nouvelles technologies qui pourraient voir le jour ont été développées dans le chapitre 4. À part le DAF, plus compliqué à mettre en place, les autres technologies devraient finir par exister si les instances y mettent du leur. Il faudra sûrement adapter le règlement et réaliser toute une batterie de tests avant de les mettre en place.

7.2.4 L'IA, simple assistant ou remplaçant de la VAR ?

Cette question est une sorte de synthèse de la problématique de ce mémoire. L'IA va-t-elle simplement assister la VAR et les arbitres ou les remplacer ? Depuis son implémentation, la VAR a globalement été très utile au bon déroulement des matchs de football et de l'arbitrage. L'IA a également été utile par sa présence via le SAOT et les possibles futures technologies (cf. ch. 4) le seront aussi, si elles sont bien mises en place et bien utilisées. L'humain travaille bien avec l'IA, et tant qu'elle reste une assistante, les arbitres en profiteront pour l'utiliser à bon escient.

En ce qui concerne le remplacement de la VAR, ça ne devrait pas être le cas. Comme je l'ai expliqué dans le chapitre 6.3, les développeurs dans les projets d'IA ne sont pas tournés vers la suppression de métiers, et les instances du football non plus. Quand on sait que le SAOT ou que Dragon, sont ou seront des technologies semi-automatiques, cela nous laisse penser qu'ils ne veulent pas remplacer les arbitres. En plus de la volonté de conserver les arbitres du monde de l'IA et des instances du football, il y a cette zone grise dont j'ai tant parlé qui empêche une IA de décider dans des situations qui

demandent une interprétation humaine. Encore une fois, la technologie évolue si vite que toute la réponse à cette question pourrait changer d'ici quelques années ou quelques décennies. Mais actuellement, l'IA devra rester une assistante à l'arbitrage et il n'est pas prévu qu'elle devienne elle-même l'arbitre.

7.3 Limites du sujet

Certaines parties de ce mémoire ont été plus compliquées à rédiger car leur thème était moins documenté. Je parle notamment de l'avis des parties prenantes sur le futur de la VAR ou bien tout simplement les futures technologies de la VAR. Pendant l'été 2024, la solution Dragon de l'EFL a été dévoilée dans les médias, ce qui m'a permis d'écrire dessus, mais à quelques semaines près je n'aurais pas pu l'inclure dans mon mémoire. La VAR et l'IA sont des technologies, quant à elles, très bien documentées et leur fonctionnement est bien expliqué. Il a également été compliqué de parler avec une instance du football, en l'occurrence l'UEFA, pour obtenir une interview et mieux comprendre le fonctionnement de la VAR et savoir quels étaient les projets de l'UEFA pour cette dernière.

Glossaire

VAR : Video Assistant Referee (Assistance vidéo à l'arbitrage)

IA : Intelligence Artificielle

FIFA : Fédération Internationale de Football Association

UEFA : Union of European Football Associations (Union des associations européennes de football)

KNVB : Koninklijke Nederlandse Voetbalbond (Fédération des Pays-Bas de football)

CIES : Centre International d'Étude du Sport

SFL : Swiss Football League (Ligue suisse de football)

EFL : English Football League (Ligue anglaise de football)

PL : Premier League (Championnat de 1ère division d'Angleterre)

GLT : Goal-Line Technology

SAOT : Semi Automated Offside Technology (Hors-jeu semi-automatique)

DAF : Détection Automatique des Fautes

AVA : Assistance Vocale à l'Arbitrage

ML : Machine Learning (Apprentissage automatisé)

DL : Deep Learning (Apprentissage en profondeur)

NLP : Natural Language Processing (Traitement du langage naturel)

s.d. : sans date

Bibliographie

ARNAUD MIRIBEL, s.d. Les éléments au cœur de l'IA - That's AI. [en ligne]. s.d. Disponible à l'adresse : <https://www.that-s-ai.org/fr-CH/units/les-elements-au-coeur-de-l-ia> [consulté le 9 août 2024].

AWS, s.d. Qu'est-ce que l'apprentissage par renforcement ? - L'apprentissage par renforcement expliqué - AWS. *Amazon Web Services, Inc.* [en ligne]. s.d. Disponible à l'adresse : <https://aws.amazon.com/fr/what-is/reinforcement-learning/> [consulté le 16 août 2024].

BBC, 2024. VAR in the Premier League: What is new for 2024-25 season? *BBC Sport* [en ligne]. 14 août 2024. Disponible à l'adresse : <https://www.bbc.com/sport/football/articles/cwyj7y89yq4o> [consulté le 1 septembre 2024].

BEIN SPORTS, 2024. Football : vers une révolution pour la règle du hors-jeu ? *beIN SPORTS* [en ligne]. 19 mars 2024. Disponible à l'adresse : <https://www.beinsports.com/fr-fr/football/articles/football--vers-une-rvolution-pour-la-rgle-du-hors-jeu--2024-03-19> [consulté le 21 août 2024].

BLENT, 2022. L'apprentissage supervisé : définition et exemples. *Formation Tech et Data en ligne | Blent.ai* [en ligne]. 2022. Disponible à l'adresse : <https://blent.ai/blog/a/apprentissage-supervise-definition> [consulté le 16 août 2024].

BROSSEAU, Fleur, 2024. Football : l'intelligence artificielle remplacera-t-elle bientôt les arbitres ? *Science et vie* [en ligne]. 18 juin 2024. Disponible à l'adresse : <https://www.science-et-vie.com/technos-et-futur/football-lintelligence-artificielle-remplacera-t-elle-bientot-les-arbitres-68531.html> [consulté le 31 août 2024].

CHAPUZET, Aurélien, 2021. Reconnaissance vocale : Fonctionnement et Composition. *Vivoka* [en ligne]. 24 février 2021. Disponible à l'adresse : <https://vivoka.com/fr/reconnaissance-vocale-fonctionnement-composition/> [consulté le 17 août 2024].

CHATGPT, 2024. ChatGPT. [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : <https://chatgpt.com/> [consulté le 1 septembre 2024].

CIES, 2022. Weekly Post 368. [en ligne]. 2022. Disponible à l'adresse : <https://football-observatory.com/IMG/sites/b5wp/2021/wp368/en/> [consulté le 1 septembre 2024].

CLOUDFLARE, s.d. Qu'est-ce que l'IA prédictive ? [en ligne]. s.d. Disponible à l'adresse : <https://www.cloudflare.com/fr-fr/learning/ai/what-is-predictive-ai/> [consulté le 14 août 2024 a].

CLOUDFLARE, s.d. Qu'est-ce que l'apprentissage automatique ? [en ligne]. s.d. Disponible à l'adresse : <https://www.cloudflare.com/fr-fr/learning/ai/what-is-machine-learning/> [consulté le 15 août 2024 b].

COMTE, Nathan, 2024. Quels sont les différents types d'IA ? *Digitad* [en ligne]. 6 mai 2024. Disponible à l'adresse : <https://digitad.fr/les-differents-types-d-ia/> [consulté le 14 août 2024].

EUROSPORT, 2022. Technologie, caméras et animations 3D : Le hors-jeu « semi-automatique » ou SAOT, mode d'emploi avant le Mondial 2022. *Eurosport* [en ligne]. 14 juin 2022. Disponible à l'adresse : https://www.eurosport.fr/football/coupe-du-monde/2002/role-cameras-et-animations-3d-le-hors-jeu-semi-automatique-mode-d-emploi_sto8991006/story.shtml [consulté le 9 août 2024].

FIFA, 2022. Technologie semi-automatisée de détection du hors-jeu. [en ligne]. 2022. Disponible à l'adresse : <https://inside.fifa.com/origin1904-p.cxm.fifa.com/technical/football-technology/football-technologies-and-innovations-at-the-fifa-world-cup-2022/semi-automated-offside-technology> [consulté le 9 août 2024].

IBM, s.d. Qu'est-ce que l'intelligence artificielle (IA) ? | IBM. [en ligne]. s.d. Disponible à l'adresse : <https://www.ibm.com/fr-fr/topics/artificial-intelligence> [consulté le 9 août 2024].

IBM, 2023. Éthique de l'IA | IBM. [en ligne]. 20 décembre 2023. Disponible à l'adresse : <https://www.ibm.com/fr-fr/topics/ai-ethics> [consulté le 20 août 2024].

IFAB, s.d. Protocole d'assistance vidéo à l'arbitrage | IFAB. [en ligne]. s.d. Disponible à l'adresse : <https://www.theifab.com/fr/laws/latest/video-assistant-referee-var-protocol/> [consulté le 17 juillet 2024].

ILYES TALBI, 2024. *Interview d'Ilyes Talbi*. 04 juillet 2024.

JACQUEMARD, Nicolas, 2018. Arbitrage vidéo : le football américain en précurseur. *Dicodusport* [en ligne]. 26 avril 2018. Disponible à l'adresse : <https://dicodusport.fr/blog/arbitrage-video-le-football-americain-en-precurseur/> [consulté le 30 juillet 2024].

LA REVUE IA, 2023. La revue IA. *La revue IA* [en ligne]. 9 janvier 2023. Disponible à l'adresse : <https://larevueia.fr/> [consulté le 14 août 2024].

LE PARISIEN, 2023. Ligue 1 : 83 % des erreurs arbitrales corrigées par la VAR, selon la DTA. *leparisien.fr* [en ligne]. 20 juin 2023. Disponible à l'adresse : <https://www.leparisien.fr/sports/football/ligue-1-83-des-erreurs-arbitrales-corrigees-par-la-var-selon-la-dta-20-06-2023-6ISJIJEHXNATZGBBHA6HBK5X5Q.php> [consulté le 29 août 2024].

LE POINT, 2024. Comment l'intelligence artificielle va transformer notre rapport à la performance. *Le Point* [en ligne]. 4 avril 2024. Disponible à l'adresse : https://www.lepoint.fr/sport/comment-l-intelligence-artificielle-va-transformer-notre-rapport-a-la-performance-04-04-2024-2556806_26.php [consulté le 9 août 2024].

LE TEMPS, 2018. La VAR, acte 3 scène 1 - Le Temps. [en ligne]. 1 mars 2018. Disponible à l'adresse : <https://www.letemps.ch/sport/football/var-acte-3-scene-1> [consulté le 16 juillet 2024].

L'ÉQUIPE, 2022. Coupe du monde: le ballon «n'était pas entièrement sorti» lors du match Japon-Espagne. *Coupe du monde: le ballon «n'était pas entièrement sorti» lors du match Japon-Espagne* [en ligne]. 2022. Disponible à l'adresse : <https://www.lenouvelliste.ch/sport/football/coupe-du-monde/coupe-du-monde-le-ballon-netait-pas-entierement-sorti-lors-du-match-japon-espagne-1241066> [consulté le 19 août 2024].

LES ECHOS, 2018. Quand le logiciel de recrutement d'Amazon discrimine les femmes. *Les Echos* [en ligne]. 13 octobre 2018. Disponible à l'adresse : <https://www.lesechos.fr/industrie-services/conso-distribution/quand-le-logiciel-de-recrutement-damazon-discrimine-les-femmes-141753> [consulté le 19 août 2024].

LIONEL TSCHUDI, 2024. *Interview de Lionel Tschudi*. 08 mai 2024.

MARIE CLAIRE, s.d. « Vous aimez ces actions ? C'est du foot féminin » : via une pub truquée, Orange tacle les préjugés sexistes liés au sport féminin. *Marie Claire* [en ligne]. s.d. Disponible à l'adresse : <https://www.marieclaire.fr/video-orange-football-feminin-truque,1455728.asp> [consulté le 20 août 2024].

MICROSOFT COPILOT, 2024. Microsoft Copilot : votre assistant IA quotidien. *Microsoft Copilot: votre assistant IA quotidien* [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : <https://ceto.westus2.binguxlivesite.net/> [consulté le 1 septembre 2024].

ORACLE, s.d. Savez-vous ce qu'est le deep learning ? [en ligne]. s.d. Disponible à l'adresse : <https://www.oracle.com/ch-fr/artificial-intelligence/machine-learning/what-is-deep-learning/> [consulté le 16 août 2024].

OUGGOURNI, Pierre-Hakim, 2023. Temps de jeu, communication, VAR... L'arbitrage du football français sur le chemin de la modernisation. *Ouest-France.fr* [en ligne]. 7 août 2023. Disponible à l'adresse : <https://www.ouest-france.fr/sport/football/ligue-1/temps-de-jeu-communication-var-larbitrage-du-football-francais-sur-le-chemin-de-la-modernisation-35686384-3294-11ee-9d47-98aefe4d15a3> [consulté le 9 août 2024].

RMC SPORT, 2024a. La Premier League a listé 20 erreurs du VAR et donne des idées d'amélioration. *RMC Sport* [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : https://rmcsport.bfmtv.com/football/premier-league/la-premier-league-a-liste-20-erreurs-du-var-et-donne-des-idees-d-amelioration_AV-202402080519.html [consulté le 27 juillet 2024].

RMC SPORT, 2024b. Révolution en Premier League: des iPhones pour améliorer le VAR et la détection du hors-jeu. *RMC Sport* [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : https://rmcsport.bfmtv.com/football/premier-league/revolution-en-premier-league-des-i-phones-pour-ameliorer-le-var-et-la-detection-du-hors-jeu_AV-202408140477.html [consulté le 23 août 2024].

RTS SPORT, 2019. La VAR vient révolutionner le football suisse. *RTSSport.ch* [en ligne]. 18 juillet 2019. Disponible à l'adresse : <https://www.rts.ch/sport/football/10580017-super-league-la-var-vient-revolutionner-le-football-suisse.html> [consulté le 4 août 2024].

RTS SPORT, 2024. Immersion dans les coulisses de la VAR. *RTSSport.ch* [en ligne]. 22 janvier 2024. Disponible à l'adresse : <https://www.rts.ch/sport/football/14643994-super-league-immersion-dans-les-coulisses-de-la-var.html> [consulté le 9 août 2024].

SCIENCEABC, 2017. How Does The Goal Line Technology Work? *ScienceABC* [en ligne]. 17 octobre 2017. Disponible à l'adresse : <https://www.scienceabc.com/innovation/how-does-the-goal-line-technology-work.html> [consulté le 6 août 2024].

SKY SPORTS, 2024. VAR: Premier League claims 96 per cent of referee decisions are correct - so what is future of technology in football? *Sky Sports* [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : <https://www.skysports.com/football/news/11095/13066177/var-premier-league-claims-96-per-cent-of-referee-decisions-are-correct-so-what-is-future-of-technology-in-football> [consulté le 29 août 2024].

SOFASCORE, 2024. Football - scores, schedule & odds | Sofascore. [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : <https://www.sofascore.com/> [consulté le 14 août 2024].

THE SUN, 2023. What is the difference between the TMO in rugby and VAR in football? *The Sun* [en ligne]. 19 octobre 2023. Disponible à l'adresse : <https://www.thesun.co.uk/sport/5451921/tmo-six-nations-var/> [consulté le 30 juillet 2024].

TRIBUNE DE GENÈVE, 2019. Trois millions pour la VAR en Super League | Tribune de Genève. [en ligne]. 2019. Disponible à l'adresse : <https://www.tdg.ch/trois-millions-pour-la-var-en-super-league-272119906306> [consulté le 9 août 2024].

TRIVELA, 2023. Une énorme erreur d'arbitrage fait scandale au Portugal. [en ligne]. 19 août 2023. Disponible à l'adresse : <https://trivela.fr/2023/08/19/erreur-arbitrage-sporting-portugal/> [consulté le 27 juillet 2024].

UEFA.COM, 2024. Les technologies du football à l'UEFA EURO 2024 | UEFA EURO 2024. *UEFA.com* [en ligne]. 15 mai 2024. Disponible à l'adresse : <https://fr.uefa.com/euro2024/news/028d-1ae50ac5b3da-0315388c7698-1000--les-technologies-du-football-a-l-uefa-euro-2024/> [consulté le 6 août 2024].

WIKIPÉDIA, 2024. Video assistant referee. *Wikipedia* [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Video_assistant_referee&oldid=1237090400#History [consulté le 30 juillet 2024]. Page Version ID: 1237090400

WIRED, 2018. The inside story of how FIFA's controversial VAR system was born. *Wired* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.wired.com/story/var-football-world-cup/> [consulté le 30 juillet 2024].

Annexe 1 : Interview de Lionel Tschudi

Interview de Lionel Tschudi réalisée le 08 mai 2024

L'intitulé de mon Travail de Bachelor est le suivant : "L'Intelligence Artificielle peut-elle contribuer davantage à l'amélioration du système de la VAR voire le remplacer ?". Est-ce que c'est une question qui te parle ou que tu t'es déjà posé ?

Aussi spécifiquement, non. Mais on a vu avec l'évolution du football ces dernières années, l'IA et la technologie va faire et fait partie du football et de l'arbitrage moderne. Même si certaines personnes sont contre la VAR, contre cette aide, je pense qu'on ne va jamais revenir en arrière. Pour nous, en tant qu'arbitres, même si tout n'est pas rose, la VAR est quand même un vrai plus.

Est-ce que tu étais pour la VAR quand elle a été implémentée ?

Pour à 200% ! Ce qu'il faut savoir, c'est que ceux qui n'ont jamais été dans la position d'un arbitre ne comprennent pas ce que l'on vit. La VAR c'est quoi ? Nous on faisait une erreur que tout le monde avait vu dans le stade, que tout le monde avait vu à la télé, puis les seuls qui n'avions pas vu c'est nous sur le terrain. Automatiquement, il y a une déferlante médiatique qui arrive. Donc aujourd'hui grâce à la VAR, dans de nombreuses situations, ça nous permet quand même de corriger notre erreur directement sur le terrain et ça nous permet de passer une meilleure semaine. Maintenant, l'élément qui a été amené c'est que si la VAR ou l'arbitre prend une mauvaise décision, les gens ont moins de compréhension en sachant que la VAR est là. Donc il y a toujours des situations compliquées, des situations qui ont fait ou qui vont faire scandale, parce que chacun a sa vision de ce qui est une erreur claire et manifeste. La zone grise dans le football a toujours existé et va toujours exister, derrière la VAR ça reste des êtres humains qui peuvent faire des erreurs. On l'a vu dans d'autres championnats, une mauvaise communication entre la VAR et l'arbitre, une mauvaise analyse, une mauvaise caméra et on prend des décisions qui sont mauvaises. Mais en tout cas, statistiquement, il y a moins d'erreurs et globalement, on a moins de problèmes dans le championnat suisse grâce à la VAR.

Tu disais qu'il n'y aura jamais de retour en arrière, comment tu vis le fait de devoir arbitrer des matchs sans VAR ?

Pour moi la préparation du match est la même, avec ou sans VAR. J'ai la même mentalité et le même objectif dans chaque match : je veux faire la meilleure performance possible. Je sais que j'ai un airbag en présence de la VAR mais l'objectif n'est pas là, l'objectif est de performer sur le terrain, avec ou sans VAR. Pour les assistants, ça change, avec la VAR ils doivent attendre la fin de l'action pour lever leur drapeau alors que sans la VAR, ce n'est pas le cas. Pour nous, avec la VAR, on attend avant de siffler pour ne pas interrompre l'action, ce n'est pas le cas sans la VAR. Mais pour moi, c'est le même match et la même préparation.

Est-ce que tu ressens la même pression à la VAR et sur le terrain ?

Un arbitre sur le terrain sans VAR, en une fraction de seconde on prend une décision et on peut se tromper. Ça peut être dû à une mauvaise interprétation, ça été trop vite, je n'étais pas bien préparé, etc. Il y a plein d'explications pour argumenter ta mauvaise décision. À la VAR, si tu prends une mauvaise décision, comment est-ce que tu peux l'argumenter ? Tu as 6, 12 ou 20 caméras, dépendamment du match, tu as le temps qu'il te faut, etc. Le public a plus de peine à comprendre une erreur. Mais il faut savoir qu'il y a une pression à la VAR. Parfois, on veut trop bien faire les choses, on veut prendre des décisions trop rapidement et puis si on ne suit pas le processus parfait, une erreur est vite arrivée. Mais c'est sûr que la pression sur la VAR est plus importante parce que plus personne n'accepte une erreur de la VAR alors que l'erreur de l'arbitre, on l'accepte encore.

En quoi la technologie actuelle de la VAR est efficace pour le football ? Quels sont ses avantages et ses limites ?

Aujourd'hui, si on parle uniquement des décisions binaires, comme le hors-jeu, la VAR est parfaite. Avec le SAOT, une décision est prise en moins de 5 secondes ou avec la ligne où on prend un peu plus de temps mais au niveau hors-jeu, dans 99,9% des cas, il n'y a plus aucune discussion possible. Des situations comme les buts / pas buts ou les buts marqués de la main, aujourd'hui on appelle ça de l'histoire mais il ne faut pas oublier qu'il y a des arbitres, des clubs et des joueurs qui ont subis ces situations. Moi, j'essaie toujours de mettre l'arbitre en avant. Il y a eu des menaces de mort, de fin de carrière, pour les arbitres il y'a eu des conséquences importantes. Moi, j'en ai fait des erreurs sans VAR, j'ai reçu des menaces de mort, j'ai vécu des lynchages médiatiques, je peux te dire que je vis mieux depuis qu'il y a la VAR. Le plus compliqué, c'est que dans le football, il y a beaucoup d'interprétation. Cette zone grise existera toujours, avec ou sans VAR, et le but c'est de réduire cette zone grise avec le perfectionnement de la VAR. La VAR a été vendue par les médias comme une technologie qui va régler tous les problèmes. Mais la VAR n'est pas là pour régler tous les problèmes, il y aura toujours des situations "grises". Elle est surtout là pour éviter les gros scandales. Comme je l'ai dit avant, tout le monde a vu dans le stade et à la télévision qu'il y a faute ou qu'il y a hors-jeu, puis les seuls "dadaïes" qui n'ont pas vu ce sont les arbitres sur le terrain. Les grosses erreurs doivent être évitées mais il y aura toujours des situations de jeu où on sera d'accord ou pas d'accord.

Comment ça se passe lorsqu'en tant qu'arbitre principal, vous allez voir la vidéo, mais que vous n'êtes pas d'accord avec la VAR ?

Si la VAR fait du bon travail, quand on arrive devant l'écran on doit avoir un "WOW effect", c'est-à-dire qu'on va voir l'écran et on va se dire : "ok, ma perception de la situation sur le terrain est complètement erronée par rapport à ce que je vois comme image". Mais il y a des cas où la VAR fait un peu moins bien son travail, où les images ne sont pas très claires. À ce moment-là, l'arbitre peut demander un deuxième angle, il peut discuter et il peut rester sur sa décision. C'est l'arbitre principal sur le terrain qui prend la décision et qui prend la décision après l'intervention de la VAR.

Quand la VAR prend une décision et que l'arbitre ne va pas voir l'écran, ça veut dire que vous faites confiance à la VAR ?

Non, c'est uniquement pour les situations binaires. Il y a le "On Field Review", c'est-à-dire quand l'arbitre va voir l'écran, et le "VAR Only" qui concerne uniquement les décisions binaires, où l'on n'a pas besoin d'interprétation.

On a parlé du SAOT, quelle est la raison pour laquelle il n'est pas disponible dans le championnat suisse ?

C'est qu'une question d'argent. Je vais cette semaine en Arabie Saoudite pour officier en tant qu'arbitre VAR et là-bas, ils ont le SAOT. Ce qui est intéressant c'est qu'en Angleterre, ils l'ont refusé. Tout est une question d'investissement, de coût et de rentabilité. En championnat suisse, on a eu la chance de mettre la VAR mais en Suède par exemple ou dans certains pays mineurs, soit ils ont refusé car ils sont contre la VAR soit ils n'avaient pas les moyens. La VAR en Suisse a débuté sans la ligne de hors-jeu, qui est arrivée seulement cette année, parce que rien que les lignes du hors-jeu coûtent peut-être, je ne connais pas les chiffres, entre 200'000 et 400'000 francs par année. Si tu veux avoir le SAOT, il faut installer les caméras spécifiques à cette technologie. Si on rajoute à ça tout le système du SAOT à installer, ça se compte en plusieurs centaines de milliers de francs voire en millions.

À l'aide du SAOT, est-ce qu'on peut imaginer qu'un arbitre principal puisse arbitrer des matchs sans les arbitres assistants ?

Aujourd'hui, le discours des instances internationales dit que l'arbitre assistant est nécessaire. Il ne s'occupe pas que du hors-jeu, le rôle de l'assistant a évolué. Ils peuvent assister pour les fautes, pour les cartons jaunes, les cartons rouges, etc. Ils ont donc d'autres tâches et responsabilités que le hors-jeu mais effectivement, aujourd'hui il n'y a pas de volonté de supprimer les arbitres de touche car je pense qu'il est important pour l'arbitre d'être dans une équipe. Pour un match, il y a l'avant-match et l'après-match, la préparation et l'analyse, le soutien pendant le match qui sont importants. La VAR a aujourd'hui plus de responsabilités que les assistants, donc ils ont perdu un peu de cette responsabilité dans l'équipe d'arbitrage et le football moderne.

À l'époque, il y avait des arbitres à côté des buts. Ils ne sont plus présents aujourd'hui ?

Non, aujourd'hui techniquement, les deux qui étaient derrière les buts sont à la VAR. Ils ont beaucoup plus de responsabilités, de tâches et surtout beaucoup plus d'influence sur le match qu'à l'époque.

Quand la VAR et l'IA sont arrivées dans le football, est-ce que tu t'es demandé si le rôle d'arbitre principal allait disparaître et être remplacé par la technologie ?

Oui, je me suis posé la question. Aujourd'hui, il y a le Hawk-Eye dans le tennis, qui va gentiment remplacer tous les arbitres. L'arbitre de tennis, la seule chose qui fait, c'est "compter les points". Mais dans le football, il y a toute cette zone grise. C'est-à-dire que l'IA ne va pas pouvoir analyser ce qu'est une poussée, un contact, un duel, ce qui est autorisé et ce qui ne l'est pas. Pour moi, c'est trop difficile. Alors peut-être que l'IA va y arriver mais je pense que ça va être très compliqué de faire quelque chose d'automatique pour pouvoir juger tous les duels. Par exemple, le tirage de maillot, qu'est ce qui est autorisé ou pas, dans les corners, qu'est ce qui est autorisé ou pas, etc. Là, il y a encore besoin d'une interprétation humaine. Après, pour revenir sur la question d'avant, est-ce qu'on aura deux arbitres principaux et pas d'assistants ? C'est une possibilité d'évolution. Je sais que pas mal de tests ont été faits pour savoir si on peut arbitrer avec deux arbitres ou non. Je ne vois pas l'arbitre être totalement remplacé par l'IA, en tout cas pas dans le football.

Quels aspects d'un match l'IA pourrait mieux analyser que l'humain ? L'IA analyserait-elle mieux toutes les décisions binaires et l'humain toutes les décisions qui demandent une interprétation ?

Oui, exactement. Je pense que l'IA pourrait analyser les fautes simples, classiques mais on arrive à un certain niveau de fautes dans le football qui vont être compliquées à analyser pour l'IA.

Comment penses-tu que les acteurs du monde du football, comme les joueurs, les entraîneurs ou même les supporters, pourraient réagir en cas de grosse évolution de la technologie dans le football ?

On a un monde avec plein d'opinions différentes. Moi je suis un pro-VAR mais j'ai encore vu il n'y a pas longtemps une chronique anti-VAR d'un journaliste romand. Dans tout projet, dans toute évolution il y a ceux qui sont fermés et ceux qui sont ouverts. Je pense que c'est une question de mentalité et de philosophie mais aussi de plus-value. Moi je suis pour les modifications technologiques qui amènent quelque chose mais je sais que pas tout le monde est du même avis.

Est-ce que pour faire évoluer la VAR, les instances du football seraient prêtes à modifier le règlement ?

Oui, ils l'ont déjà fait et ils le font continuellement. Par exemple, les pénaltys avec le gardien qui doit avoir un pied sur la ligne. C'est une conséquence de la VAR car c'est plus simple pour la VAR de savoir s'il a un pied en avant ou pas. À l'époque, ce qu'il pouvait faire ou non, ce n'était pas très claire. Il y a certaines règles qui sont devenues plus binaires. Mais si on prend les fautes de main, avec ou sans VAR, la problématique existe depuis 100 ans, depuis que le football existe. Dans le football, il y a des règles qui sont difficiles. On pourrait transformer toutes les règles en règles binaires, par exemple siffler toutes les fautes de main. Ça simplifierait les choses pour la VAR mais ça n'irait pas dans le sens du football. Il faut accepter que certaines règles ou certaines interprétations vont toujours être sujet à débat.

Une nouvelle version de la règle du hors-jeu pourrait être mise en place prochainement. Le joueur serait hors-jeu uniquement si tout son corps l'est. Que penses-tu de cela ?

Au niveau de l'interprétation des lois de jeu, rien ne change pour nous. Ça reste binaire, est-ce qu'on pose la ligne de telle manière ou d'une autre. L'objectif, si j'ai bien compris, c'est de promouvoir le beau jeu, qu'il y est plus de buts et plus d'actions, plus de divertissement. D'un point de vue arbitral, il n'y a pas grand-chose qui change. Les assistants, eux, devront totalement changer leur façon de fonctionner. Donc pour eux, il y a beaucoup de choses qui changent, pour la VAR et l'arbitre principal, il n'y a pas grand-chose qui change.

Comment les arbitres sont-ils formés à l'utilisation de la VAR ?

Pour être "VAR proof" comme on dit, par l'IFAB et la FIFA, nous en Suisse on a eu une année de formation. On doit comprendre tout le règlement, car il y a des spécificités. Ensuite, on s'entraîne sur des clips de championnats étrangers puis on fait des simulations de matchs en tant qu'arbitre VAR. C'est important d'assimiler tout le processus VAR. La meilleure formation pour un arbitre c'est l'expérience, donc on doit arbitrer des matchs et ensuite régulièrement on a des formations au niveau international avec l'UEFA. Au niveau suisse, tous les 6 mois on a une formation un peu plus poussée et on a des cours pendant la saison, plus ou moins 4 fois par année.

Si le SAOT est implémenté en Suisse, vous aurez des formations pour cette technologie ?

Pour les lignes, on a eu une journée de formation avant le début de la saison. Certains arbitres internationaux, comme moi, on a déjà travaillé avec les lignes et le SAOT. Pour les autres, quand le SAOT viendra en Suisse, on aura une formation avant le championnat.

Donc pour ce qui est de ma problématique, toi tu penses que l'IA pourra contribuer davantage à la VAR mais jamais la remplacer ? Tu ne penses pas pouvoir communiquer directement avec une IA au lieu de la salle de la VAR ?

Je dirais plutôt non. Je pense que l'IA pourrait faciliter le travail de la VAR au niveau des décisions binaires mais il faudra toujours un arbitre pour interpréter des situations, savoir s'il y a faute ou pas, si le contacte suffit ou pas, etc. Est-ce que l'IA pourra un jour analyser ça, je ne suis pas expert dans le domaine donc si tu me dis que oui, je veux bien te croire mais aujourd'hui je n'ai pas l'impression que c'est le chemin que souhaitent emprunter les instances internationales. Un match dure 90 minutes, et il n'y a pas que "faute ou pas faute", il y a aussi la gestion du match. Il faut expliquer les décisions aux joueurs, les calmer, etc. Le football est ce qu'on appelle un "people business", il y a des émotions. Il faut toujours un manager, un chef sur le terrain qui est là pour discuter, pour calmer les émotions, pour prendre des décisions, pour sanctionner. Aujourd'hui je ne suis pas convaincu qu'un joueur de football veuille un robot qui lui dise quoi faire et même le supporter, il ne pourra plus râler sur un robot. Il y aura évidemment une évolution, l'IA deviendra peut-être un accompagnant de l'arbitre. Ce qui peut être intéressant aussi c'est que l'AI, automatiquement avec le système de communication, pourrait dire : "c'est la 3ème faute du numéro 8 ou le numéro 8 vient réclamer depuis quinze mètres". Je pense que l'IA peut aider l'arbitre à prendre de meilleures décisions mais je ne suis pas convaincu qu'il puisse remplacer totalement l'arbitre, que ce soit à la VAR ou sur le terrain.

Parfois on voit les arbitres être submergé par les joueurs d'une équipe après une prise de décision, est-ce que tu aimerais dans ce genre de moment être aidé par un assistant vocal ?

Si on a une technologie qui nous donne des informations comme : "dans les dix dernières minutes, l'équipe A a fait 10 fautes pour casser le jeu", alors ok, ce sont des informations qui peuvent aider à prendre une meilleure décision.

En tant que supporter, j'imagine que l'arbitre revoit les actions du match après la fin de ce dernier, en rentrant chez lui. Maintenant qu'il y a la VAR, est-ce que tu discutes avec l'arbitre assistant vidéo après le match pour faire un débrief ?

Après le match, en Suisse, on a un coach arbitral qui vient au stade et je fais une analyse d'après-match et je donne mon feeling à chaud. Le coach, lui, a vu les images et donne aussi son ressenti. Puis quand je rentre, dans le train, je téléphone à l'arbitre assistant vidéo et on analyse le match. J'analyse aussi le match le lendemain, à tête reposée.

Je n'ai plus de questions, est-ce que tu as une dernière remarque à faire ?

Je l'ai déjà dit mais, nous en tant qu'arbitres, on est content si on a la technologie et des aides supplémentaires pour prendre de meilleures décisions. On n'est pas contre l'outil de la VAR, au contraire on est pour parce qu'on a subi des situations compliquées. On a tous vécu des moments avant la VAR où on aurait voulu qu'elle existe, j'ai eu une situation où j'ai raté un carton rouge, le joueur s'est blessé huit mois et avec la VAR j'aurais au moins pu sanctionner le joueur. Puis de nouveau, le point sur lequel je veux appuyer c'est qu'on a cru que la VAR allait régler tous les problèmes mais non, elle n'est pas là pour ça, elle est là pour les grosses erreurs. Je pense que tout le monde du football a besoin de plus communiquer sur la VAR pour expliquer les décisions. Le dernier point c'est qu'il y a plus de 20 arbitres suisses qui opèrent sur le terrain ou à la VAR et chacun à la compréhension et la vision du football qui est la sienne. Donc oui on essaye d'analyser ensemble régulièrement les actions pour créer une certaine consistance dans les décisions mais c'est sûr qu'il y aura toujours des avis différents.

Annexe 2 : Interview d'Ilyes Talbi

Interview d'Ilyes Talbi réalisée le 04 juillet 2024

Comment définirais-tu l'intelligence artificielle ?

J'ai une définition générique, c'est l'ensemble des techniques qui permettent de donner à la machine la capacité de comprendre les concepts, de comprendre la data et de nous aider dans la prise de décision.

Comment l'IA traite une vidéo ou une image ?

Une image, mathématiquement, ce sont des pixels, c'est une matrice avec un ensemble de valeurs à l'intérieur. L'IA va chercher des zones d'intérêts avec ce qu'on appelle de la détection de "features" qui sont les objets principaux les plus intéressants à détecter à l'intérieur de l'image. À partir de ça, on entraîne un modèle d'IA, donc il faut imaginer l'IA comme une machine dans laquelle tu lui donne, en entrée, dans ton cas d'usage des séquences vidéo, en lui disant "Exemple 1 : il y a faute, exemple 2 : il n'y a pas faute, etc.". Pendant cette phase, l'IA va faire ce qu'on appelle l'entraînement donc il faut imaginer que ton IA est une machine dans laquelle il y a des boutons et tu tournes ces boutons pendant la phase d'entraînement. Elle se paramètre pour être capable de prendre une décision sur des exemples qu'elle n'aurait pas vus. Une fois que je sors de mon dataset d'entraînement, et que je lui donne une nouvelle séquence vidéo, elle va pouvoir me dire si c'est une faute ou pas par rapport à ce qu'elle a appris. En fait, ce sont des caractéristiques qu'elle apprend toute seule, la définition d'une faute c'est quelque chose qu'elle va apprendre toute seule en fonction de la position et des valeurs des pixels.

Imaginons que les images d'entraînements contiennent plus de séquences où les joueurs qui portent un maillot bleu subissent plus de fautes que les autres, existe-t-il un risque que l'IA soit biaisée dans ses décisions ?

Oui, c'est possible et c'est un gros risque qui existe dans les modèles d'IA de Deep Learning. Il y a un exemple très concret dans le monde du recrutement. L'IA d'Amazon avait appris avec les données d'entraînement qu'Amazon recrutait plus d'hommes que de femmes et avait donc considéré qu'il fallait uniquement recruter des hommes. À chaque fois qu'un CV de femmes était analysé par l'IA, elle le rejetait automatiquement. C'est ce qu'on appelle les biais de l'IA, et c'est un risque qui est réel.

Est-ce que modifier les vidéos afin que tous les joueurs est un maillot de la même couleur peut être une solution ?

Oui, sur un cas d'usage comme celui-ci, on a deux options. Sois faire en sorte que le dataset soit bien équilibré, avec des couleurs de maillot assez bien réparties, des couleurs de crampons ou même des nationalités différentes. L'IA peut aussi avoir des biais plus graves et commencer à penser, par exemple, que les joueurs africains font plus de fautes que les autres donc ce sont des choses auxquelles il faut faire attention. Ou bien alors, ce qu'on peut faire comme étape de "pre-processing", c'est transformer les images en noir et blanc, c'est quelque chose qui peut bien marcher. Il faut ensuite faire en sorte que pendant l'étape de production, la même transformation soit appliquée.

Est-ce qu'à l'aide de l'algorithme YOLO⁷, on peut détecter une faute en quelques secondes pendant un match, est-ce que c'est quelque chose de possible aujourd'hui ou c'est de la fantaisie ?

Non, sur un cas d'usage comme celui-ci, on ne peut pas utiliser une seule intelligence artificielle. YOLO, c'est juste la brique qui va te permettre de localiser tes joueurs sur le terrain. Une fois qu'ils ont été localisés, tu vas devoir faire de l'estimation de pose humaine, c'est-à-dire détecter la position des articulations et des corps des joueurs. Après, techniquement, je ne sais pas exactement comme le mettre en place, c'est un projet de recherche qui peut prendre du temps, il y a des tests à faire et ce n'est pas facile. Tu peux, par exemple, essayer de mettre en place des méthodes géométriques et regarder par rapport aux positions des joueurs. S'il est par terre, on peut signaler quelque chose à l'arbitre. On va pouvoir dire qu'il y a quelque chose d'intéressant à regarder, mais pour déterminer s'il y a faute ou non, ce ne sont peut-être pas les images de la diffusion qui seront utiles mais peut-être les images de ralenti qui peuvent aider.

⁷ Algorithme découvert sur un article de "La revue IA"

Est-ce que tu penses que l'IA peut remplacer l'arbitre, ou penses-tu qu'il peut uniquement être un complément à l'arbitrage ?

Non, ça va être un complément, un peu comme pour ce qu'il se fait en gymnastique où une IA va déterminer les positions d'un athlète pendant que les gestes sont effectués pour déterminer à quel point ils sont proches de la chorégraphie qui doit être reproduites. C'est quelque chose qui est déjà implémentée pour les compétitions comme les JO, sachant que c'est juste un assistant. D'ailleurs, nous dans les projets d'intelligence artificielle, on n'est pas beaucoup à être dans une optique de remplacement des professions. Sur les questions d'arbitrage ou d'analyse des performances, c'est pas du tout l'état d'esprit actuel.

Est-ce que tu peux m'expliquer comment, lors de l'utilisation du SAOT, les caméras captent les données des joueurs sans l'utilisation d'aucun capteur ?

Ça fonctionne avec un système de triangulation, les caméras sont placées tout autour du stade et vu que le joueur se retrouve sous plusieurs angles de vu, on peut d'abord récupérer les estimations de poses en 2D. Ensuite, avec la triangulation, qui est une méthode géométrique, tu peux retrouver la position 3D du joueur. La technologie est semi-automatique, car ce sont eux qui ont décidés que ce serait comme ça mais techniquement ce système de détection pourrait être automatique.

Est-ce que tu as une idée de ce que l'IA pourrait prochainement apporter de plus à la VAR ? Pendant mon interview avec un arbitre, il m'a dit qu'ils pourraient utiliser l'IA pour leur communiquer des informations, qu'en penses-tu ?

Ce serait très intelligent d'avoir un assistant vocal auquel l'arbitre pourrait poser des questions et demander des informations. Un autre cas d'usage auquel je pense ce sont les franchissements de ligne, est-ce que la balle a franchi une ligne ou non, à priori ce ne serait pas très compliqué à implémenter. L'intérêt de plus d'implémentations est clair, l'arbitre ne peut pas voir tout ce qu'il se passe sur le terrain. À la base la VAR, c'est ce qu'elle doit faire mais il y a des problèmes avec la VAR actuellement, ils ne sont pas capables de voir tout ce qu'il se passe sur le terrain donc l'IA peut servir d'assistant qui va déclencher des signaux, comme un système de détection d'anomalies.

Est-ce que la GLT utilise l'IA ?

Non, la position du ballon est détectée via les capteurs qui se situent à l'intérieur.

Pour conclure, tu penses que l'IA peut continuer à modifier la VAR mais ne peut pas la remplacer ?

C'est possible de remplacer le système de la VAR par une IA techniquement. Mais il faut beaucoup de synchronisation et beaucoup de volonté politique, à ce niveau-là on parle plus de volonté politique qu'autre chose, c'est du lobbying, en tout cas techniquement c'est possible, mais je le vois plus en tant qu'assistant plutôt qu'en remplacement total du système de la VAR.

J'imagine qu'il faut beaucoup de tests et d'audits lors de l'implémentation d'une technologie ?

Oui, il existe des entreprises spécialisées dans les tests et les audits. Pour vérifier qu'il n'y ait pas de biais dans les algorithmes, ce sont des choses qui sont prises au sérieux aujourd'hui.

Annexe 3 : Sondage au public

Connaissiez-vous la VAR (Video Assistant Referee) utilisée dans le football ? *

☐ Oui

☐ Non

☐ J'en ai entendu parler

Comment évaluez-vous l'impact de la VAR sur le jeu ? *

☐ Très positif

☐ Plutôt positif

☐ Neutre

☐ Plutôt négatif

☐ Très négatif

Figure 13 - 1ère et 2ème questions de mon sondage

Selon vous, la VAR rend-elle le football plus juste ? *

☐ Oui, beaucoup plus juste

☐ Un peu plus juste

☐ Ça ne change pas grand chose

☐ Moins juste

☐ Pas du tout juste

Avez-vous déjà ressenti de la frustration ou de la satisfaction à cause d'une décision prise par la VAR lors d'un match que vous avez regardé ? *

☐ Oui, de la frustration

☐ Oui, de la satisfaction

☐ Non, cela n'a pas affecté mon ressenti

☐ Toutes les réponses ci-dessus

Figure 14 - 3ème et 4ème questions de mon sondage

Dans quelle mesure faites-vous confiance à la VAR pour prendre des décisions justes ? *

- ☐ Complètement
- ☐ Plutôt confiant
- ☐ Moyennement confiant
- ☐ Peu confiant
- ☐ Pas du tout confiant

Pensez-vous que l'utilisation de l'IA, devrait être augmentée dans le football pour améliorer l'arbitrage ? *

- ☐ Oui, absolument
- ☐ Oui, mais avec des limites
- ☐ Non, je pense que cela pourrait nuire au jeu

Figure 15 - 5ème et 6ème questions de mon sondage

Seriez-vous favorable à ce que l'IA remplace les arbitres humains présents dans la salle de la VAR ? *

- ☐ Oui, entièrement
- ☐ Non, je préfère que les arbitres humains restent impliqués
- ☐ Non, je suis contre l'utilisation de l'IA dans l'arbitrage

Pensez-vous que l'IA pourrait prendre des décisions plus justes que les arbitres humains présents dans la salle de la VAR ? *

- ☐ Totalement
- ☐ Probablement
- ☐ Peut-être
- ☐ Je ne pense pas

Figure 16 - 7ème et 8ème questions de mon sondage

Quel est, selon vous, le plus grand avantage de l'IA dans l'arbitrage ? *

- ☐ Rapidité des décisions
- ☐ Objectivité
- ☐ Précision
- ☐ Autre : _____

Quelles sont vos plus grandes craintes à ce que l'IA remplace la VAR actuelle ? *

- ☐ Manque de compréhension ou d'empathie humaine
- ☐ Dépendance à la technologie
- ☐ Risques d'erreurs techniques
- ☐ Autre : _____

Figure 17 - 9ème et 10ème questions de mon sondage