

Quelques apports des mathématiques pour la modélisation et l'optimisation dans le sport

Sébastien Déjean


`math.univ-toulouse.fr/~sdejean`



Cercle Sofia Kovalevskaja

7 octobre 2023

Qui suis-je ? Mon parcours

- 
- 1993 • Baccalauréat série C, mathématiques et sciences physiques, mention AB, (merci l'option latin !), Lycée Pierre d'Aragon, Muret
 - 1994-1997 • Institut Universitaire Professionnalisé, **Mathématiques Industrielles**, Calcul Scientifique et Statistique (bac + 4)
 - 1998 • Diplôme d'Études Approfondies en mathématiques appliquées (bac + 5)
 - 2002 • Doctorat en mathématiques appliquées (bac + 8)
 - 2003 • Recrutement en tant qu'**ingénieur de recherche** à l'Université Toulouse III – Paul Sabatier

Stages

- Caisse Régionale d'Assurance Maladie (4 mois), *Analyse du calcul du taux de cotisation des accidents du travail*
- Siemens Automotive (10 mois), *Modélisation du comportement d'un moteur à essence en vue de réduire la durée d'essais sur banc-moteur*

Thèse

Institut National de la Recherche Agronomique,
Utilisation d'images satellites pour le suivi de cultures

Métier : ingénieur statisticien



RÉférentiel des Emplois-types
de la Recherche
et de l'ENseignement Supérieur III

data.enseignementsup-recherche.gouv.fr/pages/les_bap

Branches d'Activités Professionnelles

BAP A : Sciences du vivant, de la terre et de l'environnement
> 5 familles professionnelles > 36 emplois-types

BAP B : Sciences chimiques et Sciences des matériaux
> 4 familles professionnelles > 19 emplois-types

BAP C : Sciences de l'Ingénieur et instrumentation scientifique
> 4 familles professionnelles > 37 emplois-types

BAP D : Sciences Humaines et Sociales
> 4 familles professionnelles > 17 emplois-types

BAP E : Informatique, Statistiques et Calcul scientifique
> 5 familles professionnelles > 18 emplois-types

BAP F : Culture, Communication, Production et diffusion des savoirs
> 4 familles professionnelles > 44 emplois-types

BAP G : Patrimoine immobilier, Logistique, Restauration et Prévention
> 3 familles professionnelles > 38 emplois-types

BAP J : Gestion et Pilotage
> 6 familles professionnelles > 33 emplois-types

Familles de la BAP E

- Ingénierie des systèmes d'information
- Ingénierie technique et de production
- Ingénierie logicielle
- **Statistiques**
- Calcul scientifique

Métiers

Ingénieur de recherche (Bac+5, Bac+8)

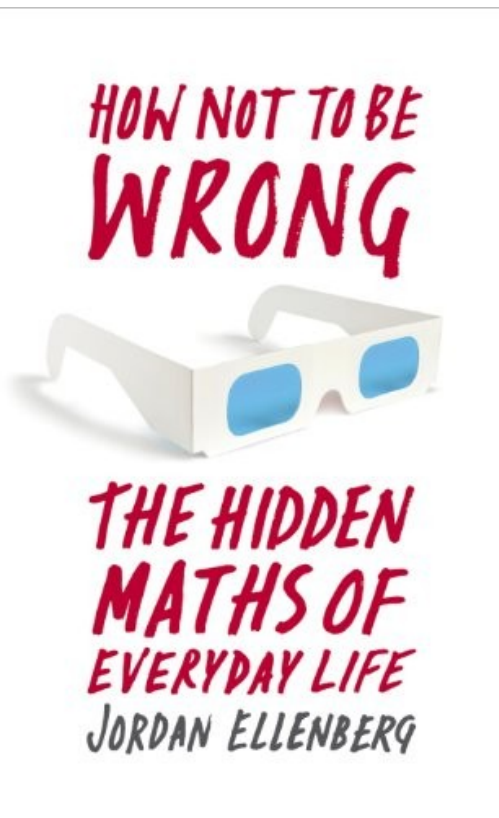
Ingénieur d'études (Bac+3)

Assistant ingénieur (Bac+2)

Technicien (Bac)

Adjoint technique

Répondre à de vraies questions



Je n'aime pas les problèmes "issus de la vie courante". Ils donnent une image fautive du rapport entre mathématiques et réalité. "Bobby a 300 billes ; il en donne 30% à Jenny" [...]

*Mais les questions du monde réel ne ressemblent pas à ce type d'énoncés. **Un problème dans le monde réel**, c'est quelque chose comme : "La récession et ses suites ont-elles été particulièrement dures pour l'emploi des femmes, et dans ce cas, dans quelle mesure est-ce le résultat de l'administration Obama?" Votre calculette n'a pas de bouton pour ça.*

*Car pour donner une réponse vous devez connaître autre chose que de simples chiffres. [...] Ce n'est qu'après avoir formulé ces questions que vous pouvez prendre votre calculette. Mais à ce point, le véritable travail intellectuel est déjà terminé. **Diviser un nombre par un autre, ce n'est que du calcul ; savoir ce que vous devez diviser par quoi, ça, c'est des mathématiques.***

Dans des domaines différents

Imaginez une flotte d'avions **qui transmettraient l'ensemble de leurs données de vol sur une seule et même plate-forme numérique**, de la moindre vanne défectueuse à un décollage poussif, en passant par des vibrations anormales de la voilure. **Collectées, agrégées, retraitées, ces données formeraient un trésor. Il deviendrait possible** pour l'utilisation de chaque avion **de s'enrichir de l'exploitation des autres. À la clé, des millions d'euros d'économie.** Changer cette pièce juste avant qu'elle ne tombe en panne, définir la meilleure trajectoire de vol pour réduire la consommation de carburant... **Une révolution pour** l'aéronautique, **un changement de modèle économique pour** les industriels, **un scénario de rêve** pour les compagnies aériennes.

usinenouvelle.com/article/avec-skywise-airbus-lance-l-internet-des-avions.N618963

Imaginez un ensemble de patients **qui transmettraient l'ensemble de leurs données de santé sur une seule et même plate-forme numérique**, de la moindre prise de tension artérielle jusqu'aux examens génétiques ou d'imagerie lors d'un diagnostic de cancer, en passant par les résultats du bilan lors d'une lombalgie commune. **Collectées, agrégées, retraitées, ces données formeraient un trésor. Il deviendrait possible** pour le soin de chaque patient **de s'enrichir de l'exploitation des autres. À la clé, des vies sauvées et des millions d'euros d'économie.** Mettre en place des mesures de prévention et de dépistages personnalisés, définir le meilleur parcours de soin pour réduire l'impact des maladies et le handicap qui en découle... **Une révolution pour** la santé, **un changement de modèle économique** pour les hôpitaux, **un scénario de rêve** pour les patients et les cliniciens.

Adaptation réalisée avec l'aide de Pr X. de Boissezon (CHU Toulouse)

Orthodontie

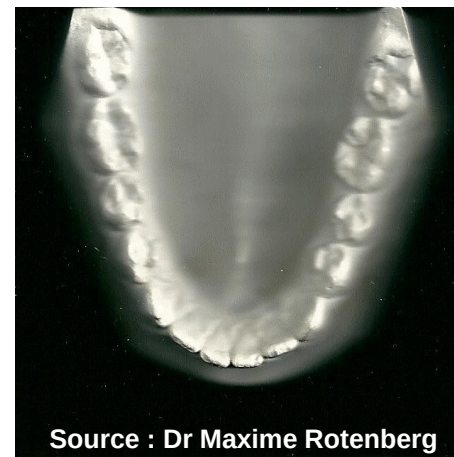
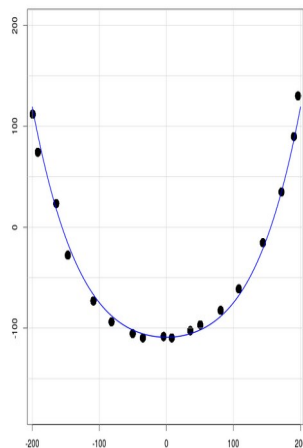
Le fait de porter un appareil dentaire pendant 18 mois est-il vraiment efficace ?

Pour un sourire éclatant...



... et peut-être aussi par là !

... il faut en passer par ici...



Source : Dr Maxime Rotenberg

Modélisation de l'arcade dentaire par un polynôme de degré 4 sans termes de degrés impairs (symétrie axiale)

$$Y = b_0 + b_2X^2 + b_4X^4$$

M. Rotenberg, Modélisation de la forme d'arcade dentaire de jeunes adultes www.theses.fr/1996TOU30012

Réchauffement climatique

1/ Récupérer des plantes sur le terrain

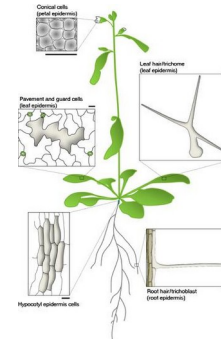


2/ Récupérer les graines et les faire pousser dans des chambres de culture aux conditions contrôlées (température, luminosité, hygrométrie...) à des températures différentes



Quel est l'impact d'une augmentation de la température sur la croissance des plantes ?

3/ Séparer différentes parties de la plante (tige, feuille, rosette...)



4/ Analyser les échantillons de plante avec différentes technologies (séquençage d'ADN, spectrométrie de masse...)



5/ Générer des données volumineuses (plusieurs centaines de milliers de chiffres)

→ besoin d'un statisticien pour les analyser

$$\max_{a_b^{(1)}, \dots, a_b^{(Q)}} \sum_{i,j=1, i \neq j}^Q c_{i,j} \text{cov}(X_b^{(i)} a_b^{(i)}, X_b^{(j)} a_b^{(j)}),$$

$$\text{s.t. } \|a_b^{(q)}\|_2 = 1 \text{ and } \|a_b^{(q)}\|_1 \leq \lambda^{(q)} \text{ for all } 1 \leq q \leq Q$$

	Pectin_RGI	Pectin_HG	XG	Pectin_linearity	Contribution_RG	RGI_branching
Col.22.1	75.96	60.29	92.88	0.94	0.29	2.70
Col.22.2	63.71	76.68	89.76	1.32	0.17	3.49
Col.22.3	69.05	78.73	103.20	1.28	0.20	2.92
Col.15.1	57.56	43.65	81.75	0.85	0.20	4.95
Col.15.2	79.39	74.34	116.76	1.03	0.16	4.92
Col.15.3	84.36	73.31	123.27	0.96	0.17	5.18
Roch.22.1	89.13	109.42	117.23	1.37	0.20	2.69
Roch.22.2	120.02	138.92	135.48	1.33	0.24	2.16
Roch.22.3	97.46	114.35	130.65	1.33	0.22	2.48
Roch.15.1	91.94	88.57	136.65	1.07	0.19	4.04
Roch.15.2	100.44	96.91	193.22	1.04	0.14	5.95
Roch.15.3	96.42	97.84	179.30	1.09	0.13	6.07
Grip.22.1	97.44	119.20	113.23	1.38	0.21	2.50
Grip.22.2	90.28	88.47	111.65	1.12	0.24	2.76
Grip.22.3	45.95	54.63	58.89	1.29	0.14	4.47
Grip.15.1	77.22	72.26	99.00	1.01	0.14	6.26
Grip.15.2	80.55	77.47	122.85	1.04	0.14	6.08
Grip.15.3	86.40	82.43	132.43	1.03	0.13	6.24

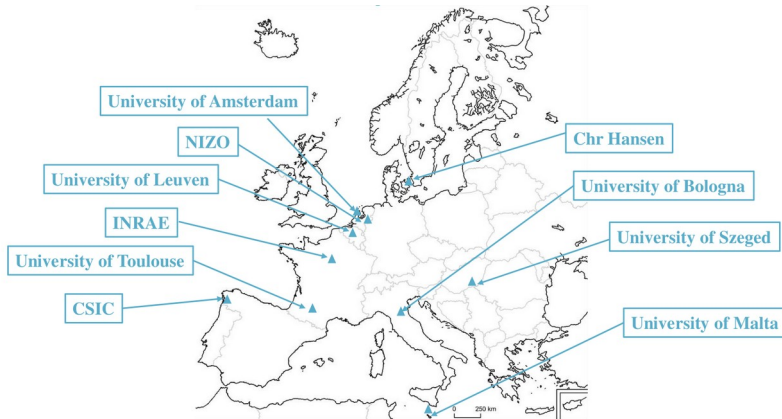
Affinage du fromage



Complex microbial Ecosystems
 MUltiScale modELLing:
 mechanistic and data driven
 approaches integration

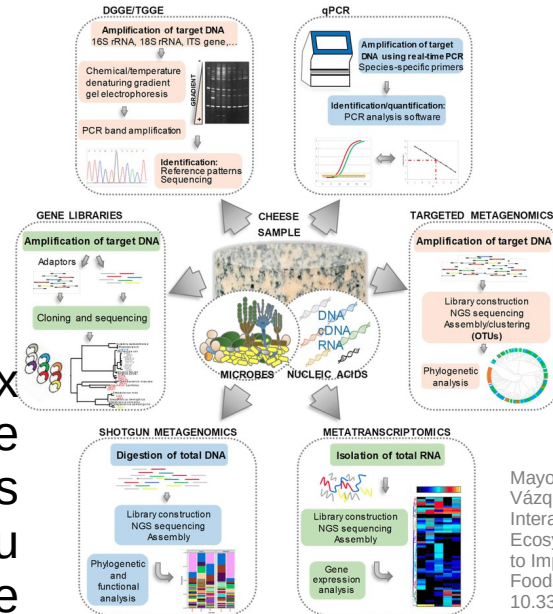
www.itn-emuse.com

10 partenaires européens...



Quels sont les mécanismes microbiologiques qui interviennent lors du processus d'affinage d'un fromage ?

... pour mieux comprendre le processus d'affinage du fromage



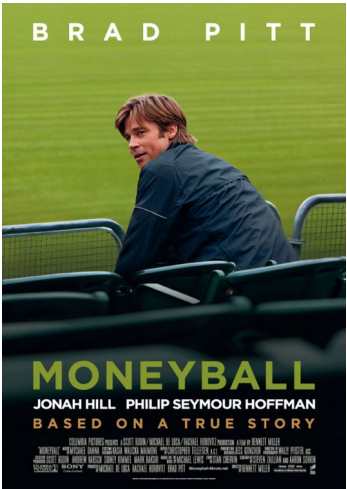
Mayo, Rodríguez Álvarez, Vázquez, Flórez (2021). Microbial Interactions within the Cheese Ecosystem and Their Application to Improve Quality and Safety. Foods. 10. 602. 10.3390/foods10030602.

"This presentation is part of a project that has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No 956126".



Performance sportive

Comment recruter des joueur.se.s performant.e.s pour une équipe de sport collectif ?

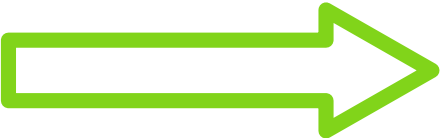
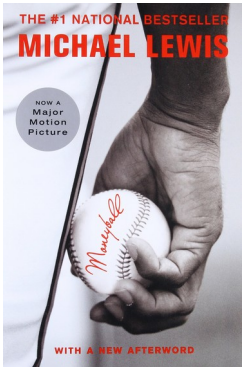


Synopsis

www.allocine.fr/film/fichefilm_gen_cfilm=140005.html

Voici l'histoire vraie de Billy Beane, un ancien joueur de baseball prometteur qui, à défaut d'avoir réussi sur le terrain, décida de tenter sa chance en dirigeant une équipe comme personne ne l'avait fait auparavant...

Il va s'appuyer sur des théories statistiques et engager Peter Brand, un économiste amateur de chiffres issu de Yale. Ensemble, **contre tous les principes, ils reconsidèrent la valeur de chaque joueur sur la base des statistiques** et réunissent une brochette de laissés-pour-compte oubliés par l'establishment du baseball [...] Sans le savoir, Beane est en train de révolutionner toute la pratique d'un des sports les plus populaires du monde.



www.honus.fr/moneyball-interview-dalain-userau-membre-de-la-sabr

C:SK - 7 octobre 2023,

Performance sportive

Imaginez un ensemble de joueur.se.s **qui transmettraient l'ensemble de leurs données de performance sur une seule et même plate-forme numérique**, de la moindre mesure d'accélération, du nombre de ballons touchées, en passant par les passes réussies et les buts marqués. **Collectées, agrégées, retraitées, ces données formeraient un trésor. Il deviendrait possible** pour optimiser les performances de l'équipe **de s'enrichir de l'exploitation des autres. À la clé, des matchs gagnés et des millions d'euros d'économie.** Recruter les meilleur.e.s joueur.se.s pour un budget donné, les mettre dans les meilleures dispositions pour renforcer l'équipe... **Une révolution pour le football, un scénario de rêve** pour les dirigeants de clubs...

Revue de presse



www.lebigdata.fr/sport-et-big-data

Sport et Big Data – Quand la science des données donne l'avantage sur le terrain

ACTUALITE

Coupe du monde: Comment le Big Data coache l'équipe d'Allemagne

www.lexpress.fr/actualite/sport/football/coupe-du-monde-comment-le-big-data-coache-l-equipe-d-allemande_1553634.html

Par Raphaële Karavan

Publié le 26/06/2014 à 15:00



Joachim Löw, le sélectionneur de l'équipe nationale de football allemande, peut s'appuyer sur SAP pour analyser la préparation de la Mannschaft. REUTERS/Dylan Martinez

La Mannschaft s'entraîne depuis quelques mois avec l'appui d'un logiciel analysant les données biométriques et les déplacements des joueurs, ainsi que l'historique des matches joués par

CHIFFRE SPÉCIAL | Découvrez tous nos articles en illimité pour 1€ seulement. Le magazine

INSOLITE. Quand les datas des joueurs du RAF se retrouvent dans des exercices de maths



Les performances de Florian David et ses coéquipiers servent de bases pour des exercices de maths. / DIM - HAUTE-GARONNE

www.ladepeche.fr/2022/03/27/insolite-quand-les-datas-des-joueurs-du-raf-se-retrouvent-dans-des-exercices-de-maths-10198130.php

l'essentiel

Depuis quelques semaines, les footballeurs du FC Foix (Régional 2) portent des gilets connectés, à l'entraînement et en match. Courses, vitesse, déplacements... tout est enregistré. Une nouvelle technologie qui est tout sauf un gadget.

www.ladepeche.fr/2022/03/23/des-gilets-connectes-pour-les-footballeurs-du-fc-foix-regional-1-10189364.php

TFC : Avec Damien Comolli, la révolution du Big Data va déferler sur Toulouse

www.20minutes.fr/sport/2798987-20200614-tfc-damien-comolli-revolution-big-data-va-deferler-toulouse

FOOTBALL Très probable futur président du TFC, Damien Comolli est un pionnier de l'usage des statistiques dans le football, notamment dans le recrutement



Nicolas Stival

Publié le 14/06/20 à 10h15 — Mis à jour le 14/06/20 à 10h15

Le déclic « Moneyball »

L'autre déclic chez Comolli est d'origine familiale : « Son frère installé aux Etats-Unis lui a envoyé le livre *Moneyball* de Michael Lewis qui a été une révélation pour lui : on pouvait donc rationaliser le sport plutôt que se fier à des avis purement subjectifs », décrit l'ancien journaliste. Cet ouvrage de 2003, adapté au cinéma sous le titre *Le Stratège* en VF retrace

Rentrée littéraire



Découvrez comment l'**analyse de données** et les technologies de pointe transforment radicalement le monde du sport, permettant aux athlètes et aux équipes d'améliorer encore et encore leurs performances de façon spectaculaire. Du rugby au football, en passant par la danse et l'athlétisme, *Data & sport?: la révolution dévoile **comment chaque discipline tire parti des données pour optimiser les performances***. Bien sûr, les auteurs explorent également les menaces soulevées par l'utilisation de ces data, et les problématiques qui en découlent pour la vie privée, la sécurité et l'équité. Que vous soyez passionné ou sportif du dimanche, utilisateur ou professionnel de la data, ou simplement curieux de comprendre comment les nouvelles technologies bouleversent l'entraînement des athlètes, plongez au cœur de cette révolution qui façonne l'avenir du sport, et **découvrez comment, dans un futur proche, l'usage de la data touchera tous les sportifs**.

Presse « mathématique »

Voir le dossier

ARTICLE
La recherche au service des jeunes volleyeuses en quête de médaille

DIAPORAMA
Les femmes bénéficient-elles d'une meilleure récupération musculaire ?

DIAPORAMA
Sport : la recherche sur tous les terrains

ARTICLE
Le sport, miroir de nos sociétés

POINT DE VUE
Pourquoi les joueuses sont-elles moins payées ?

ARTICLE
Peut-on contrer les méfaits de la sédentarité ?

ARTICLE
Comment améliorer l'attention des gardiens de but ?

DOSSIER Paru le 10.05.2023 **Sport et science, l'union fait la force**

Voir le dossier

ARTICLE
La recherche au service des jeunes volleyeuses en quête de médaille

DIAPORAMA
Les femmes bénéficient-elles d'une meilleure récupération musculaire ?

DIAPORAMA
Sport : la recherche sur tous les terrains

ARTICLE
Le sport, miroir de nos sociétés

POINT DE VUE
Pourquoi les joueuses sont-elles moins payées ?

ARTICLE
Peut-on contrer les méfaits de la sédentarité ?

ARTICLE
Comment améliorer l'attention des gardiens de but ?

ARTICLE
Le sport est bon pour la santé, c'est prouvé !

ARTICLE
Pour les JO de 2024, sportifs et scientifiques font équipe

ARTICLE
En sport, on innove sur tous les terrains !

BLOG
« Invention, la saga continue » : un vélo à électrostimulation pour améliorer la performance

VIDÉO
Découvrez un lieu incroyable entre sport et science

ARTICLE
Des algorithmes pour dépister le dopage

POINT DE VUE
Du sport performance au sport santé

ARTICLE
Les mésamorphoses du football

POINT DE VUE
Le football, petit ou grand business ?

ARTICLE
Le ballon rond à l'épreuve des probabilités

ARTICLE
« Dans l'Antiquité, on criait déjà "Allez les verts !" »

POINT DE VUE
Réparer les corps élastiques

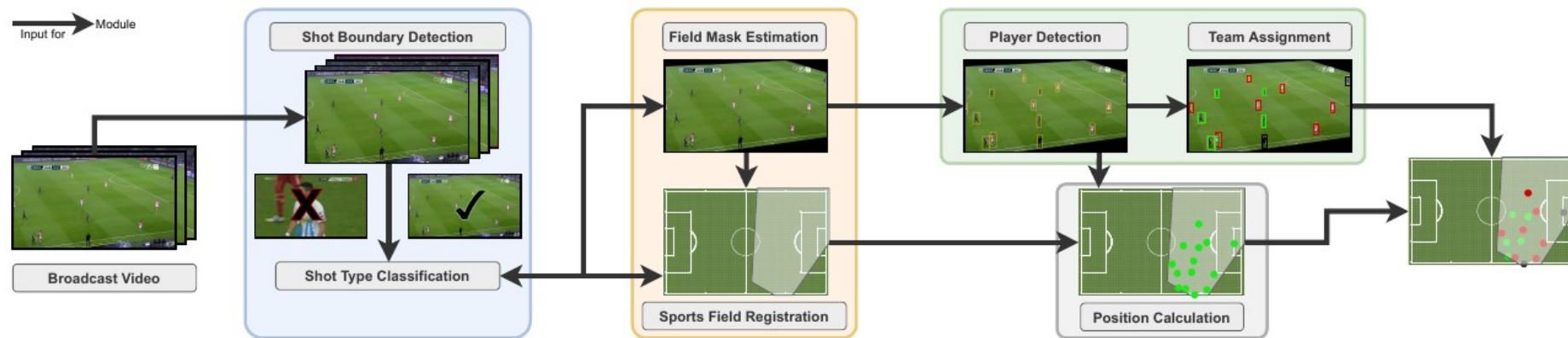
DIAPORAMA
Le vélo, c'est aussi de la science

lejournal.cnrs.fr/articles/quand-les-maths-se-melent-de-sport

Football et analyse de données

Des données pour un match de foot

Comment les générer ?



Source : J. Theiner, W. Gritz, E. Müller-Budack, R. Rein, D. Memmert and R. Ewerth, "Extraction of Positional Player Data from Broadcast Soccer Videos," 2022 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), Waikoloa, HI, USA, 2022, pp. 1463-1473, doi: 10.1109/WACV51458.2022.00153.

Des données pour un match de foot





Où en trouver ?

STATSBOMB

statsbomb.com

WhoScored.com

www.whoscored.com

<p>Analysis Using Pass Completion Models To Evaluate Defenses</p> 	<p>News StatsBomb Offers Free Analytics Support to Women's Teams in 2023/24</p> 
<p>News StatsBomb Release Free 2023 Women's World Cup Data</p> 	<p>Analysis Using Advanced Data To Inform Set Piece Strategy</p> 

WhoScored.com

Live Scores Statistics Previews News Top Facts Free

Detailed Tournaments My Favourites All Leagues & Cups

- Premier League
- Liga Portugal
- Super Lig
- Liga Profesional
- FA Cup
- Serie A
- Eredivisie
- Championship
- Jupiler Pro League
- League Cup
- LaLiga
- Premier League
- Premiership
- 2. Bundesliga
- European Championship
- Bundesliga
- Brasileirão
- League One
- Champions League
- Ligue 1
- Major League Soccer
- League Two
- Europa League

UEC Tue, 12th 19:45 ITA 2 UKR 1 Match Centre	UEC Tue, 12th 19:45 SPA 6 CYP 0 Match Centre	GB Fri, 15th 19:30 FCB B04 Preview	FL1 Fri, 15th 20:00 PSG NIC Head to Head	EPL Sat, 16th 12:30 WOL LIV Head to Head	ISA Sat, 16th 14:00 JUV LAZ Head to Head	EPL Sat, 16th 15:00 WHU MCI Head to Head	EPL Sat, 16th 15:00 MUN BHA Head to Head
---	---	---	---	---	---	---	---

Des données pour un match de foot

Comment les récupérer (facilement) ?

Package **StatsBombR**

github.com/statsbomb/StatsBombR

```
R> library(StatsBombR)
```

```
# Competitions freely available
```

```
R> Compet <- FreeCompetitions()
```

```
# Games availables in Compet
```

```
R> Games <- FreeMatches(Compet)
```

```
# World Cup 2018 (id 43)
```

```
R> WC2018 <- filter(Games,  
competition.competition_id == 43)
```

```
# Events for the games of the WC2018
```

```
R> Events_WC2018 <-  
StatsBombFreeEvents(MatchesDF = WC2018)
```



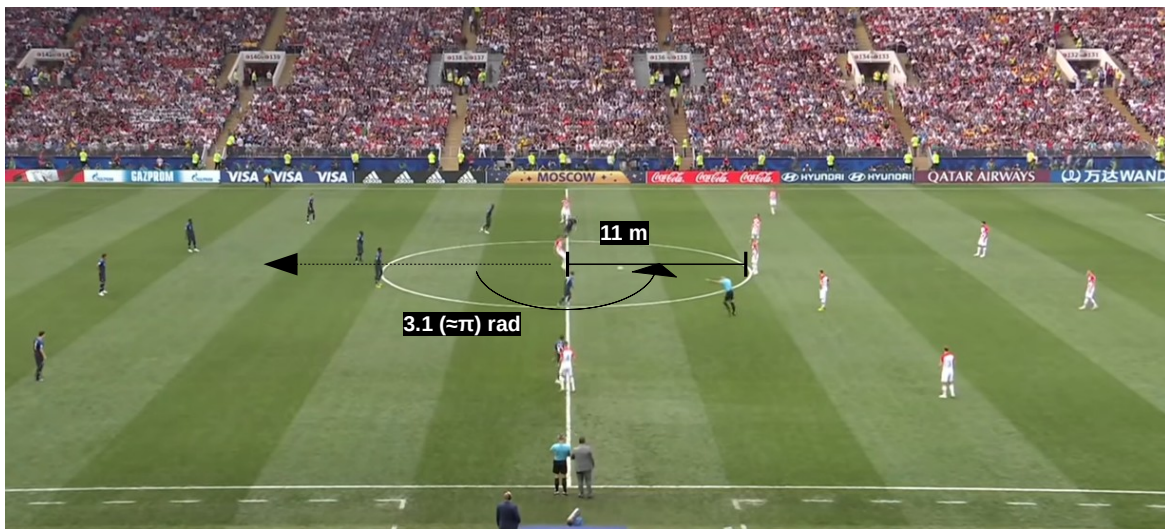
github.com/statsbomb/statsbombpy

Des données pour un match de foot

competition.competiti	period	minute	second	timestamp	player.name	position.name	pass.length	pass.angle	pass.recipient.name	pass.height.name	pass.body_part.name
FIFA World Cup	1	0	0	00:00:00.400	Mario Mandžukić	Center Forward	11,0		3,1 Marcelo Brozović	Ground Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	0	0	2:00:00:02.347	Marcelo Brozović	Center Defensive Midfield	11,2		2,0 Luka Modrić	Ground Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	0	0	3:00:00:03.947	Luka Modrić	Right Center Midfield	23,0		1,6 Šime Vrsaljko	Ground Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	0	0	6:00:00:06.240	Šime Vrsaljko	Right Back	40,3		-2,3 Danijel Subašić	Ground Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	0	0	9:00:00:09.400	Danijel Subašić	Goalkeeper	64,1		-0,1 Mario Mandžukić	High Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	0	0	13:00:00:13.627	Raphaël Varane	Right Center Back	10		1,6 NA	High Pass	NA
FIFA World Cup	1	0	0	16:00:00:16.680	Ivan Perišić	Left Wing	12,6		2,8 Ivan Rakitić	Ground Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	0	0	19:00:00:19.360	Ivan Rakitić	Left Center Midfield	17,9		-1,1 Ivan Strinić	Ground Pass	Left Foot
FIFA World Cup	1	0	0	20:00:00:20.120	Ivan Strinić	Left Back	25,3		1,7 Marcelo Brozović	Ground Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	0	0	23:00:00:23.547	Marcelo Brozović	Center Defensive Midfield	3,6		-2,6 Ivan Perišić	Ground Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	0	0	25:00:00:25.107	Ivan Perišić	Left Wing	12,4		2,9 Domagoj Vida	Ground Pass	Left Foot
FIFA World Cup	1	0	0	27:00:00:27.267	Domagoj Vida	Left Center Back	7,6		0,4 Luka Modrić	Ground Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	0	0	27:00:00:27.920	Luka Modrić	Right Center Midfield	10,4		-2,9 Domagoj Vida	Ground Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	0	0	29:00:00:29.427	Domagoj Vida	Left Center Back	11,2		-1,1 Ivan Rakitić	Ground Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	0	0	31:00:00:31.747	Ivan Rakitić	Left Center Midfield	12,8		2,5 Domagoj Vida	Ground Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	0	0	34:00:00:34.560	Domagoj Vida	Left Center Back	19,1		1,7 Dejan Lovren	Ground Pass	Left Foot
FIFA World Cup	1	0	0	38:00:00:38.627	Dejan Lovren	Right Center Back	37,6		-1,1 Ivan Rakitić	Ground Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	0	0	41:00:00:41.387	Ivan Rakitić	Left Center Midfield	16,1		0,5 Ivan Perišić	Ground Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	0	0	54:00:00:54.747	Benjamin Pavard	Right Back	19,2		-1,7 N"Golo Kanté	Low Pass	NA
FIFA World Cup	1	0	0	56:00:00:56.507	N"Golo Kanté	Left Defensive Midfield	5,1		1,4 Paul Pogba	High Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	0	0	59:00:00:59.187	Marcelo Brozović	Center Defensive Midfield	32,6		2,7 Ivan Perišić	High Pass	Head
FIFA World Cup	1	1	0	00:01:00.107	Ivan Perišić	Left Wing	6,4		2,5 Ivan Rakitić	Low Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	1	1	1:00:01:01.947	Antoine Griezmann	Right Center Forward	6,3		1,2 Kylian Mbappé Lottin	Ground Pass	Left Foot
FIFA World Cup	1	1	1	10:00:01:10.467	Benjamin Pavard	Right Back	33,5		-2,8 Raphaël Varane	Low Pass	NA
FIFA World Cup	1	1	1	14:00:01:14.667	Raphaël Varane	Right Center Back	31,6		-2,2 Hugo Lloris	Ground Pass	Left Foot
FIFA World Cup	1	1	1	17:00:01:17.227	Hugo Lloris	Goalkeeper	17,8		-0,9 Samuel Yves Umtiti	Ground Pass	Left Foot
FIFA World Cup	1	1	1	36:00:01:36.867	Samuel Yves Umtiti	Left Center Back	15,1		-0,1 Blaise Matuidi	Ground Pass	Left Foot
FIFA World Cup	1	1	1	39:00:01:39.027	Blaise Matuidi	Left Midfield	16,5		-2,9 Samuel Yves Umtiti	Ground Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	1	1	41:00:01:41.787	Samuel Yves Umtiti	Left Center Back	27,0		0,0 Olivier Giroud	Ground Pass	Left Foot
FIFA World Cup	1	1	1	42:00:01:42.880	Olivier Giroud	Left Center Forward	4		3,1 Blaise Matuidi	Low Pass	Left Foot
FIFA World Cup	1	1	1	43:00:01:43.440	Blaise Matuidi	Left Midfield	6,4		2,2 Olivier Giroud	Low Pass	Head
FIFA World Cup	1	1	1	45:00:01:45.440	Olivier Giroud	Left Center Forward	23,3		2,3 Raphaël Varane	Ground Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	1	1	47:00:01:47.107	Raphaël Varane	Right Center Back	20,6		1,1 Paul Pogba	Ground Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	1	1	51:00:01:51.427	Paul Pogba	Right Defensive Midfield	42,2		-0,2 Antoine Griezmann	High Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	1	1	53:00:01:53.867	Domagoj Vida	Left Center Back	13,6		-0,9 Ivan Strinić	Low Pass	Left Foot
FIFA World Cup	1	1	1	55:00:01:55.587	Ivan Strinić	Left Back	2,2		1,1 NA	High Pass	Left Foot
FIFA World Cup	1	2	0	00:02:09.907	Marcelo Brozović	Center Defensive Midfield	5,8		-1,0 Ivan Strinić	Ground Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	2	0	11:00:02:11.507	Ivan Strinić	Left Back	24,1		0,1 Mario Mandžukić	High Pass	Left Foot
FIFA World Cup	1	2	0	13:00:02:13.067	Mario Mandžukić	Center Forward	24		1,6 Ante Rebić	High Pass	Head
FIFA World Cup	1	2	0	42:00:02:42.747	Kylian Mbappé Lottin	Right Midfield	12,6		-2,8 Benjamin Pavard	High Pass	NA
FIFA World Cup	1	2	0	53:00:02:53.507	Samuel Yves Umtiti	Left Center Back	18,7		1,3 NA	Ground Pass	Right Foot
FIFA World Cup	1	3	0	15:00:03:15.680	Ivan Strinić	Left Back	23,2		1,4 Mario Mandžukić	High Pass	NA
FIFA World Cup	1	3	0	17:00:03:17.267	Mario Mandžukić	Center Forward	8,5		-2,4 Ivan Rakitić	High Pass	Head
FIFA World Cup	1	3	0	19:00:03:19.787	Kylian Mbappé Lottin	Right Midfield	32,2		0,5 NA	High Pass	Right Foot

Des données pour un match de foot

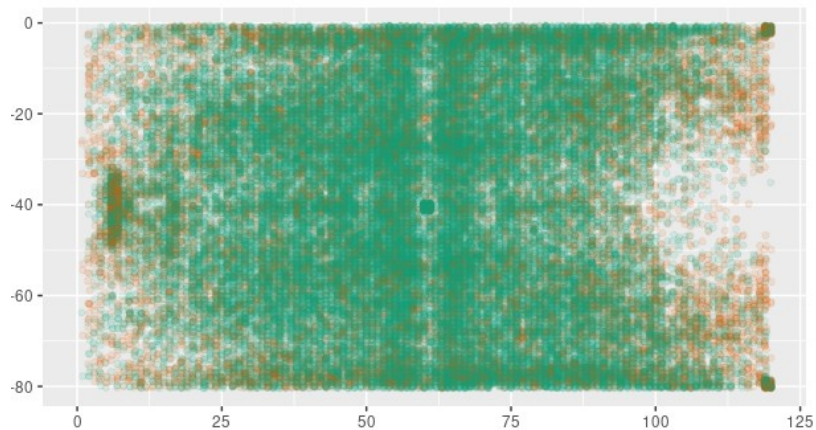
Exemple : coup d'envoi de la finale de la Coupe du Monde 2018, France - Croatie



```
Competition : FIFA World Cup
Period : 1
Minute : 0
Second : 0
Timestamp : 00:00:00.400
Location (x,y) : (60,40)
Player.name : Mario Mandžukić
Position.name : Center Forward
Pass.length : 11.0
Pass.angle : 3.1
Pass.end_location (x,y) : (49,40)
Pass.recipient.name : Marcelo Brozović
Pass.height.name : Ground Pass
Pass.body_part.name : Right Foot
Pass.outcome : completed
...
```


Visualisation de données

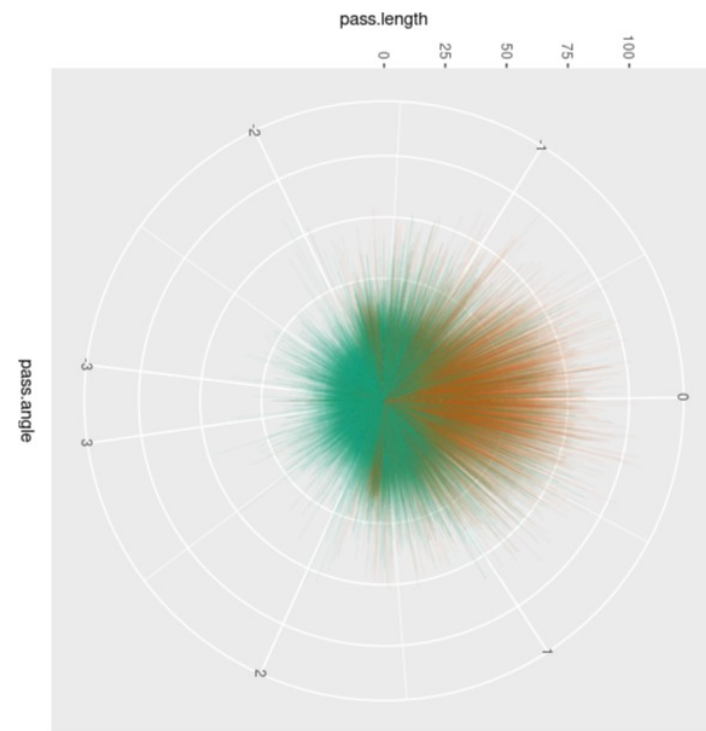
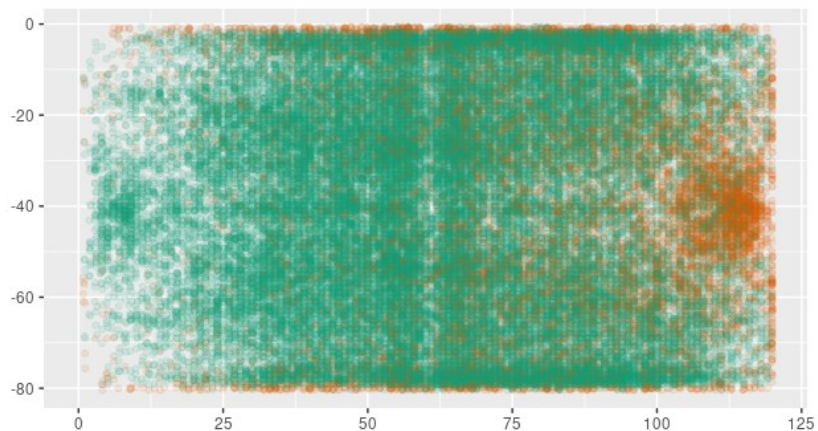
Start position and outcome



227 886 passes réalisées durant les 64 matchs de la Coupe du Monde 2018

- 215 172 **réussies**
- 12 714 **ratées**

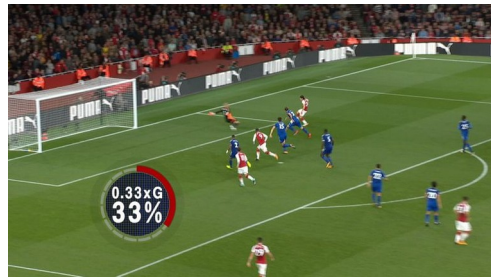
End position and outcome



Déjean S., Lopez Sanchez J., Saint Pierre P. Modélisation de la probabilité de réussite d'une passe au football. 53emes Journées de Statistique, 13-17 juin 2022

Probabilités pour un match de football

- *Les expected goals (xG)* font partie de plus en plus partie des indicateurs utilisés par les commentateurs des matchs de football



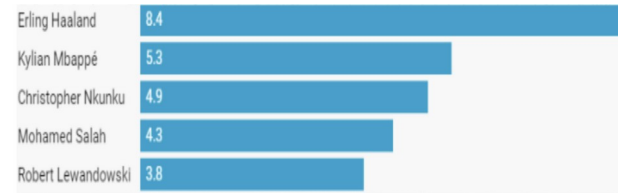
Expected Goals PL opening weekend	
Arsenal	2.58 - 1.50
Watford	2.32 - 2.53
Chelsea	1.53 - 0.64
C. Palace	1.06 - 0.49
Everton	0.59 - 0.35
Southampton	2.02 - 0.30
West Brom	1.28 - 0.47
Brighton	0.30 - 1.84
Newcastle	0.73 - 2.36
Man Utd	2.00 - 0.45
Leicester	
Liverpool	
Burnley	
Huddersfield	
Stoke	
Swansea	
Bournemouth	
Man City	
Tottenham	
West Ham	

Our partners at Opta have analysed over 300,000 shots so they are able to calculate the **likelihood of a chance being scored** from a particular position on the pitch [...]

It takes into account factors such as **the distance the shot was taken from, the angle, [...]** and the assist type as well.

www.skysports.com/football/news/11096/10989764/monday-night-football-extra-expected-goals-explained

- Indicateur de performance : écart entre une performance attendue et une performance effective
- Vers un modèle d'*expected pass*



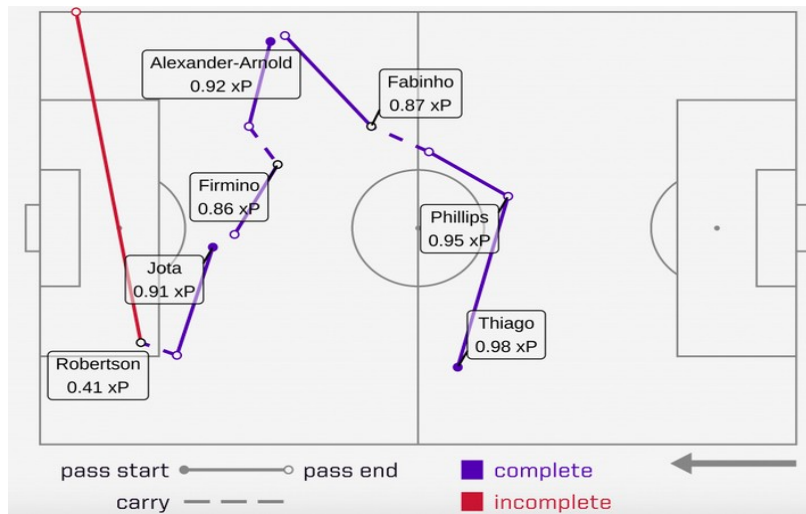
Source: www.lequipe.fr/Football/Actualites/Erling-haaland-un-ovni-statistique-dans-l-histoire-de-la-premier-league/1372012

Probabilités pour un match de football

L'*expected pass* est un indicateur pouvant aider à l'évaluation :

- **De la difficulté d'une passe**

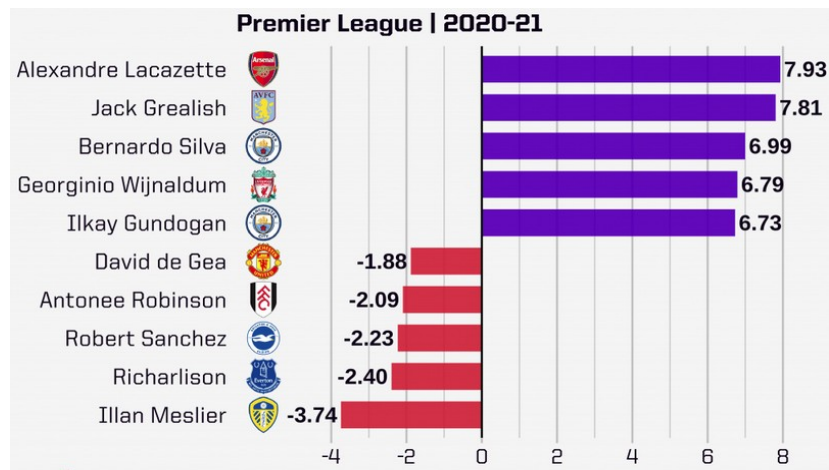
→ probabilité de réussir une passe



<https://www.parisstatsgermain.fr/nouvelle-data-les-expected-passes/>

- **De la performance d'un joueur**

→ Comparaison du nombre de passes réussies avec le nombre attendu de passes réussies

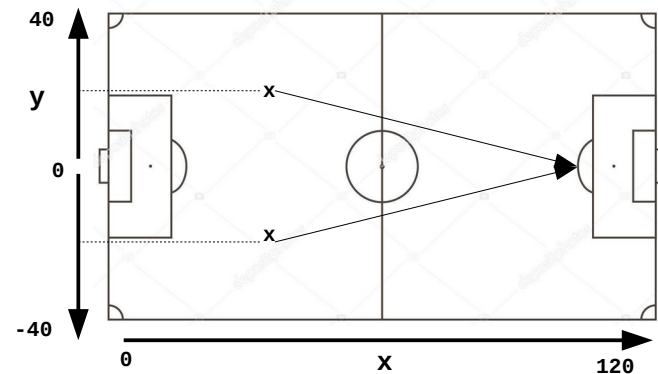


Un modèle pour prédire la probabilité de réussite d'une passe

Régression logistique pour expliquer la probabilité de réussite d'une passe (pass.outcome) en fonction de 5 variables explicatives

pass.outcome	indique la réussite ou l'échec de la passe
x	position de départ de la passe dans l'axe du terrain
abs(y)	valeur absolue de la position latérale
cos(pass.angle)	cosinus de l'angle de la passe
pass.length	longueur de la passe
under_pressure	fait d'être sous la pression de l'équipe adverse

$$\begin{aligned} \text{logit}(\pi(x_i)) &= \ln\left(\frac{\pi(x_i)}{1 - \pi(x_i)}\right) \\ &= \theta_0 + \theta_1 \text{length}_i + \theta_2 \text{angle}_i + \sum_{j=2}^6 \alpha_j \mathbb{1}_{\text{zone}_i=j} \\ &\quad + \sum_{j=2}^6 \beta_j \mathbb{1}_{\text{receivingzone}_i=j} + \theta_3 \mathbb{1}_{\text{pressure}_i=\text{true}} + \theta_4 \mathbb{1}_{\text{bodypart}_i=\text{foot}} \\ &\quad + \theta_5 \mathbb{1}_{\text{type}_i=\text{normal}} + \sum_{j=2}^{25} \gamma_j \mathbb{1}_{\text{position}_i=j} \end{aligned}$$



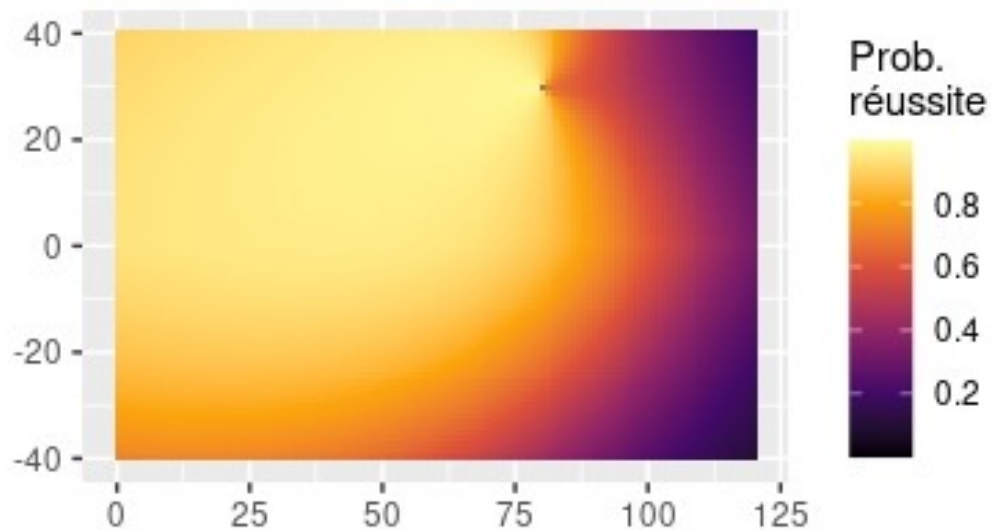
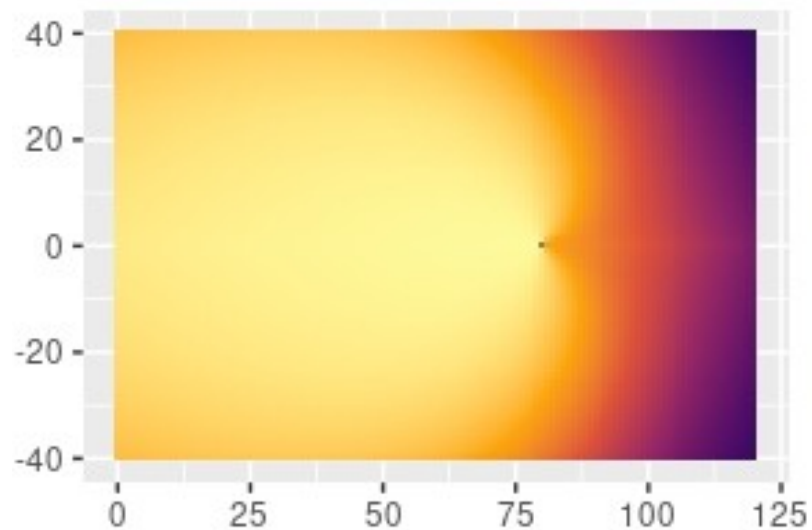
Un modèle pour prédire la réussite d'une passe

```
R> glm(pass.outcome ~  
x + abs(y) + cos(pass.angle) + pass.length + under_pressure,  
data = passes, family = binomial)
```

	Estimate	Std. Error	Z value	Pr(> z)
(Intercept)	4.3090	0.0460	93.67	< 0,00001
x	-0,0164	0.0004	-36.99	< 0,00001
abs(y)	-0,0190	0.0010	-19.71	< 0,00001
cos(pass.angle)	-1,5683	0.0228	-68.72	< 0,00001
pass.length	-0,0357	0.0007	-52.37	< 0,00001
under_pressure_YES	-0,4048	0.0265	-15.30	< 0,00001

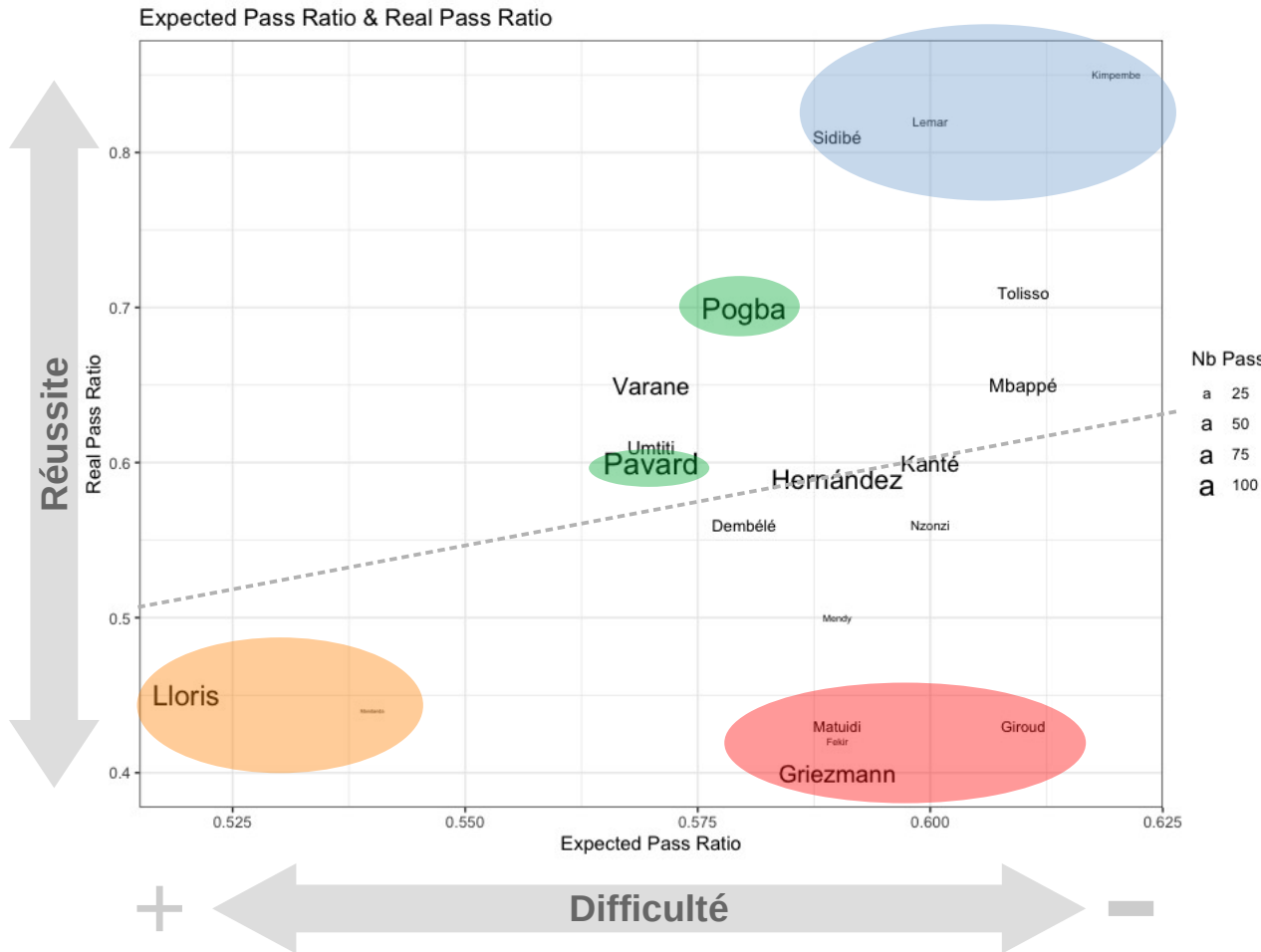
Une passe dans son camp, courte, en retrait et sans pression de l'adversaire a plus de chance d'aboutir qu'une longue passe vers l'avant !

Visualisation des résultats



Vers une évaluation de la performance

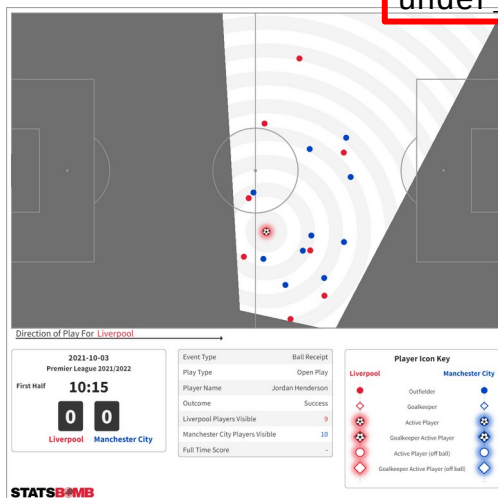
- Ne considère que les 25 % des passes les plus difficiles selon le modèle
- Attention : échelles différentes sur les axes !



- Joueurs qui réussissent mieux qu'attendu, mais réalisent peu de passes
- Joueurs qui réussissent mieux qu'attendu et réalisent beaucoup de passes
- Joueurs qui réussissent moins bien qu'attendu
- Gardiens de but, longues passes difficiles à réussir

Des données plus étoffées

	Estimate	Std. Error	Z value	Pr(> z)
(Intercept)	4.3090	0.0460	93.67	< 0,00001
x	-0,0164	0.0004	-36.99	< 0,00001
abs(y)	-0,0190	0.0010	-19.71	< 0,00001
cos(pass.angle)	-1,5683	0.0228	-68.72	< 0,00001
pass.length	-0,0357	0.0007	-52.37	< 0,00001
under_pressure_YES	-0,4048	0.0265	-15.30	< 0,00001



- **Freeze Frame** : un instantané pris au moment de l'action (passe, tir, conduite de balle) qui enregistre la position des joueuses impliquées dans l'événement
- Fixe les positions des défenseurs et des attaquants présents dans le champ de la caméra

Des passes qui « cassent des lignes »

"Deschamps m'a demandé de continuer à casser des lignes" affirme Upamecano qui veut "apprendre" de son sélectionneur

rmcsport.bfmtv.com/football/deschamps-m-a-demande-de-continuer-a-casser-des-lignes-affirme-upamecano-qui-veut-apprendre-de-son-selectionneur_VN-202009010464.html



France - Pays-Bas, 24 mars 2023

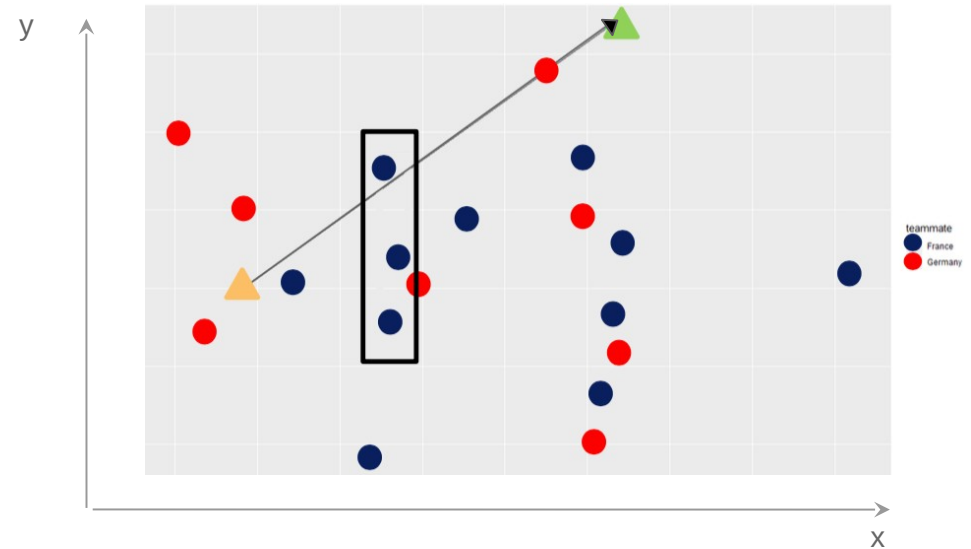
Source : Téléfoot

www.youtube.com/watch?v=qK9-SA3tvZ0

2'50''

Étude des données de l'Euro 2021

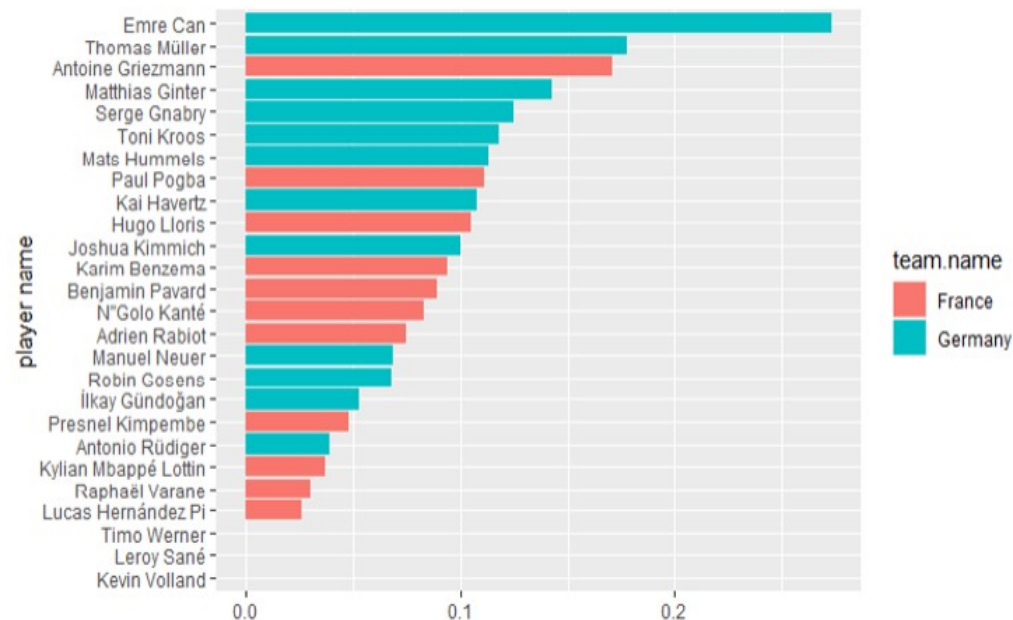
- Comment définir une ligne de joueurs ?
 - Au moins 2 joueuses
 - Séparées par moins de 3 mètres dans la longueur du terrain (axe x)
 - Séparées de plus de 8 mètres dans la largeur du terrain (axe y)
- Comment définir une passe qui casse une ligne ?
 - Passe réussie
 - D'au moins 7 mètres de long
 - En direction du but adverse
 - Qui passe entre deux joueuses faisant partie d'une ligne



Étude des données de l'Euro 2021

Quelques indicateurs de qualité des passes réalisées par les joueurs

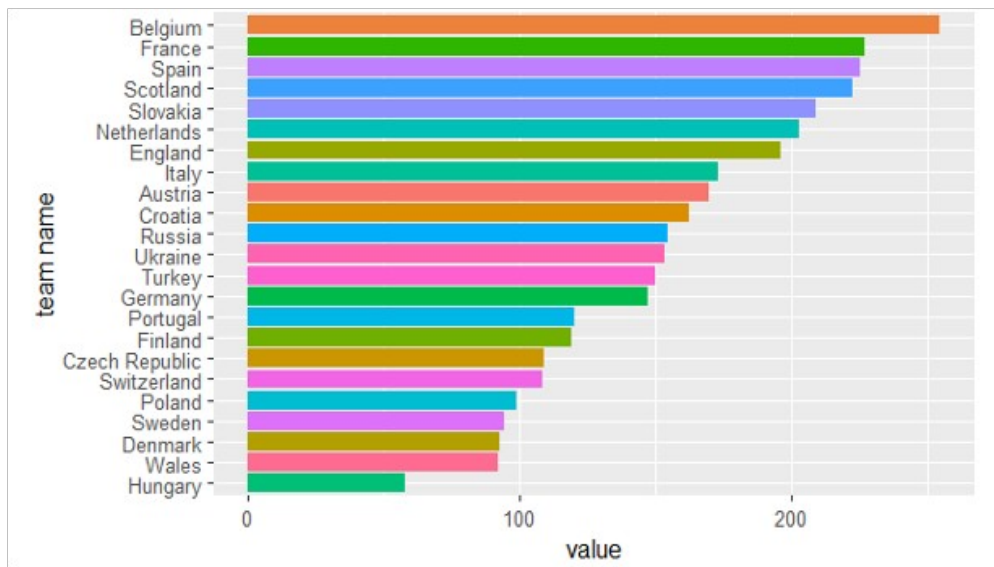
- Nombre de passes réalisées
- Nombre de passes réussies
- Distance gagnée en direction du but adverse
- Nombre de passes ayant cassé une ligne
- Nombre de joueurs éliminés par les passes réalisées
- Nombre de joueurs restant à éliminer
- ...



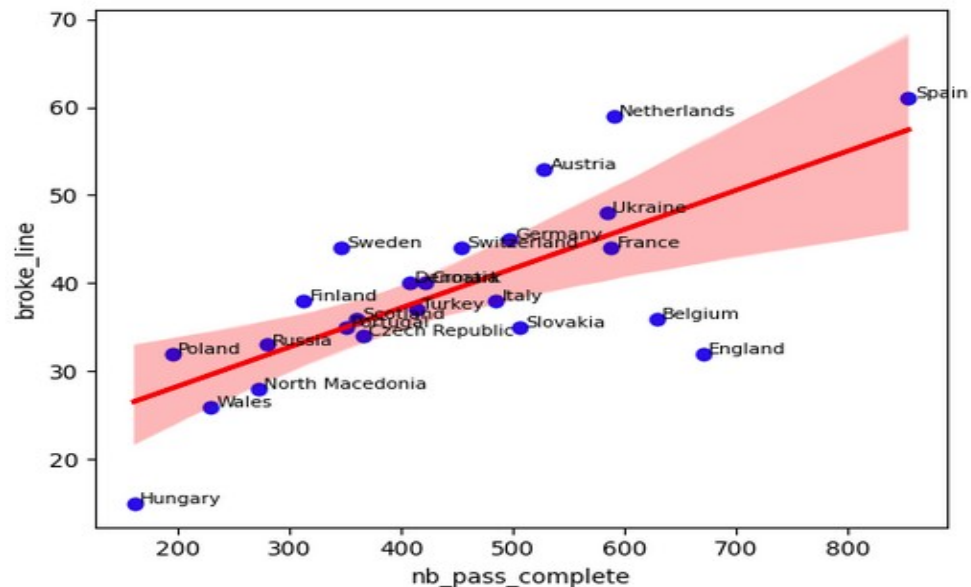
Rapport du nombre de passes cassant des lignes sur le nombre de passes réalisées pour les joueurs français et anglais lors de l'euro 2021.

Étude des données de l'Euro 2021

Indicateurs de qualité des passes réalisées au niveau des équipes par agrégation (somme ou moyenne) des indicateurs par joueurs



Nombre moyen de passes réussies par match et par équipe



Nombre moyen de passes cassant des lignes en fonction du nombre de passes réussies

Modélisation de la performance d'une équipe

- **Variable à expliquer** : indicateurs de performance à l'échelle d'une équipe
 - Nombre de buts
 - Nombre de tirs
 - *Expected goal*
- **Variables explicatives** : indicateurs relatifs aux passes
 - Distance gagnée vers le but adverse
 - Nombre de passes réalisées
 - Nombre de passes cassant des lignes
 - Nombre de joueurs éliminés par des passes
 - ...
- **Méthodes** :
 - Régression linéaire
 - Forêts aléatoires

Variables les plus importantes selon des techniques automatiques de sélection de variables :

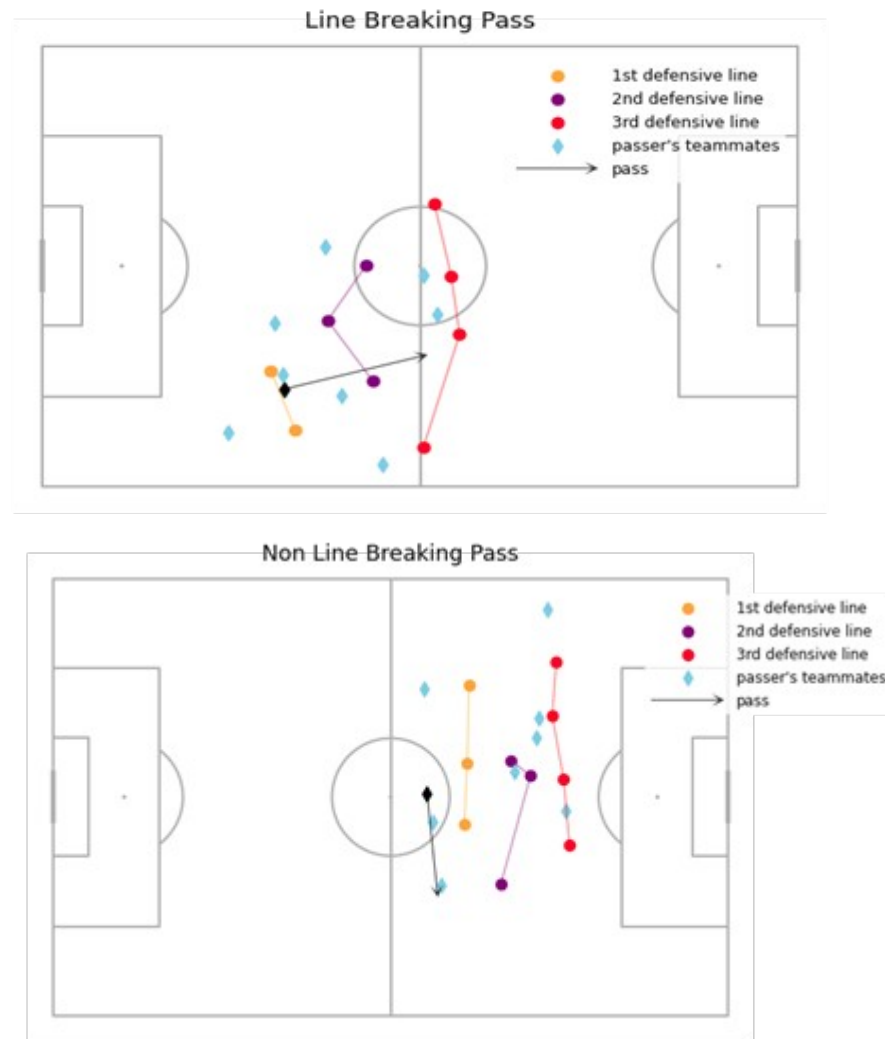
- ⇒ Nombre de joueurs éliminés
- ⇒ Nombre de passes
- ⇒ Nombre de passes cassant des lignes

D'autres approches

Line Breaking Passes at Euro 2020

One key aspect, which in football analytics was often overlooked for the lack of tools (tracking data) and not for the lack of importance, is the **ability of player or a team to find teammates behind the enemy lines, i.e., the ability to make passes that dissect a line of the opponent's formation.**

github.com/albizup/Line-Breaking-Passes-Algorithm



D'autres approches

StatsBomb 360: Exploring Line Breaking Passes

By James Yorke | June 28, 2022 | 7 min read

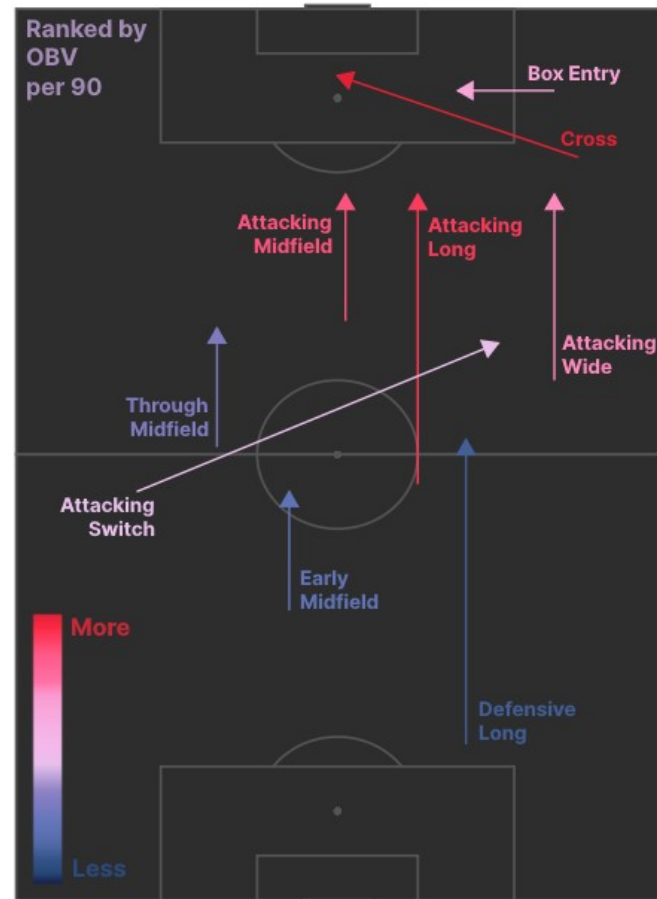
Line-Breaking Passes:

Devised using a rules-based approach from the 360 dataset, put simply:

- The end location of the pass should be greater than or equal to 10% closer to goal than the starting location, *and*
- The pass should intersect a pair of defenders who are within close proximity (x-axis) or pass behind the line of the defenders (y-axis)

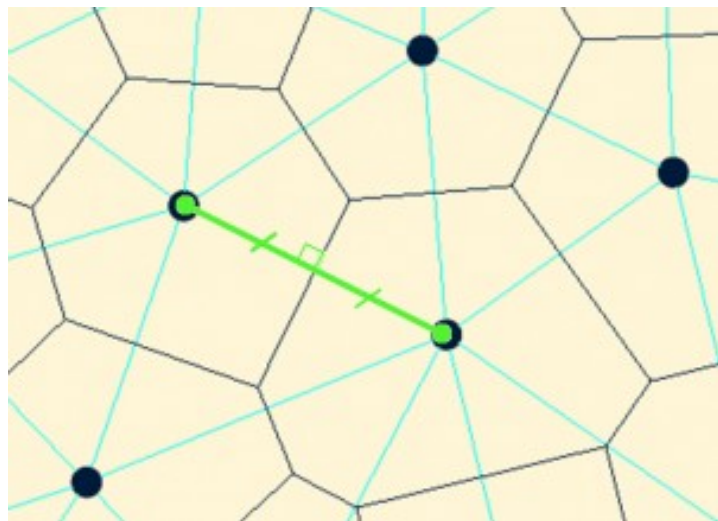
StatsBomb launched the 360 dataset in 2021. Put simply, **StatsBomb 360** allows the end-user to identify the locations of all players surrounding a given event, within the scope of the broadcast camera. You could call it "events plus" - the amenability of an event data set (~3000 events per game) with the potential scope of tracking data.

statsbomb.com/articles/soccer/statsbomb-360-exploring-line-breaking-passes/



Football et géométrie

Géométrie : diagramme de Voronoï



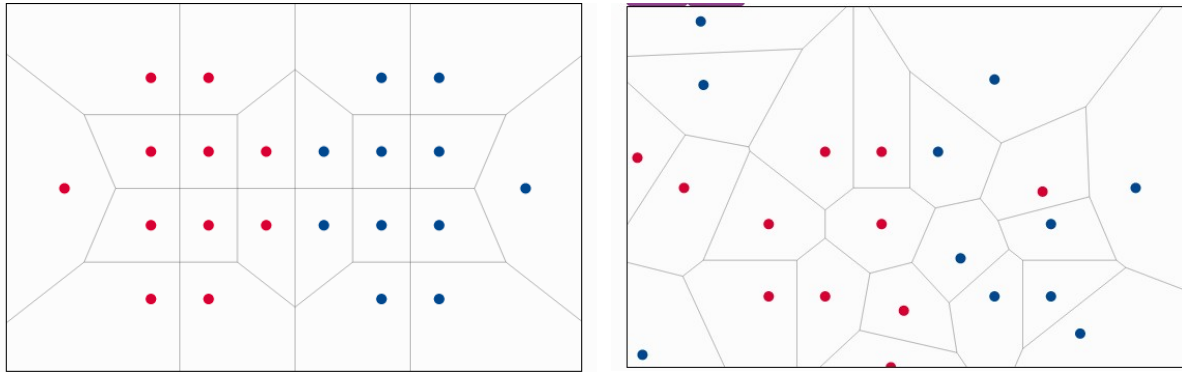
www.geogebra.org/m/rwmzv7z2

Diagramme de Voronoï dans la nature



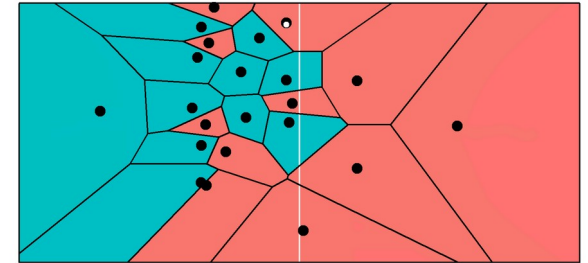
Diagramme de Voronoï et football

durtal.github.io/interactives/Football-Voronoi



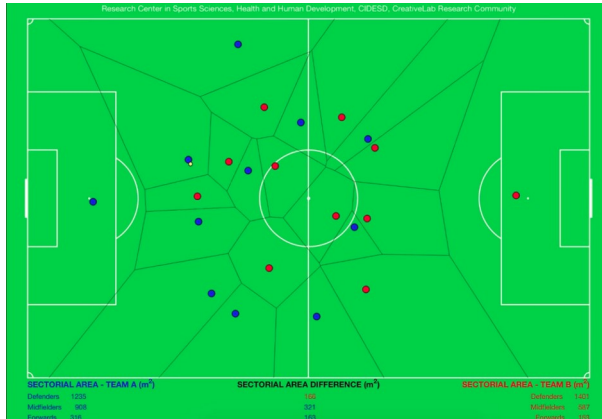
wjsutton.github.io/data-viz/2020/05/19/Building-Animated-Voronoi-Chart-In-R.html

Controlling Space in a Football Match

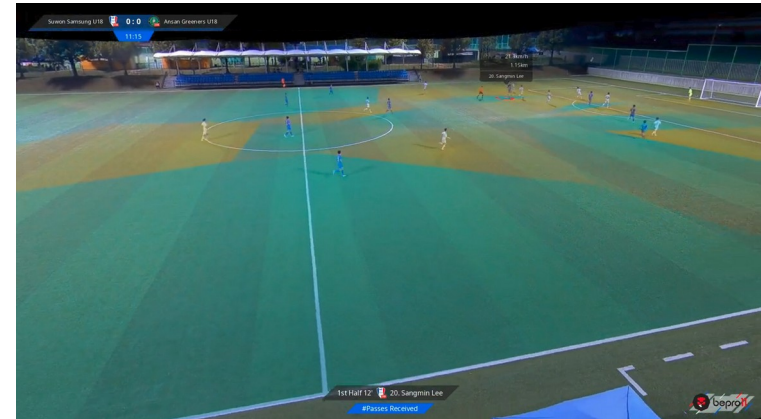


Team A Team B

Author: Will Sutton, Source: Exasol



www.youtube.com/watch?v=ZAz9mDlswGQ



www.youtube.com/watch?v=UJ0VwY0DcIs

Jouer avec / face à un bloc bas

- Comment déterminer qu'un ensemble de joueurs forment un bloc ?
- Comment évaluer la compacité d'un bloc ?
- Comment évaluer qu'un bloc est bas ?
- ...



Gibraltar – France, 16 juin 2023

Source : Fédération Française de Football
www.youtube.com/watch?v=bLbDySycVYs

Et d'autres exemples
de liens entre sport et
mathématiques...

Volley-ball et statistique

Les statisticiens, un rôle dans l'ombre mais indispensable depuis le début de l'Euro

À l'Euro, aucune équipe ne peut évoluer sans statisticiens. Qui traduisent chaque action en chiffres pour mieux préparer les duels et ajuster la tactique pendant les rencontres.



Andrea Giani (à gauche), le sélectionneur des Bleus, et Paolo Perrone (au centre), statisticien au sein de l'équipe de France. (A.Reau /L'Équipe)

Béatrice Avignon, envoyée spéciale à Rome
mis à jour le 14 septembre 2023 à 00h05



Rugby et intelligence artificielle

www.ladepeche.fr/2023/09/14/video-coupe-du-monde-de-rugby-2023-une-intelligence-artificielle-toulousaine-predit-la-victoire-de-lequipe-de-france-11453387.php

VIDEO. Coupe du monde de rugby 2023 : une intelligence artificielle toulousaine prédit la victoire de l'équipe de France

Publié le 14/09/2023 à 17:41 , mis à jour à 17:47

Hocine Zaoui

l'essentiel ▾

La start-up toulousaine R++ a conçu une intelligence artificielle capable d'évaluer la force des joueurs de rugby. L'équipe de France remporterait la Coupe du monde, selon les évaluations.

L'équipe de France en train de soulever la coupe du monde de rugby. Cette image fait frissonner les supporters des Bleus. Un rêve pour tous. À Toulouse, dans les locaux de la start-up R++, spécialisée dans la Big Data, il devrait bien se réaliser selon les évaluations. La société créée en 2016 s'est intéressée à l'exploitation des Data dans le rugby.«C'est tout nouveau pour nous, la Coupe du monde nous a fortement incités à le faire», confie Christophe Genolini, le gérant de R++.

Rugby et géométrie (?)

Rugby, CM, Série

Série : c'est quoi... « l'attaque verticale » ?



Rugby et systèmes dynamiques

- **Sujet de thèse** : Modélisation et prédiction de la performance dans des sports d'équipe par l'étude des dynamiques collectives
- **Doctorant**: Arnaud ODET
- **Direction de la thèse** : Sébastien DEJEAN, Cristian PASQUARETTA, Université Toulouse III, Faculté des sciences du sport et du mouvement humain, Centre de Recherche sur la Cognition Animale
- **Résumé** : Les joueurs doivent adopter des règles simples pour interagir avec les autres membres de leur équipe. Ils doivent également savoir quand accélérer, décélérer, et synchroniser leur mouvement avec les coéquipiers. La performance d'un collectif est alors l'issue (et peut être modélisée comme telle) d'un processus stochastique généré pour résumer les résultats obtenus à partir d'une grande base de données sur les mouvements des joueurs et l'analyse de leur synchronisation.



Quelques apports des mathématiques pour la modélisation et l'optimisation dans le sport

Sébastien Déjean

`math.univ-toulouse.fr/~sdejean`



Cercle Sofia Kovalevskaja

7 octobre 2023