

# *la* physique *du* rugby



*Jérôme Perez – Ensta Paristech – Université Paris Saclay*

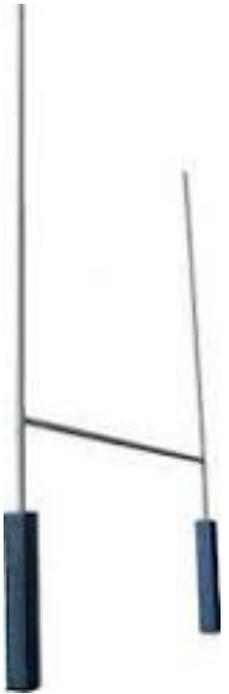
*Avec le soutien technique de Félix Larrouy (AS Fleurance) & Olivier Nier (RC Massy)*



# Le rugby



**Quelques informations  
préliminaires**



# LES JOUEURS ET LEUR POSITION SUR LE TERRAIN



# Les fondamentaux du jeu

Le rugby est un jeu qui consiste à porter le ballon au-delà de la ligne de but de l'adversaire et à l'aplatir au sol pour marquer « un essai ».

Pour avancer, les joueurs peuvent se passer le ballon mais uniquement vers l'arrière.

Le ballon peut aussi être botté vers l'avant, mais les coéquipiers du botteur doivent être derrière le ballon au moment de la frappe.



Cette contradiction apparente oblige à fournir un travail d'équipe précis et à respecter une discipline stricte.



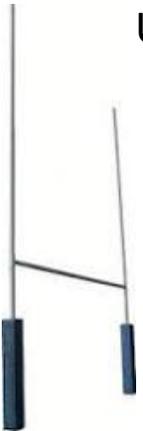
Le jeu est généralement constitué d'une alternance de temps forts pour chacune des deux équipes en possession du ballon.

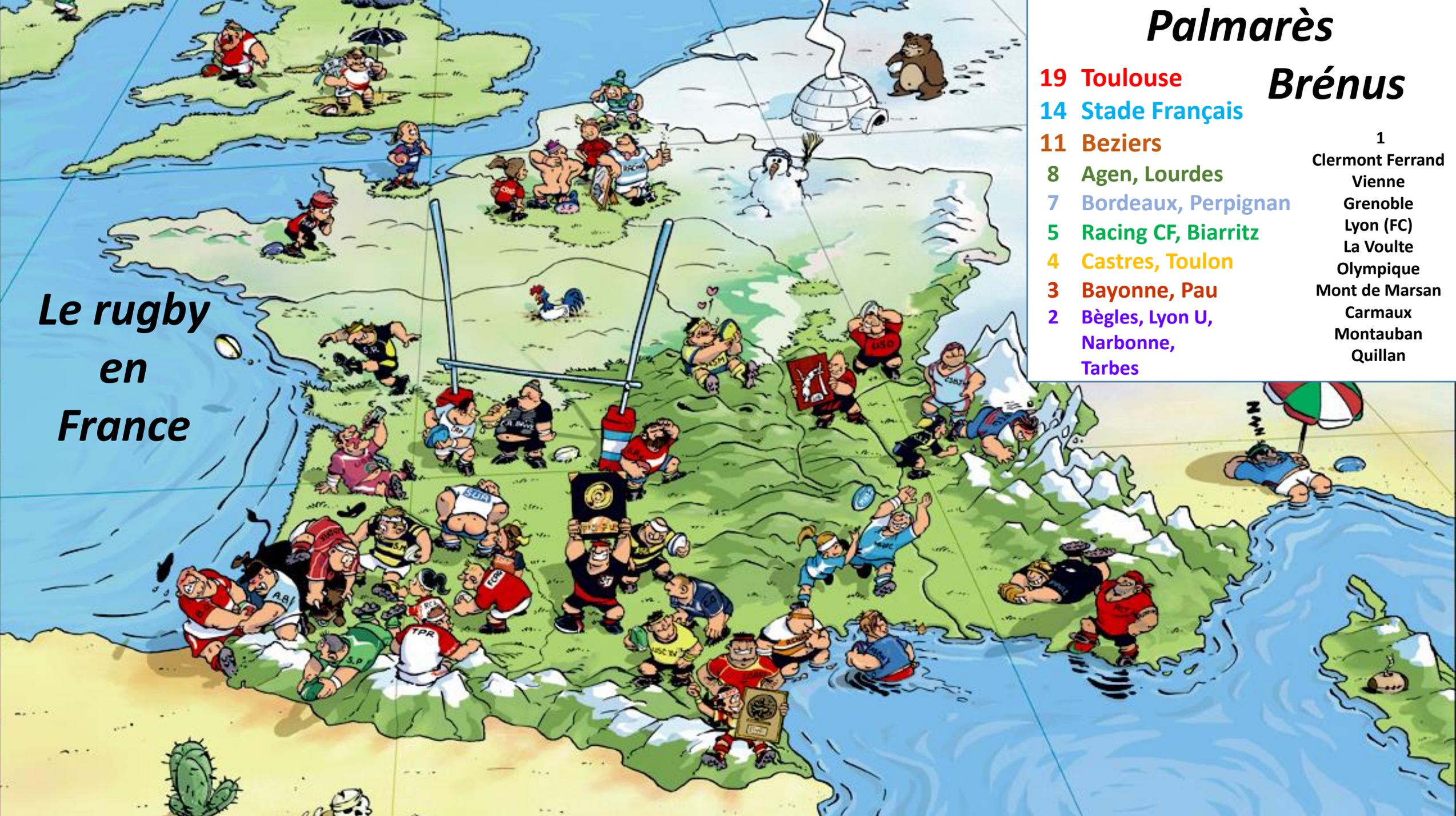
Un essai marqué rapporte 5 points, il est suivi d'un coup de pied de transformation qui peut rapporter 2 points.

Un règlement précis et compliqué sanctionne de nombreuses fautes.

Les fautes majeures conduisent à des coups de pied de pénalité qui peuvent être tentés à l'endroit où la faute a été commise. En cas de réussite ces pénalités rapportent 3 points.

Les fautes mineures sont sanctionnées par des mêlées qui permettent de rassembler les joueurs et de repartir pour une nouvelle action.





# Le rugby en France

## Palmarès

- 19 Toulouse
- 14 Stade Français
- 11 Beziers
- 8 Agen, Lourdes
- 7 Bordeaux, Perpignan
- 5 Racing CF, Biarritz
- 4 Castres, Toulon
- 3 Bayonne, Pau
- 2 Bègles, Lyon U,  
Narbonne,  
Tarbes

## Brénus

- 1 Clermont Ferrand  
Vienne  
Grenoble  
Lyon (FC)  
La Voulte  
Olympique  
Mont de Marsan  
Carmaux  
Montauban  
Quillan

# Évolution du poids moyen des joueurs

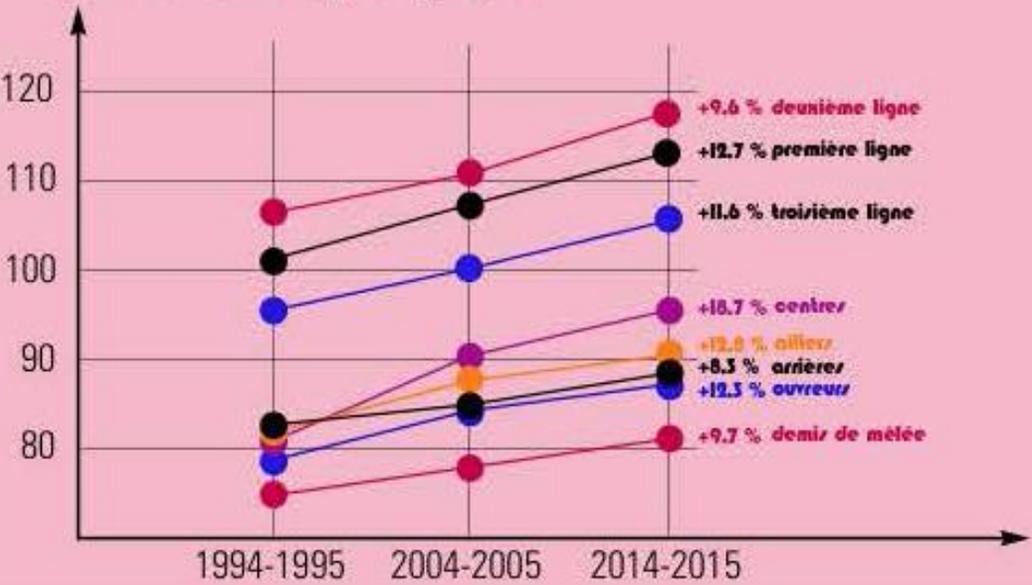


Le rugby devient professionnel en 1995

+ 11,9 %



## Évolution par poste



## 3

### la taille aussi

Constatée ici sur les poids, l'évolution du profil des rugbymen est aussi une réalité sur la taille. Par exemple, les deuxième ligne, traditionnellement les plus aériens du rugby, sont passés, en moyenne, de 1,96 m à 1,99 m. Soit un gain moyen de 3 cm.

À l'image des 103 kg de Yann David à Toulouse, de nombreux centres dépassent le quintal. C'est d'ailleurs à ce poste que l'évolution est la plus importante depuis vingt ans (+15,1 kg en moyenne pour une augmentation de 18,7 %). Photo Icon Sport



146 kg

Uini ATONIO  
FRA

Pilier – 1m96

*Stade rochelais*



137 kg

Census JOHNSTON  
SAM

Pilier – 1m89

*Stade toulousain*



126 kg

Tomas LAVANINI  
ARG

2<sup>ème</sup> ligne – 2m00

*Racing CF*



140 kg

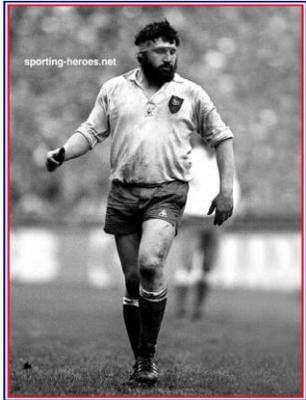
Will SKELTON  
AUS

2<sup>ème</sup> ligne – 2m03

*Waratahs (Austr.)*

## Ce n'est plus le même sport !

Peyo Dospital  
en 1980

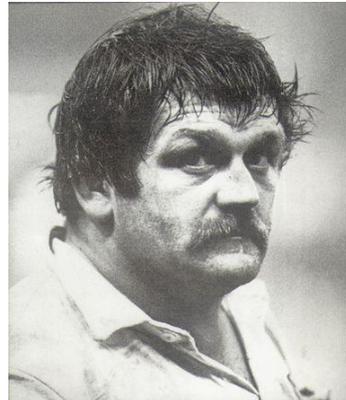


Pilier – 1m85

103 kg

*Aviron Bayonnais*

La garuche  
en 1986



Pilier – 1m77

101 kg

*FC Lourdes*

La palme  
en 1981



2<sup>ème</sup> ligne – 1m97

118 kg

*AS Beziers*

Walter Spanghero  
en 1972



2<sup>ème</sup> ligne – 1m87

100 kg

*RC Narbonne, Stade toulousain*

# Une équipe de rugby pro est très occupée !

lieu	groupe	horaire	LUNDI 06 10
STADE	BLESSES	9h00	BILAN MEDICAL
	Avants	9h30	MUSCU/COURSE
	3/4	10h30	
PISCINE	TOUS	11h30	RECUP / ETIREMENTS
REPOS			

			MARDI 07 10
MDR	Avants PRO	8h15	Prise de sang + masse grasse <b>A JEUN !!!!</b>
	Trois quarts PRO	8h30	
	TOUS	8h45	
			PETIT DEJEUNER
	Avants	9h00	VIDEO CONQUÊTE NARBONNE
	TOUS	9h30	VIDEO NARBONNE
STADE LAMARRE	Avants	10h00	MUSCU
	Trois quart/3ème ligne		RUGBY : JEU DE LIGNE
	Trois quart/3ème ligne	11h00	MUSCU
	Avants	11h00	RUGBY : MELEE
	TOUS	12h00	COLLATION
		12h15	RUGBY COLLECTIF
	liste 4 joueurs	13h15	PREPARATEURS MATCH AURILLAC
liste	13h15	SOINS OSTEO	
REPOS			

MERCREDI 08 10			
REPOS			
SALLE MUSCU	Liste joueurs	10h00	MUSCU BLESSE + séance supplémentaire
REPOS			

			JEUDI 09 10	
STADE LAMARRE	Avant	9h00	VIDEO CONQUETE AURILLAC	
	Avant	9h30	RUGBY : CONQUETE TOUCHE	
	Trois quart		MUSCU	
	Trois quart	10h30	RUGBY : JEU DE LIGNE	
	Avant		MUSCU	
	TOUS		11h30	VIDEO OFFENSIVE AURILLAC
			12h00	RUGBY : COLLECTIF
		13h00	GLACE	
Maison du rugby		13h15	REPAS	
REPOS				

			VENREDI 10 10
REPOS			
STADE	GROUPE MATCH	10h00	VIDEO DEFENSIVE AURILLAC
		10h30	RUGBY : MISE EN PLACE
Maison du rugby		11h45	REPAS
DEPLACEMENT A AURILLAC			

			SAMEDI 11 10
MASSY	GROUPE MATCH	19H00	AURILLAC - MASSY
		22h00	BILAN MEDICAL

			DIMANCHE 12 10
REPOS			

Une semaine « type » du RCME



*la*  
**physique**  
*du* **rugby**



**Le programme**

Aérodynamique des coups de pied

La classification des sports de balle

Le départ et le vol du ballon

La touche optimisée

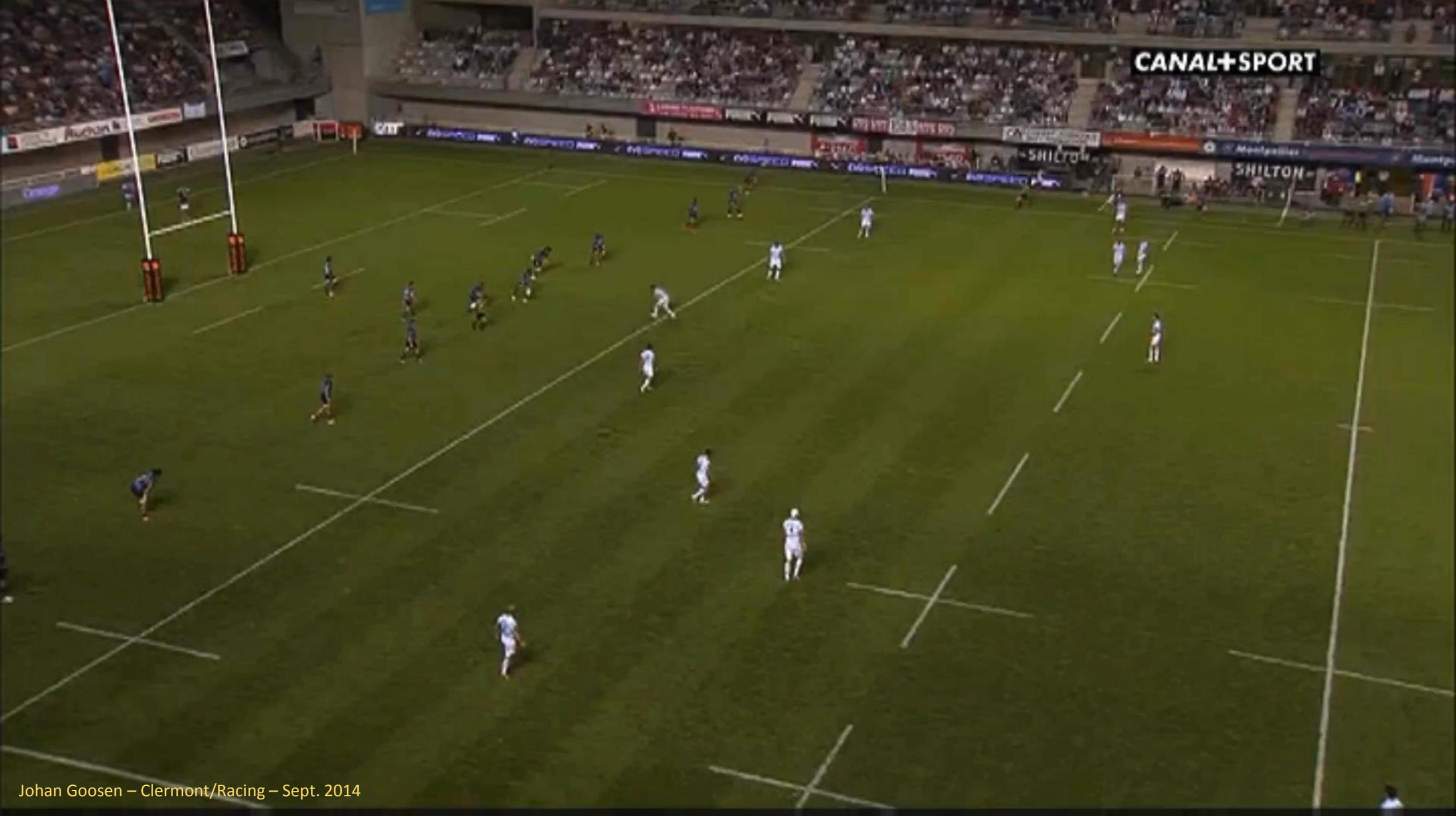
La mêlée : de l'ordre dans le chaos !

Analyse physique d'un record

Du plus bel essai aux diagrammes du rugby

Réussir une pénalité

CANAL+SPORT



Cette trajectoire est une Tartaglia



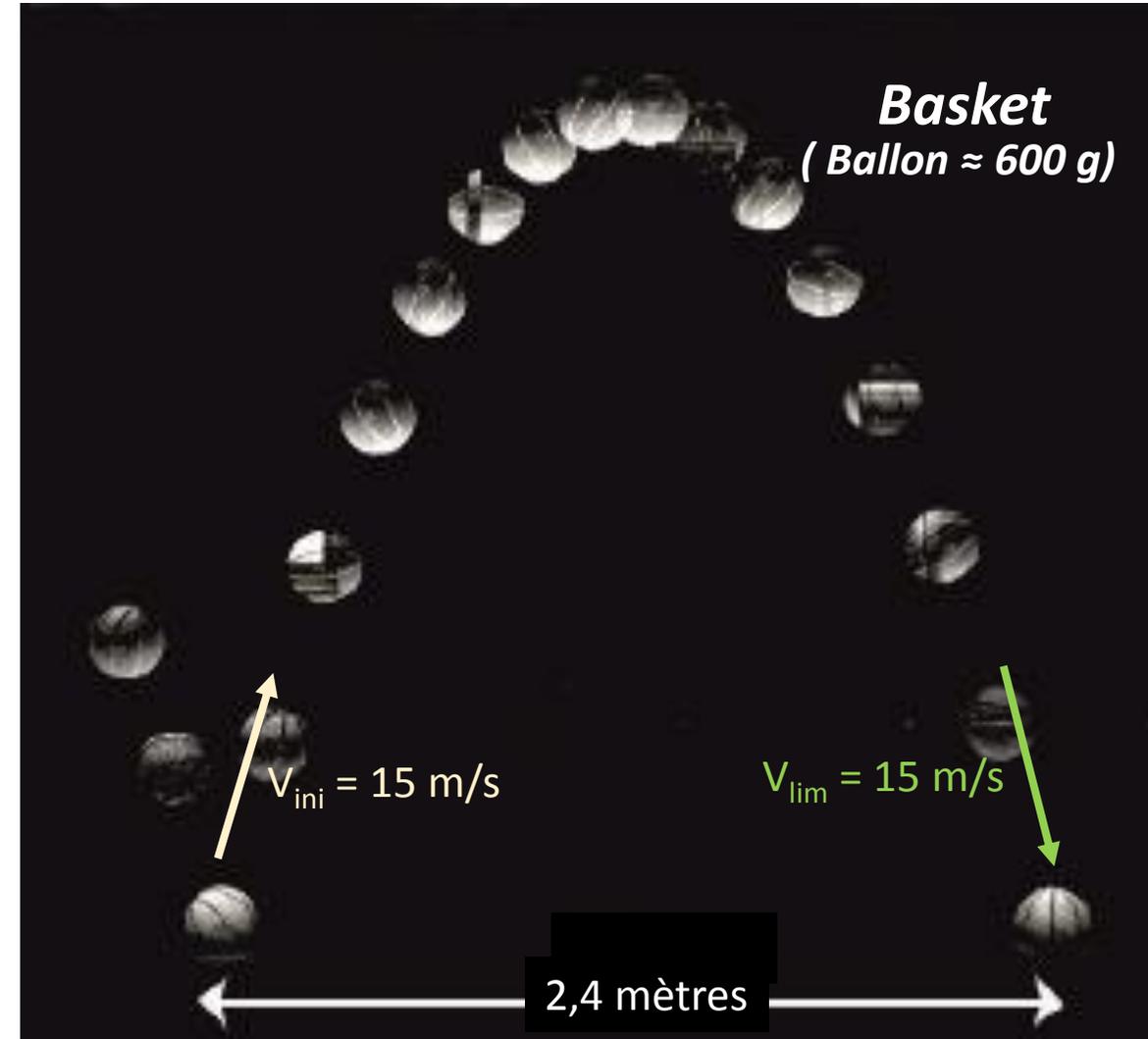
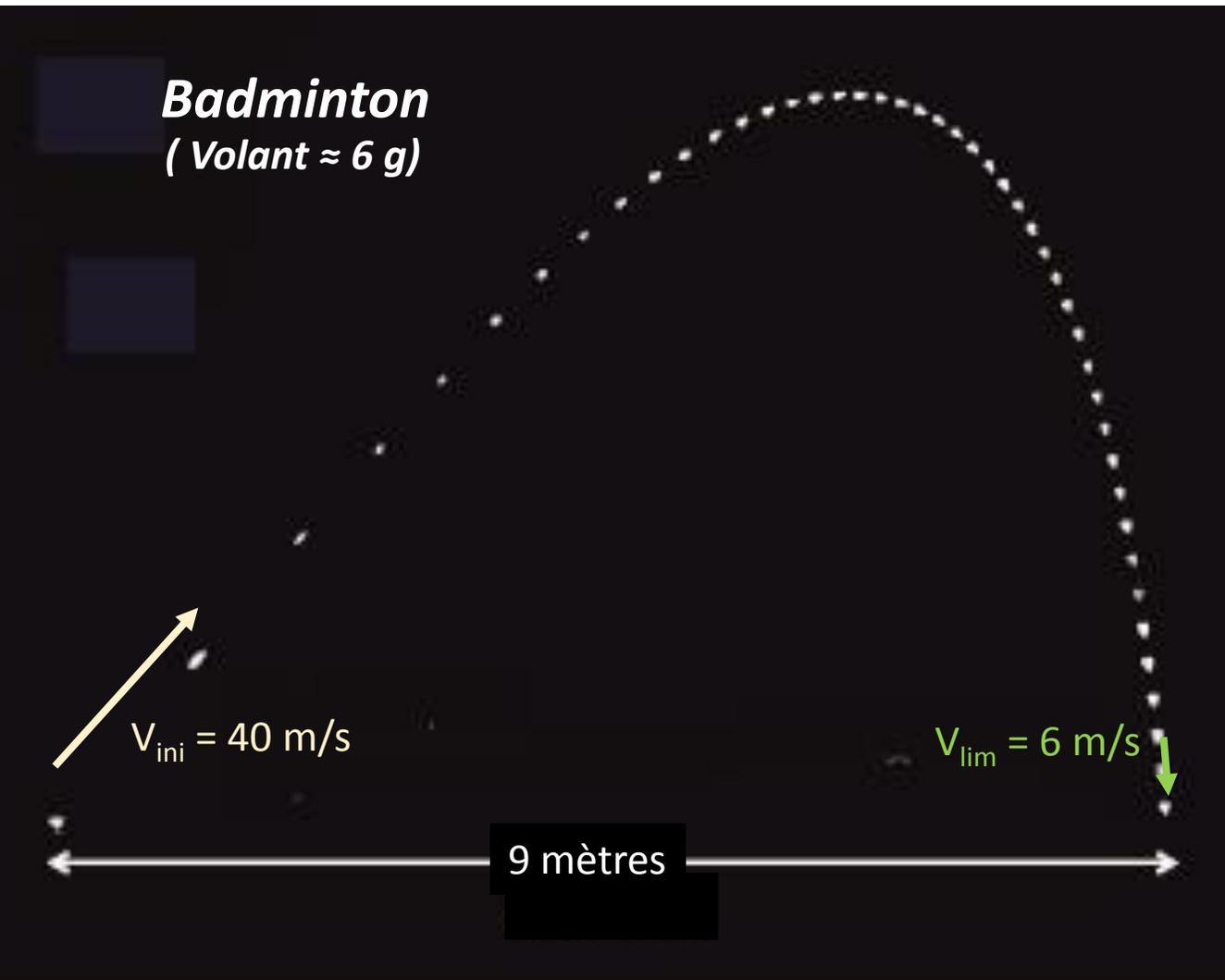
Ballon de basket

Balle de ping-pong



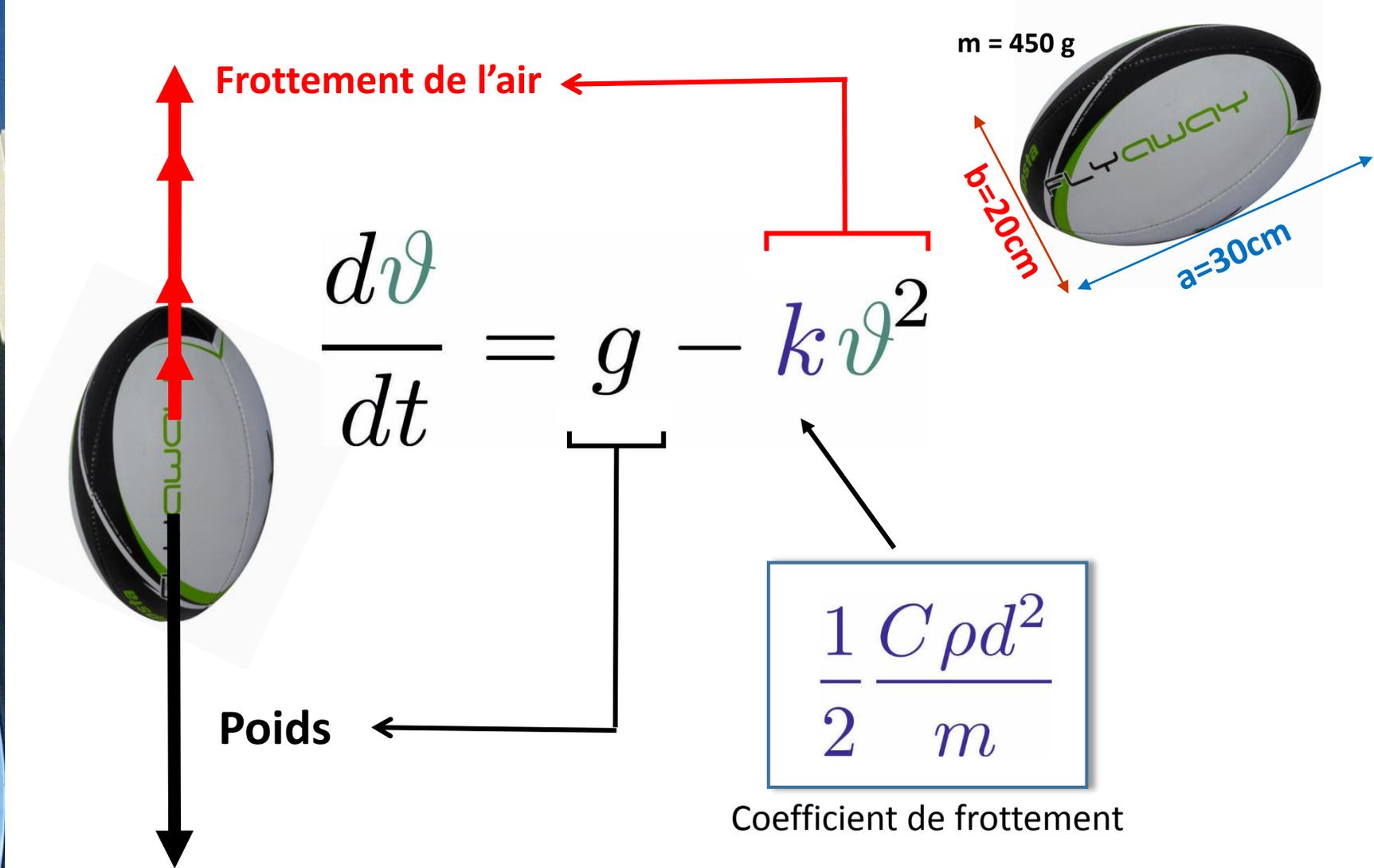
Galileo Galilei, 1590  
*De motu*





Le rugby est intermédiaire entre le badminton et le basket (ou le ping-pong)

Différences fondamentales : vitesse initiale et masse de la balle

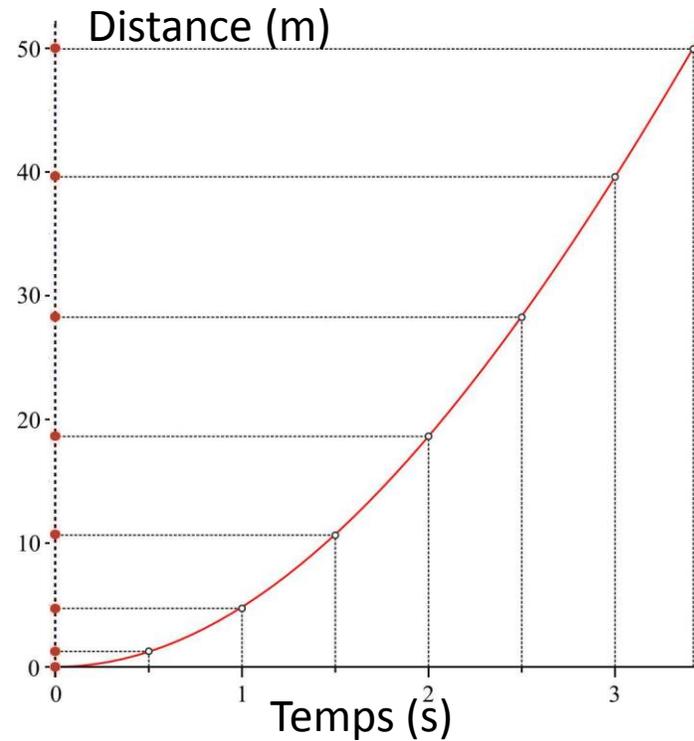
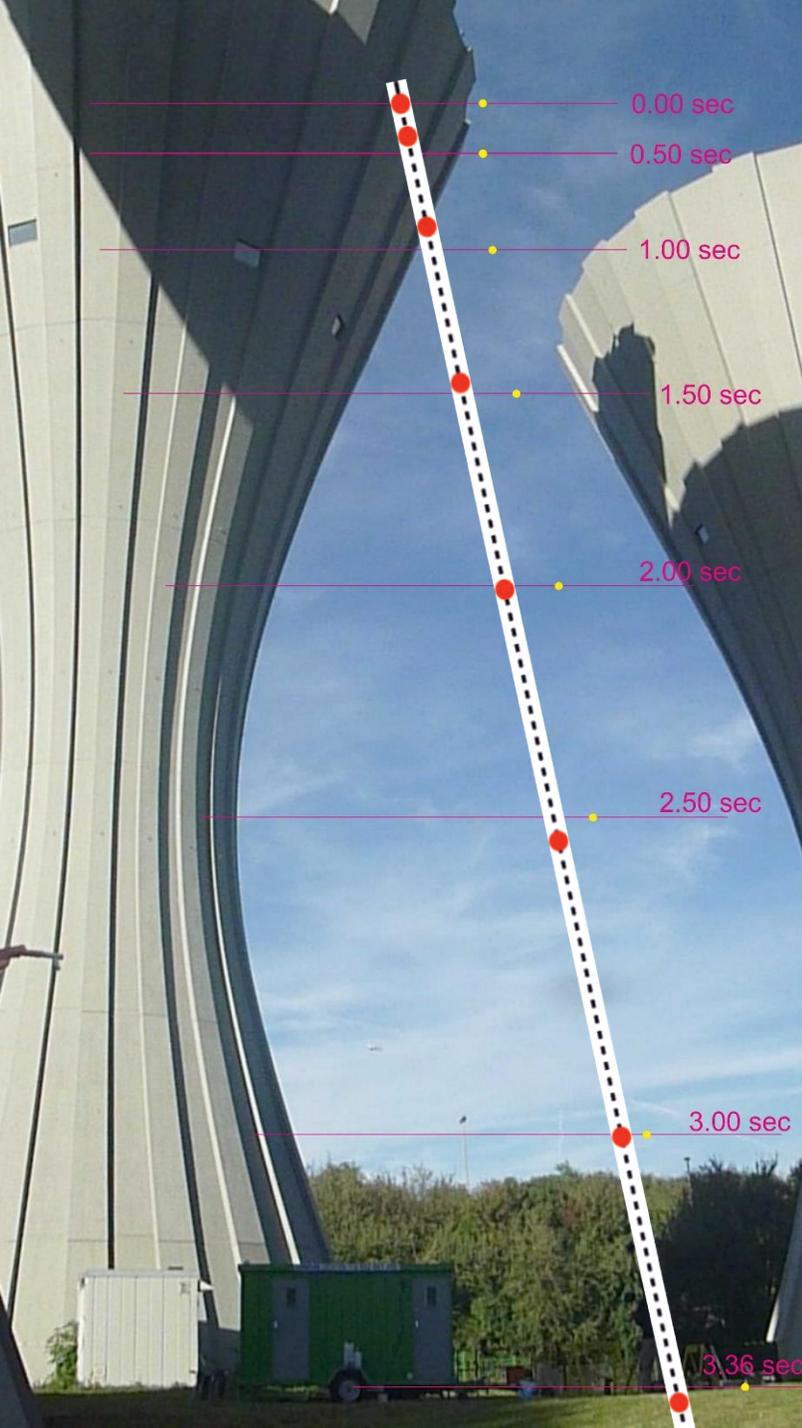


## Chute d'un ballon de Rugby (50m)

*Château d'eau de la Courneuve (93)*

***Expérience avec « Les cobayes » !***

# Mesure du coefficient de frottement d'un ballon de rugby



Meilleure estimation

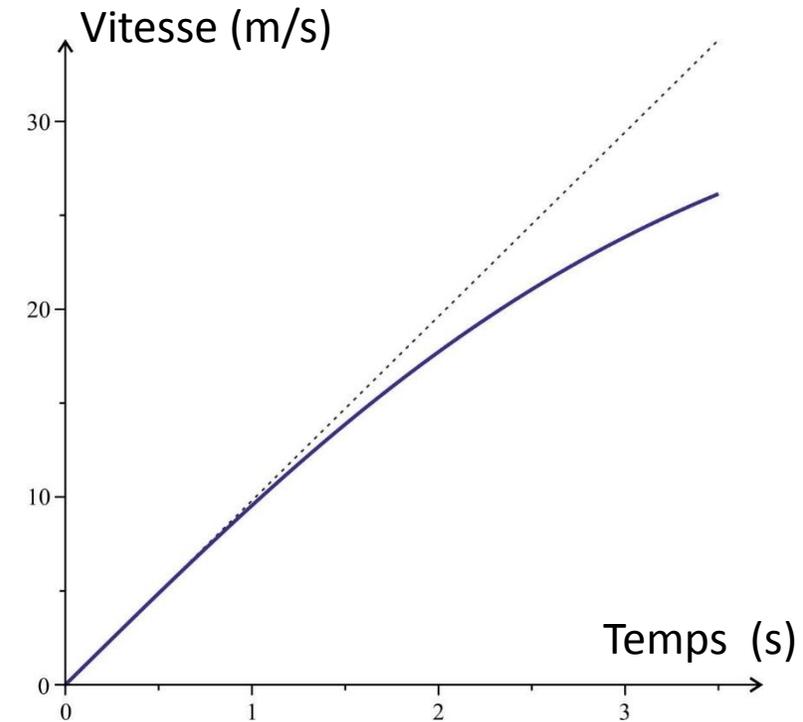
$$d = 20 \text{ cm}$$

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$mk_z = 6 \text{ g/m}$$

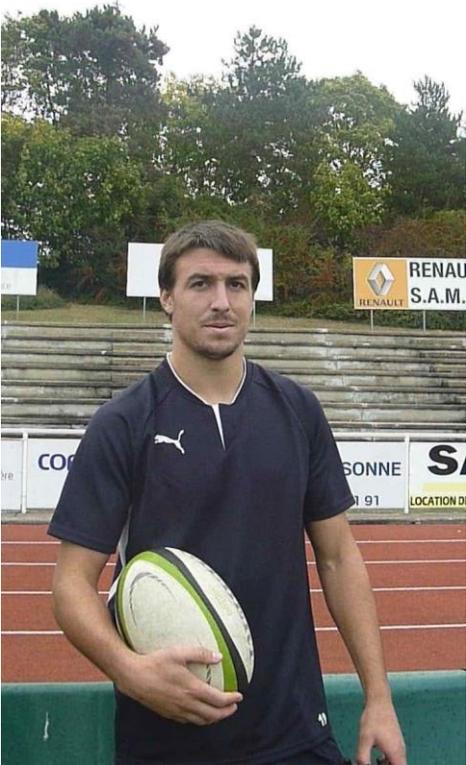
Avec  $mk = 6,00 \text{ g/m}$

$$v_{\text{lim}} \approx 30 \text{ m/s}$$



Vérification du modèle  
merci au





Adrien Latorre  
dit « Patator »

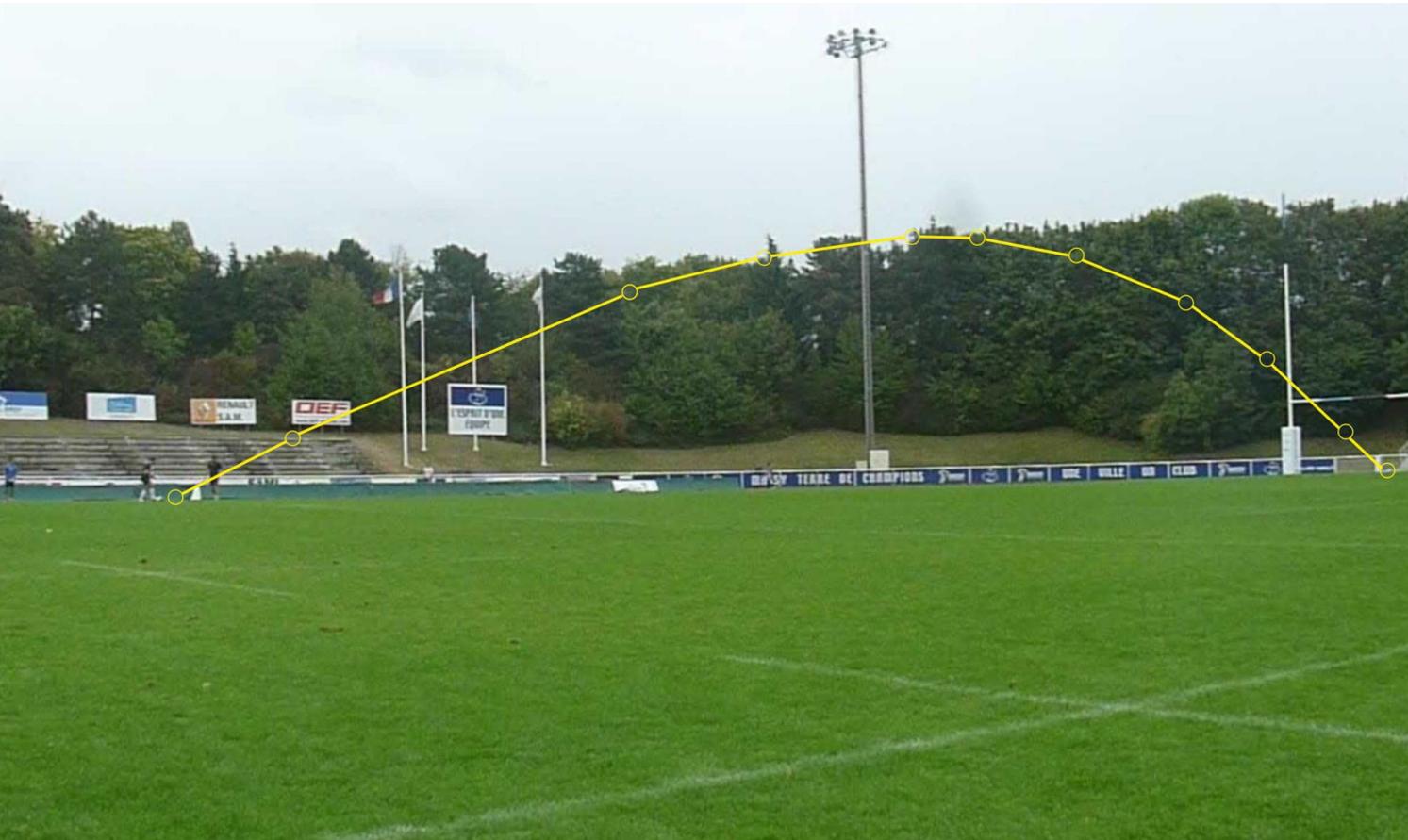
Ex-ouvreur du RC Massy  
(Pau, Narbonne,...)

Meilleur buteur proD2 2015

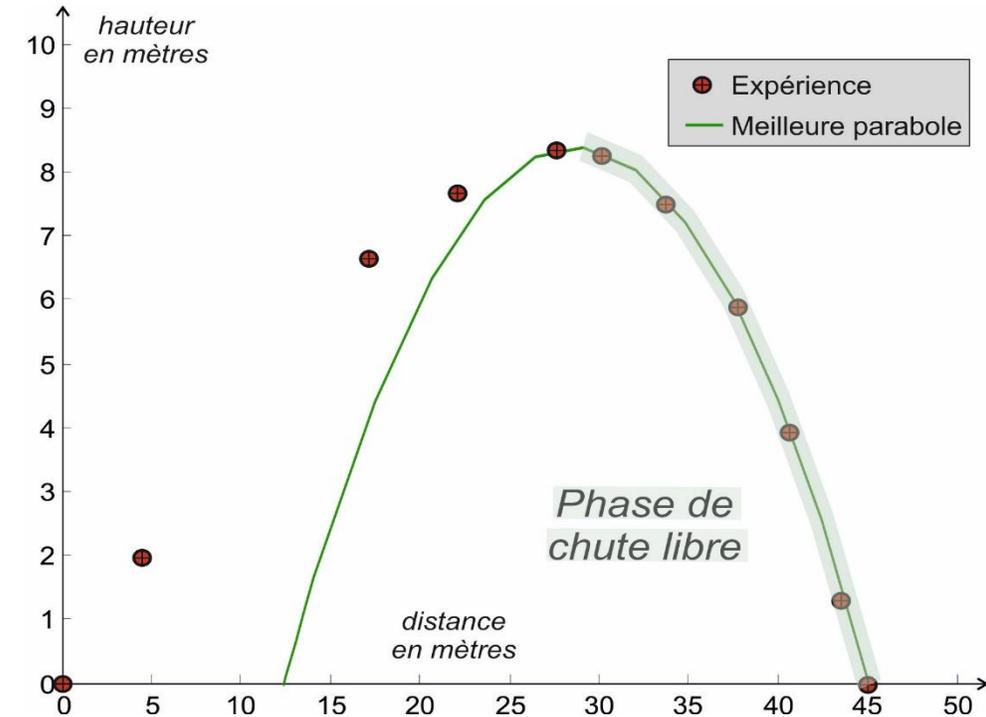
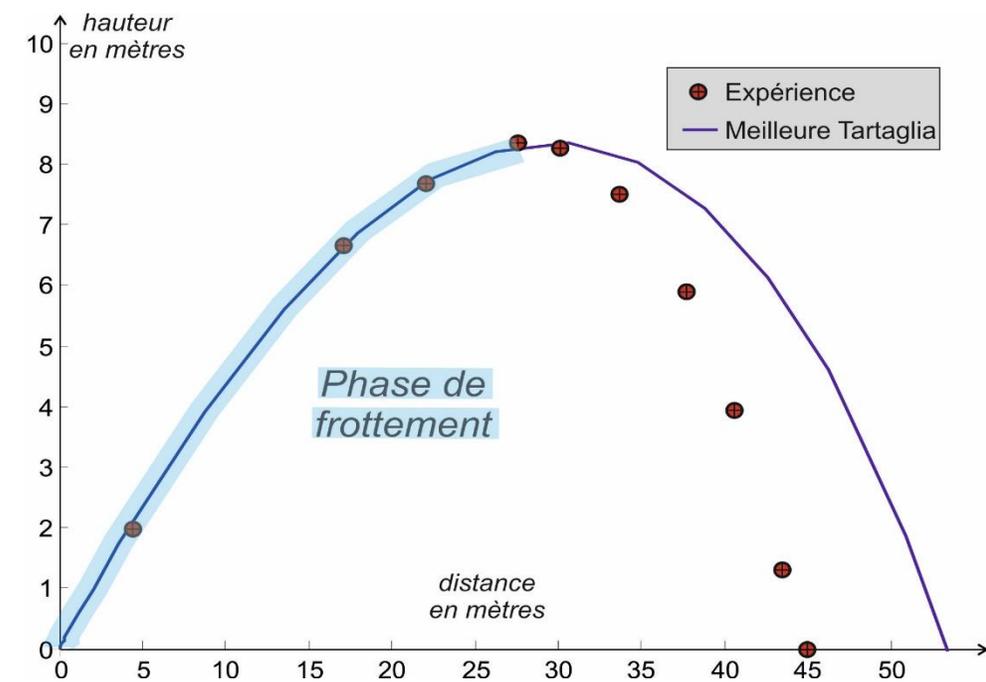


# Un coup de pied de rugby c'est très compliqué !

Le ballon commence par frotter avec l'air puis il tombe sans frottement ...



Angle de départ :  $28^\circ$   
Vitesse initiale : 32 m/s  
 $mk_{\text{frot}} = 6 \text{ g/m}$



# Classification des sports de balle

(merci à Christophe Clanet, CNRS, Ladhyx)

Etude complète : Thèse de Caroline Cohen (2014) & Thèse de Baptiste Darbois Texier (2013)

On peut comprendre certaines propriétés de la matière en ordonnant les éléments par numéro atomique croissant et organisés en fonction de leur configuration électronique.

tableau-periodique.fr

GROUPE																			
PERIODE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	Hydrogène 1 <b>H</b>																	Hélium 2 <b>He</b>	
2	Lithium 3 <b>Li</b>	Béryllium 4 <b>Be</b>											Bore 5 <b>B</b>	Carbone 6 <b>C</b>	Azote 7 <b>N</b>	Oxygène 8 <b>O</b>	Fluor 9 <b>F</b>	Néon 10 <b>Ne</b>	
3	Sodium 11 <b>Na</b>	Magnésium 12 <b>Mg</b>											Aluminium 13 <b>Al</b>	Silicium 14 <b>Si</b>	Phosphore 15 <b>P</b>	Soufre 16 <b>S</b>	Chlore 17 <b>Cl</b>	Argon 18 <b>Ar</b>	
4	Potassium 19 <b>K</b>	Calcium 20 <b>Ca</b>	Scandium 21 <b>Sc</b>	Titane 22 <b>Ti</b>	Vanadium 23 <b>V</b>	Chrome 24 <b>Cr</b>	Manganèse 25 <b>Mn</b>	Fer 26 <b>Fe</b>	Cobalt 27 <b>Co</b>	Nickel 28 <b>Ni</b>	Cuivre 29 <b>Cu</b>	Zinc 30 <b>Zn</b>	Gallium 31 <b>Ga</b>	Germanium 32 <b>Ge</b>	Arsenic 33 <b>As</b>	Sélénium 34 <b>Se</b>	Brome 35 <b>Br</b>	Krypton 36 <b>Kr</b>	
5	Rubidium 37 <b>Rb</b>	Strontium 38 <b>Sr</b>	Yttrium 39 <b>Y</b>	Zirconium 40 <b>Zr</b>	Niobium 41 <b>Nb</b>	Molybdène 42 <b>Mo</b>	Technétium 43 <b>Tc</b>	Ruthénium 44 <b>Ru</b>	Rhodium 45 <b>Rh</b>	Palladium 46 <b>Pd</b>	Argent 47 <b>Ag</b>	Cadmium 48 <b>Cd</b>	Indium 49 <b>In</b>	Étain 50 <b>Sn</b>	Antimoine 51 <b>Sb</b>	Tellure 52 <b>Te</b>	Iode 53 <b>I</b>	Xénon 54 <b>Xe</b>	
6	Césium 55 <b>Cs</b>	Baryum 56 <b>Ba</b>	Lanthanides		Hafnium 72 <b>Hf</b>	Tantale 73 <b>Ta</b>	Tungstène 74 <b>W</b>	Rhénium 75 <b>Re</b>	Osmium 76 <b>Os</b>	Iridium 77 <b>Ir</b>	Platine 78 <b>Pt</b>	Or 79 <b>Au</b>	Mercur 80 <b>Hg</b>	Thallium 81 <b>Tl</b>	Plomb 82 <b>Pb</b>	Bismuth 83 <b>Bi</b>	Polonium 84 <b>Po</b>	Astate 85 <b>At</b>	Radon 86 <b>Rn</b>
7	Francium 87 <b>Fr</b>	Radium 88 <b>Ra</b>	Actinides		Rutherfordium 104 <b>Rf</b>	Dubnium 105 <b>Db</b>	Seaborgium 106 <b>Sg</b>	Bohrium 107 <b>Bh</b>	Hassium 108 <b>Hs</b>	Méitnerium 109 <b>Mt</b>	Darmstadtium 110 <b>Ds</b>	Roentgenium 111 <b>Rg</b>	Copernicium 112 <b>Cn</b>	Ununtrium 113 <b>Uut</b>	Ununquadium 114 <b>Uuq</b>	Ununpentium 115 <b>Uup</b>	Ununhexium 116 <b>Uuh</b>	Ununseptium 117 <b>Uus</b>	Ununoctium 118 <b>Uuo</b>
			Lanthane 57 <b>La</b>	Cérium 58 <b>Ce</b>	Praséodyme 59 <b>Pr</b>	Néodyme 60 <b>Nd</b>	Prométhium 61 <b>Pm</b>	Samarium 62 <b>Sm</b>	Europium 63 <b>Eu</b>	Gadolinium 64 <b>Gd</b>	Terbium 65 <b>Tb</b>	Dysprosium 66 <b>Dy</b>	Holmium 67 <b>Ho</b>	Erbium 68 <b>Er</b>	Thulium 69 <b>Tm</b>	Ytterbium 70 <b>Yb</b>	Lutécium 71 <b>Lu</b>		
			Actinium 89 <b>Ac</b>	Thorium 90 <b>Th</b>	Protactinium 91 <b>Pa</b>	Uranium 92 <b>U</b>	Neptunium 93 <b>Np</b>	Plutonium 94 <b>Pu</b>	Américium 95 <b>Am</b>	Curium 96 <b>Cm</b>	Berkélium 97 <b>Bk</b>	Californium 98 <b>Cf</b>	Einsteinium 99 <b>Es</b>	Fermium 100 <b>Fm</b>	Mendélévium 101 <b>Md</b>	Nobélium 102 <b>No</b>	Lawrencium 103 <b>Lr</b>		

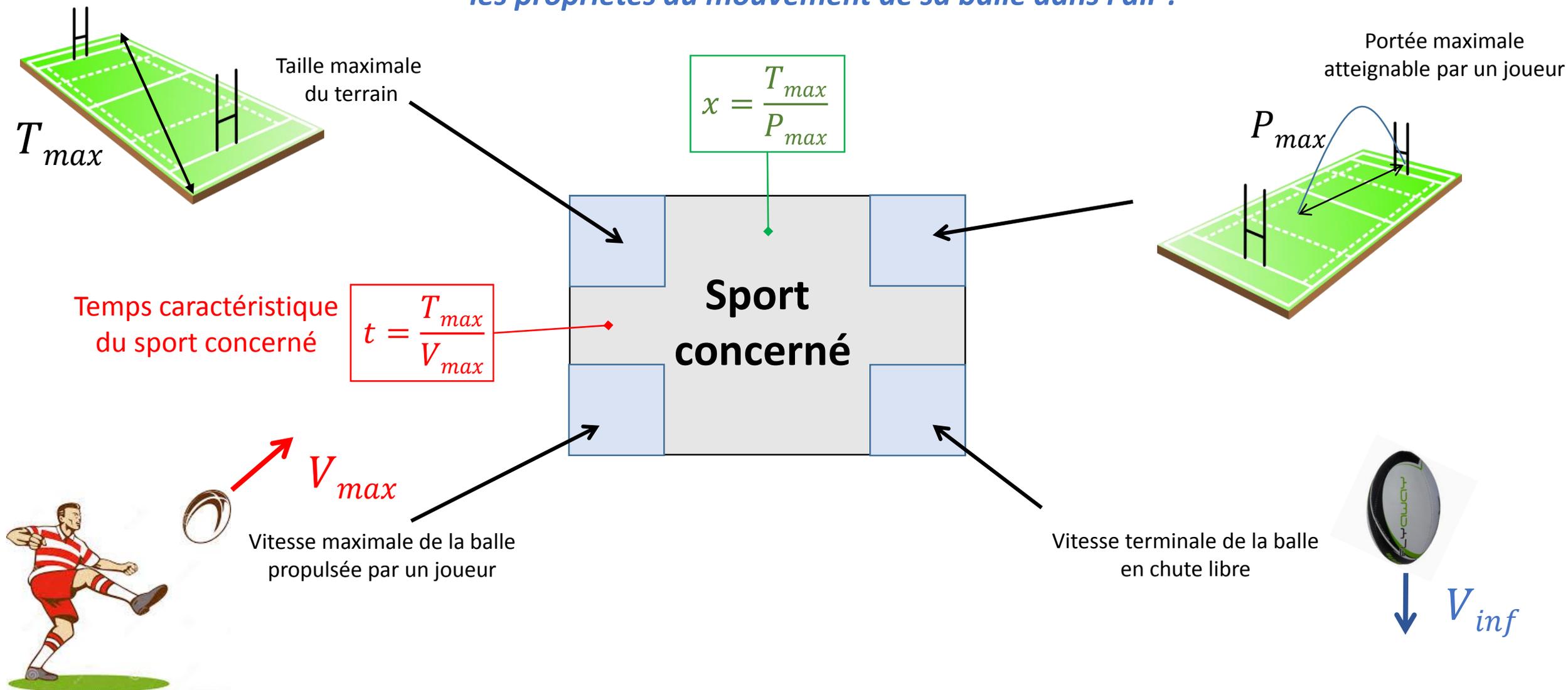
**Légende:**

- Non-métaux
- Métaux alcalins
- Métaux alcalino-terreux
- Métaux de transition
- Métaux pauvres
- Métalloïdes
- Halogènes
- Gaz nobles
- Lanthanides
- Actinides

# Classification des sports de balle

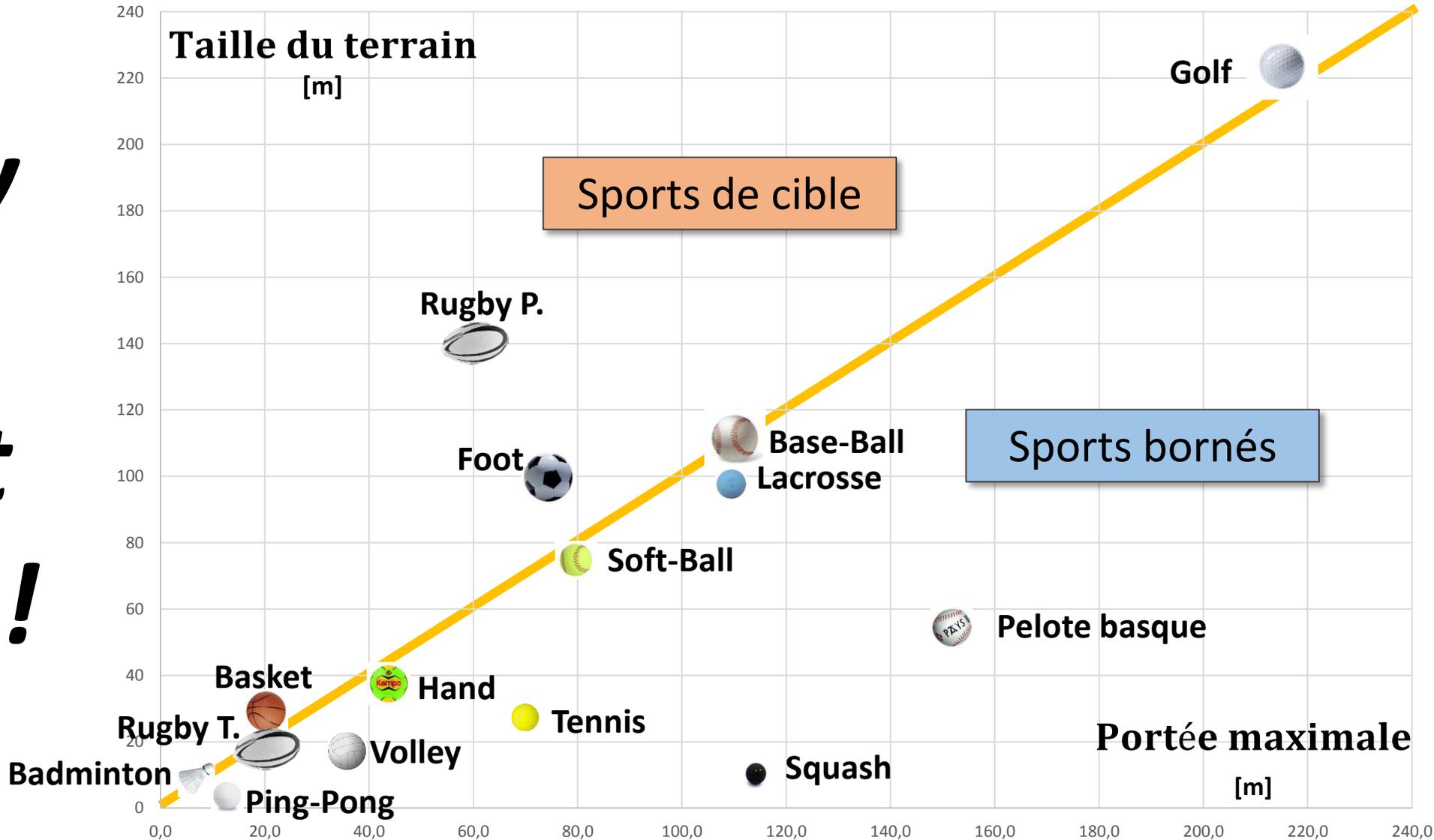
(merci à Christophe Clanet, CNRS, Ladhyx)

On peut comprendre certaines règles d'un sport de balle en étudiant les propriétés du mouvement de sa balle dans l'air !





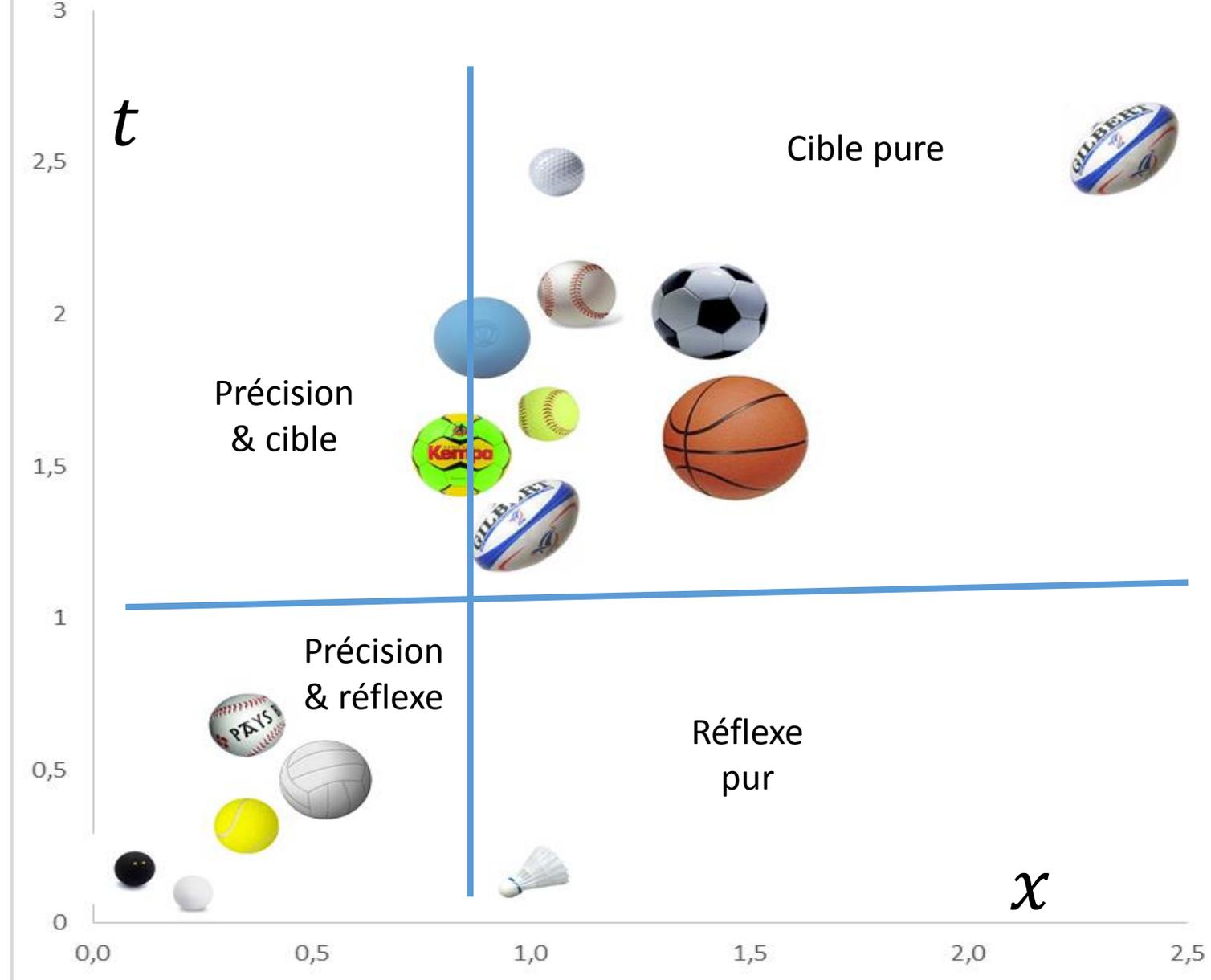
# Le rugby est un sport complet !



À partir des travaux de Texier, Cohen, Dupeux, Quéré, Clanet, *New Journ. Phys.*, **16**, 2014



# Le rugby est un sport complet !



À partir des travaux de Texier, Cohen, Dupeux, Quéré, Clanet, *New Journ. Phys.*, **16**, 2014



**A quelle vitesse part  
le ballon après  
un coup de pied ?**



La vitesse initiale....



# A quelle vitesse part le ballon ?



Sans aucune perte  
au moment de l'impact  
la vitesse du mur est la même avant et après le choc  
Celles du ballon sont opposées...



$-\vec{v}$   $\longrightarrow$   
Avant le choc

$\longleftarrow +\vec{v}$  Après le choc



Mur  
immobile

Avant le choc

Ballon immobile



$+\vec{v}$   
 $\longleftarrow$

« Mur »  
mobile

Un truc de dingue ...!



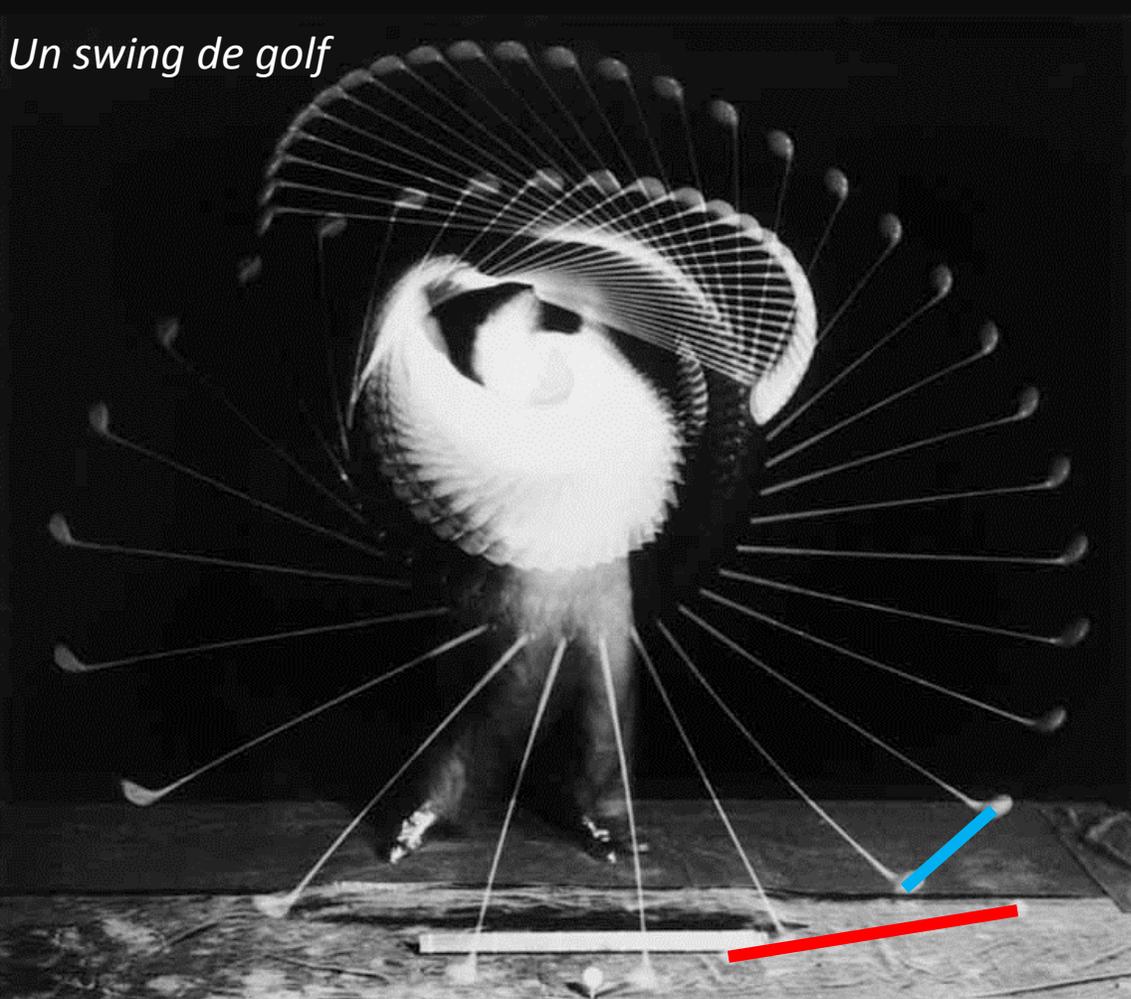
$+\vec{v}$   
 $\longleftarrow$

Après le choc

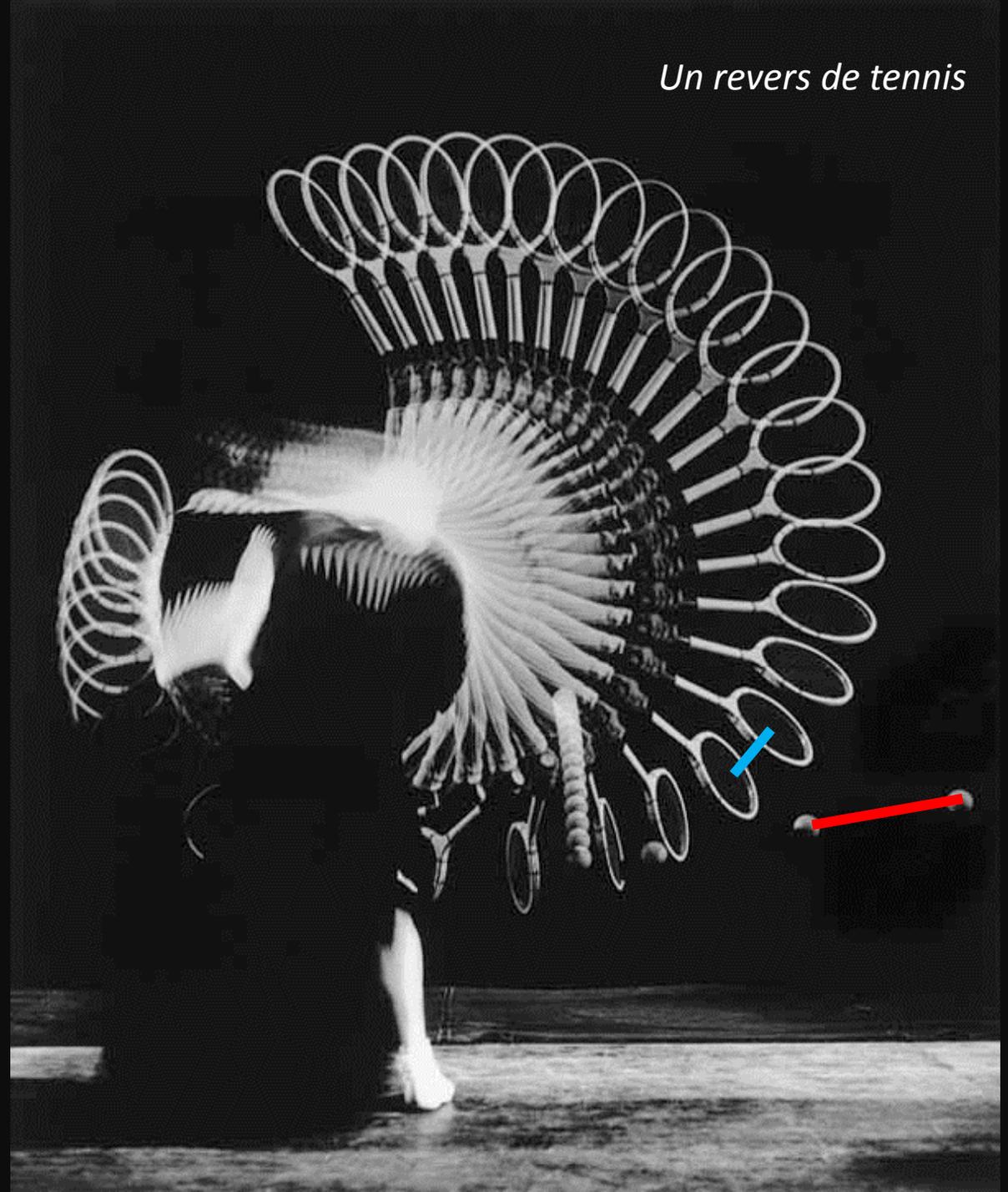
$+2\vec{v}$   
 $\longleftarrow$

La vitesse du ballon est  
le double de celle du pied !

*Un swing de golf*



*Un revers de tennis*



Vérification expérimentale

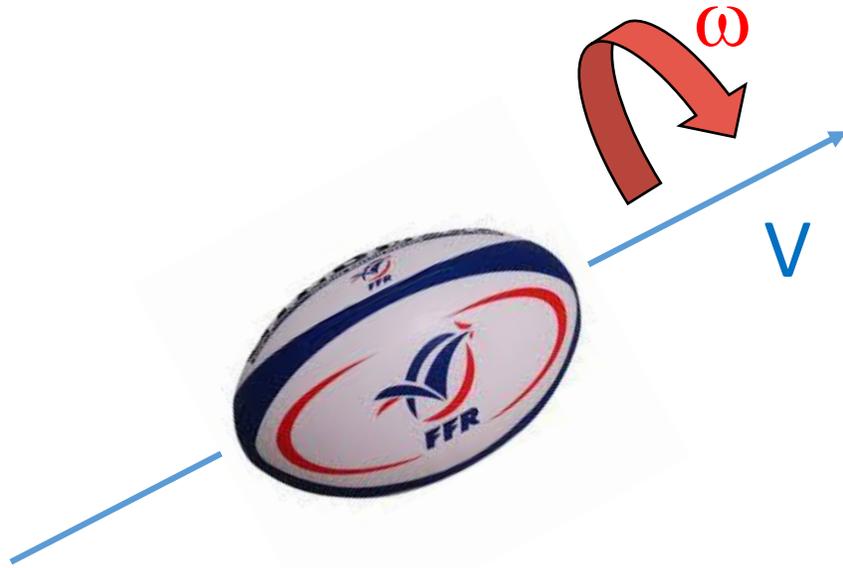
*Photographies en rafale...*

*( L'intervalle de temps entre 2 images est constant )*

*Harold Edgerton*

*Pour une étude complète : Thèse de Caroline Cohen, Ladhyx, 2014*

## Une fois en l'air le ballon peut tourner ...



Si le botteur arrive à le faire tourner autour de son axe le plus long ...  
C'est aussi celui de sa vitesse.

- L'effet gyroscopique (toupie) va stabiliser son axe de rotation ;
- Sa portance va augmenter : il plane comme une aile et peut aller plus loin (15%) ;
- L'effet Magnus peut changer sa trajectoire.

Dan Carter est le spécialiste de ce type de trajectoire



Les joueurs utilisent aussi l'effet gyroscopique pour se faire des passes, ils disent qu'elles sont vissées ...

# La touche : un jet parabolique



Un geste d'équipe...

Comment envoyer le ballon  
afin qu'il soit à sa hauteur maximale  
au moment où votre co-équipier y est aussi ?

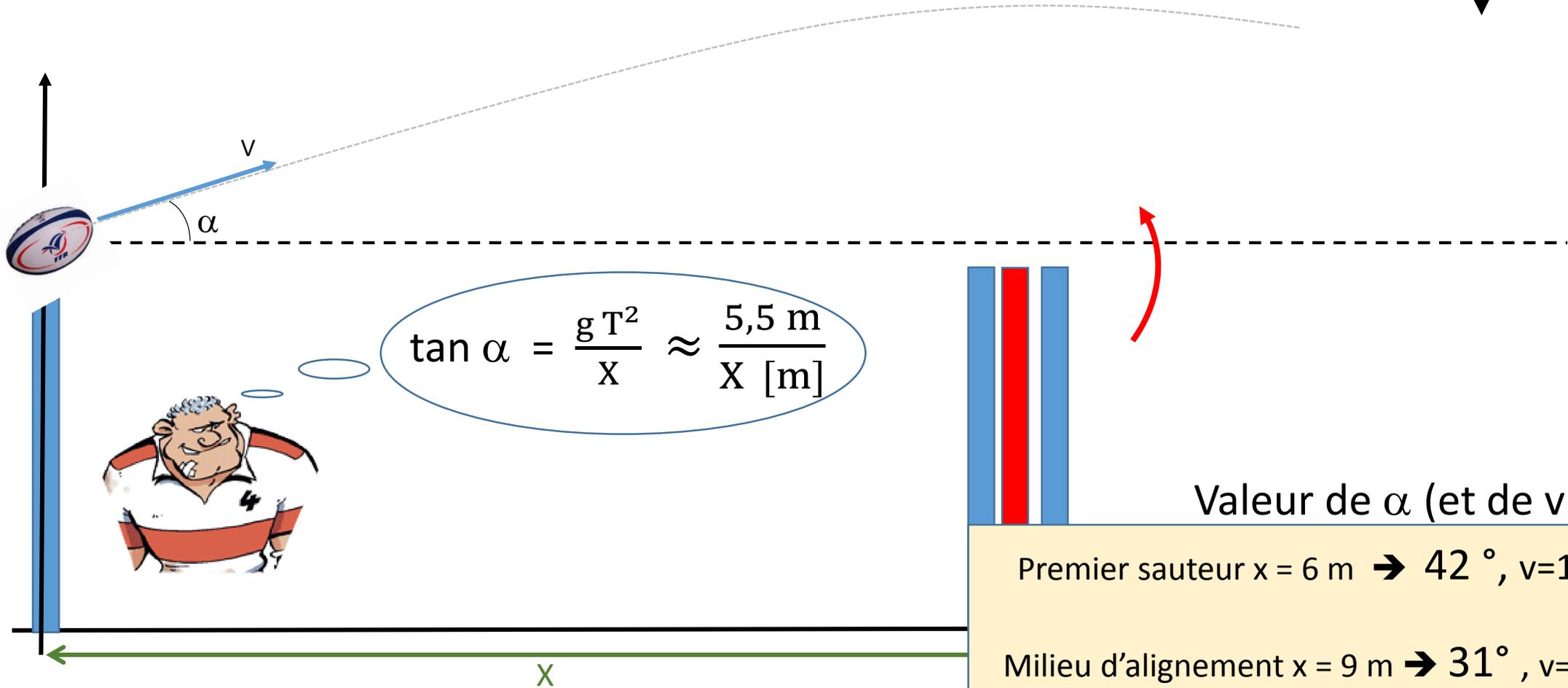


# Hypothèse

Le sauteur atteint la hauteur maximale toujours en  $T \approx 0,75$  s

Poids = masse  $\times$  g

$g = 9,81$  m/s par s



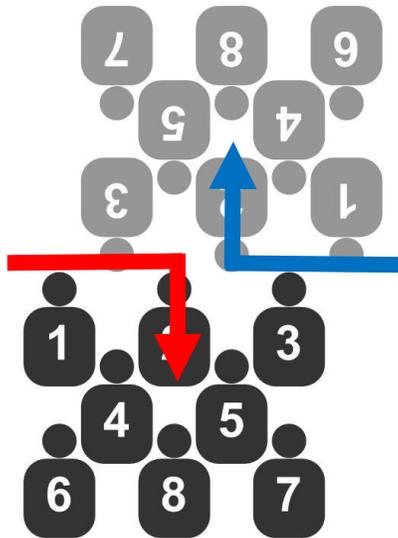
# La mêlée : de l'ordre dans le chaos !



[www.bamboo.fr](http://www.bamboo.fr)

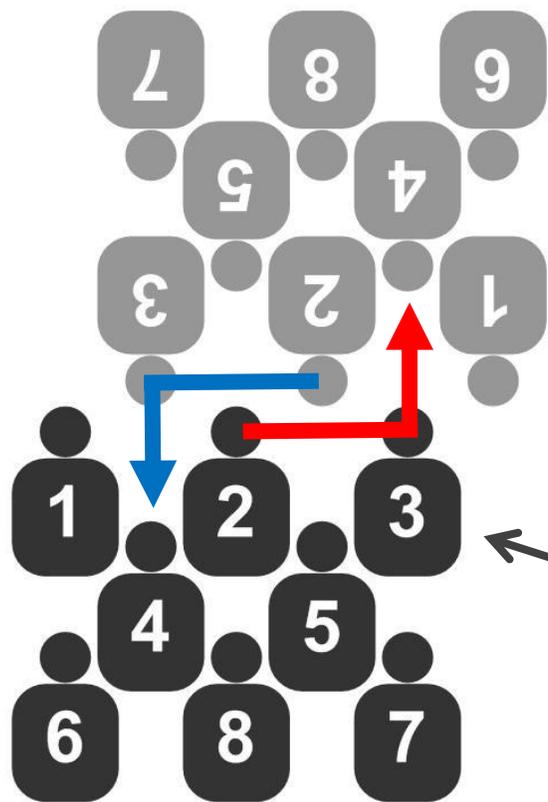
# Introduction en mêlée

Peu de physique...  
Beaucoup d'astuce !



Le ballon est envoyé sur la jambe avancée du talonneur  
Elle rebondit vers l'arrière...

Il n'engage qu'une épaule (la droite) et ne possède donc qu'un vis-à-vis, il doit en revanche pouvoir profiter de sa situation pour repousser le pilier droit adverse, tout en évitant que la mêlée s'écroule de son côté.



L'importance du pilier droit (3)

Il exerce le couple de la mêlée



**Fabien BARCELLA**  
1,83 m - 115 kg



**Xavier CHIOCCI**  
1m80 - 110kg



**Florian FRESIA**  
1m84 - 110 kg



**Alexandre MENINI**  
1m83 - 115 kg

## Pilier gauche (1)

**Moyenne**  
1m82 – 112,5 kg



**Karim BOUGHERARA**  
1m83 - 115 kg



**Martin CASTROGIOVANNI**  
1m88 - 119 kg



**Levan CHILACHAVA**  
1m88 - 120kg



**Carl HAYMAN**  
1m94 - 120 kg

## Pilier droit (3)

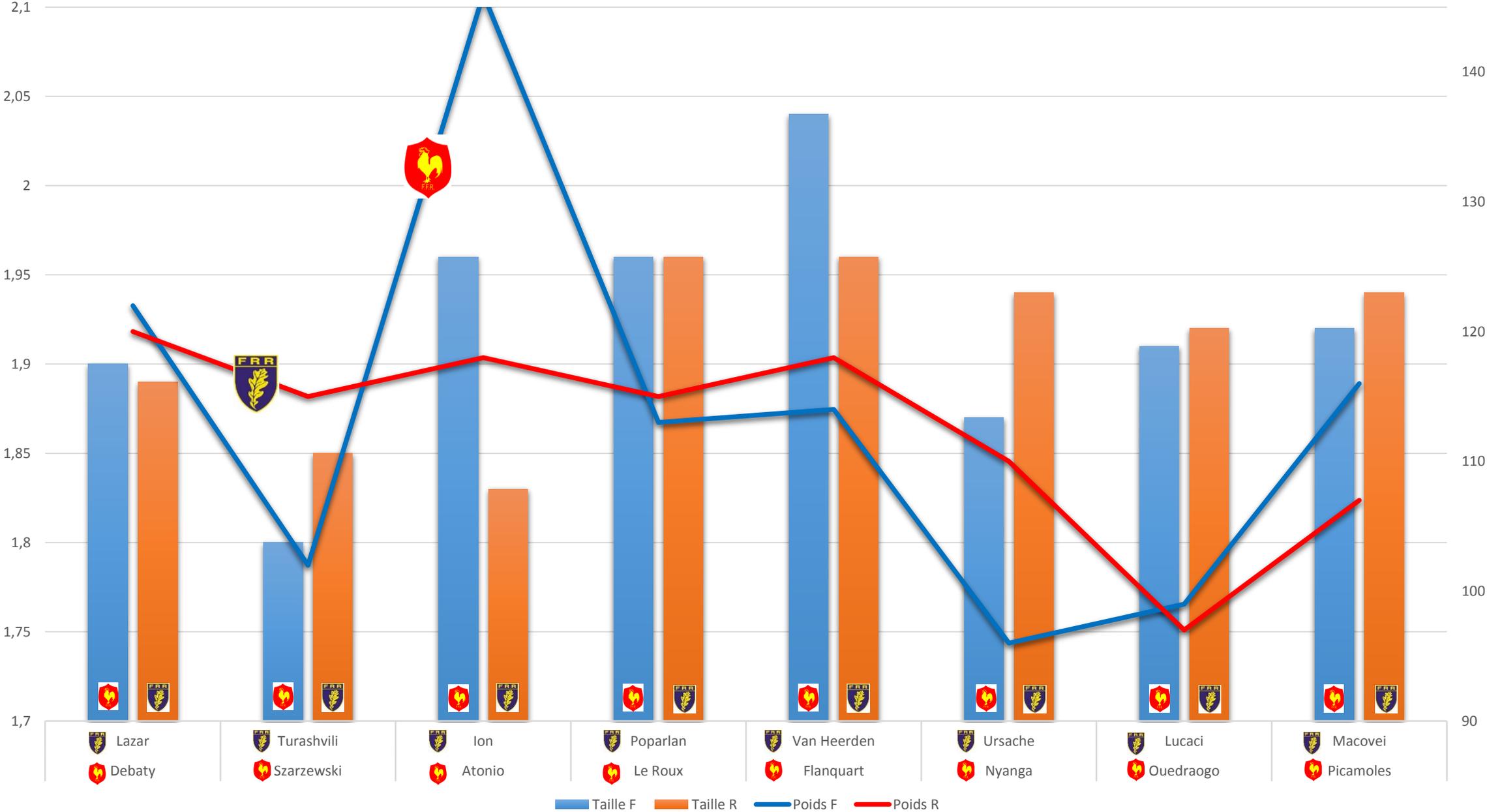
**Moyenne**  
1m88 – 118,5 kg

Il engage ses deux épaules dans la mêlée et doit contenir à la fois le talonneur et le pilier gauche adverses, il doit donc posséder suffisamment de force physique pour éviter de subir la pression adverse et de devoir se relever.



L'exemple Toulonnais

# Comparaison physique des mêlées France/Roumanie 23/09/2015



# La mêlée des argentins ...



# Analyse physique d'un record



*L'essai le plus rapide en match international*  
*Galles – Fidji -- Coupe du Monde Junior 2014 -- Pukekohe, Nle Zélande*

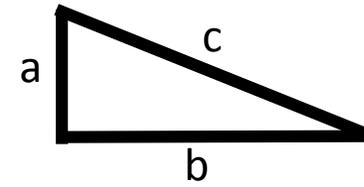


5

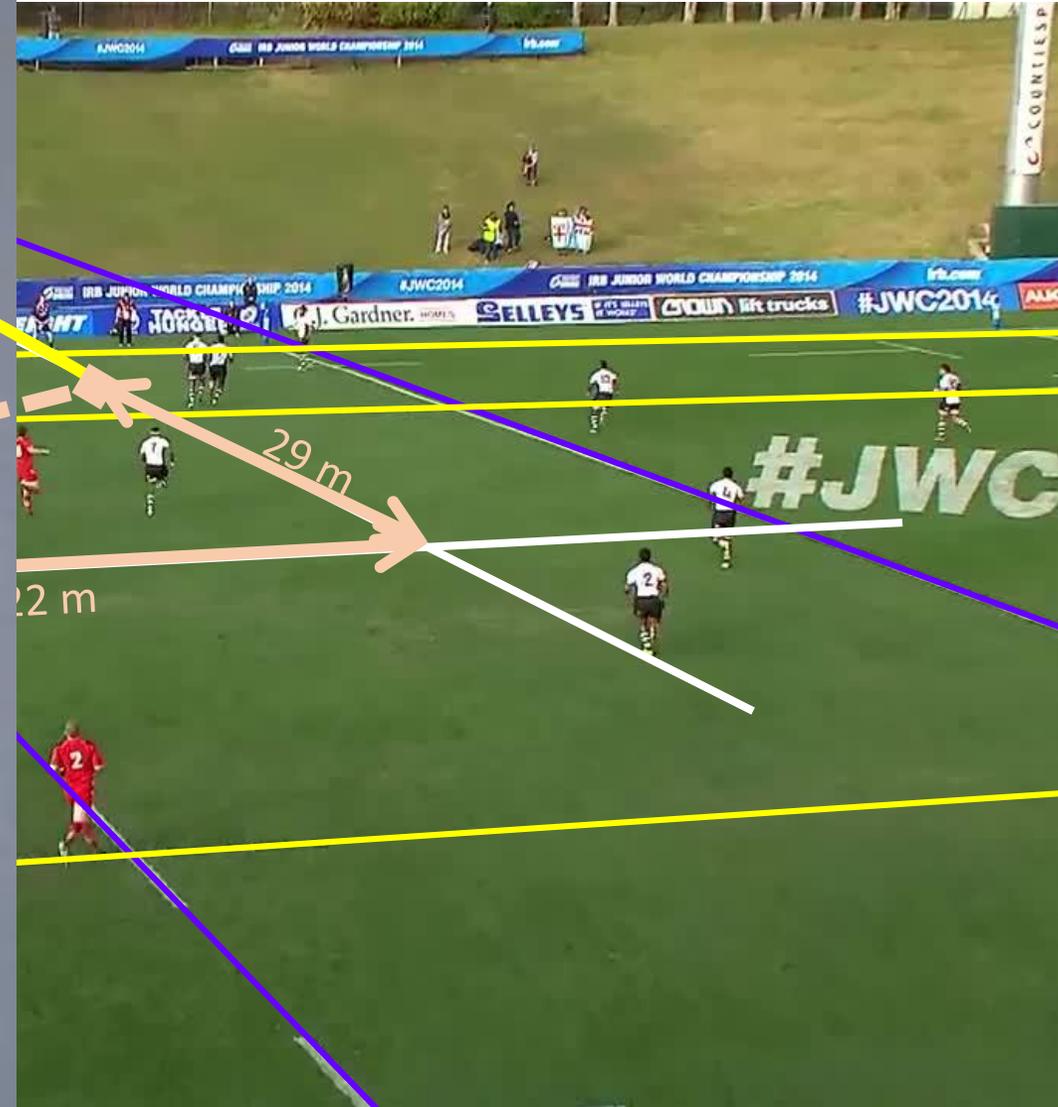
7

Emirates

*Théorème de Pythagore*



$$c^2 = a^2 + b^2$$



$$d = 36,4 \text{ m}$$

$$t = 2,4 \text{ s}$$

$$V_o = 19,2 \text{ m/s}$$

$$\alpha = 38^\circ$$

*Analyse technique du record en vue de son homologation !*

... le ballon rebondit sur la pelouse et D. Howells l'attrape 0,48s plus tard en sautant ...



D. Howells a parcouru 23,5 m en 2,88 s  
sa vitesse moyenne est de 8,16 m/s

Record du monde , U. Bolt sur 200m : 10,42 m/s

On peut en déduire que 50% de la vitesse  
a été perdue lors du rebond ...

et donc 75% de l'énergie... !

Il franchit les 26,5 derniers mètres et applatit en 3,28s  
Soit à la vitesse moyenne est de 8,60 m/s



L'essai est marqué au bout de 6,16 secondes de jeu !

Le plus bel essai international de tous les temps !

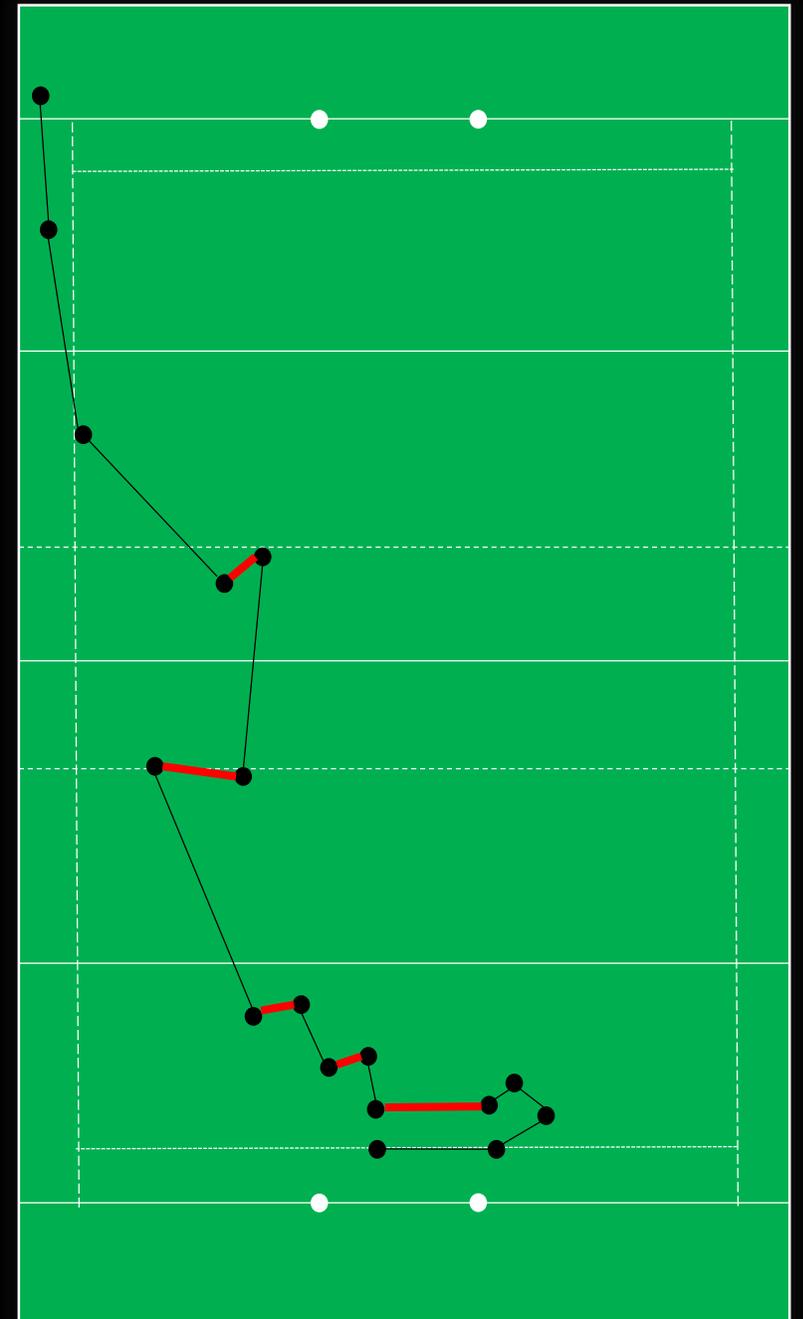


Gareth Edwards

Cardiff, Arms Park, 1973



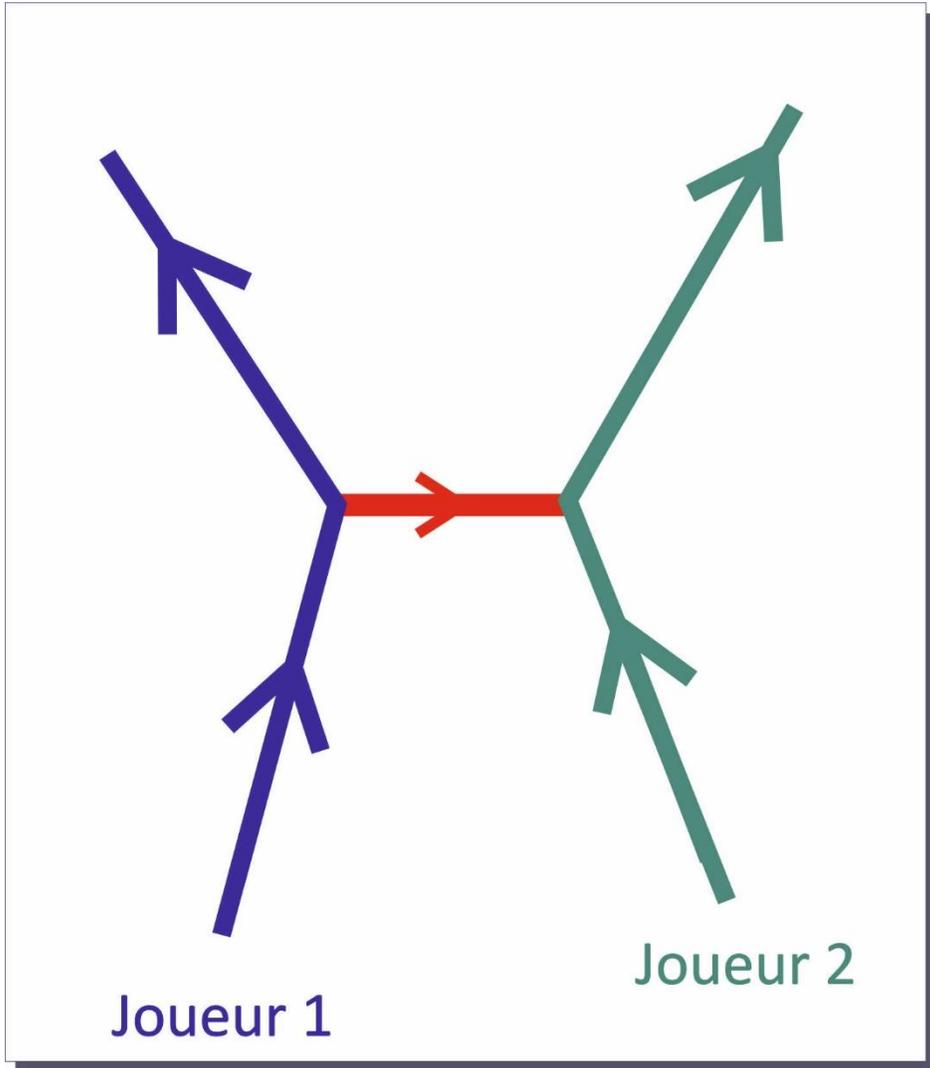
Phill Benett



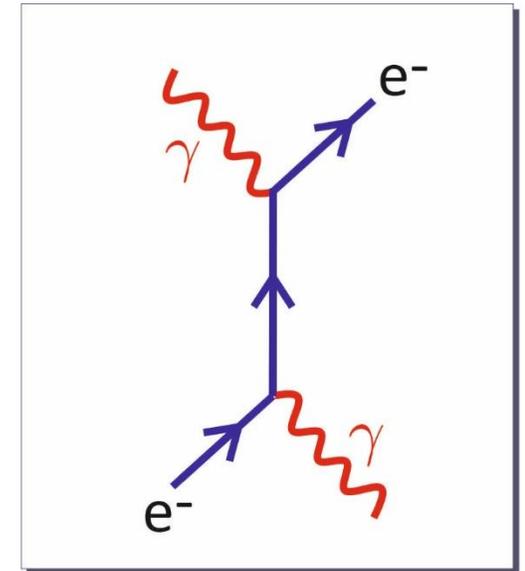
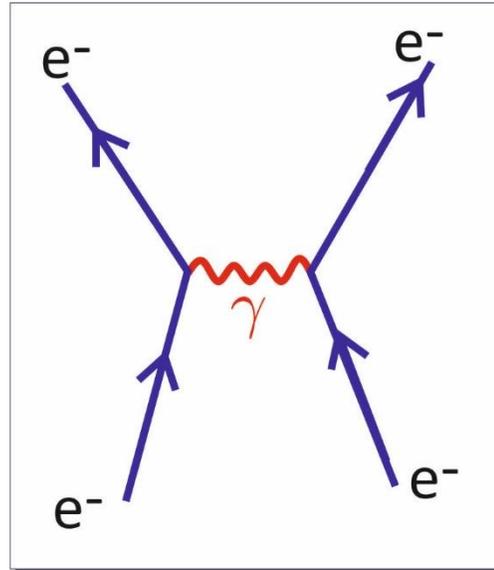
# Une passe au rugby



# Une interaction en physique



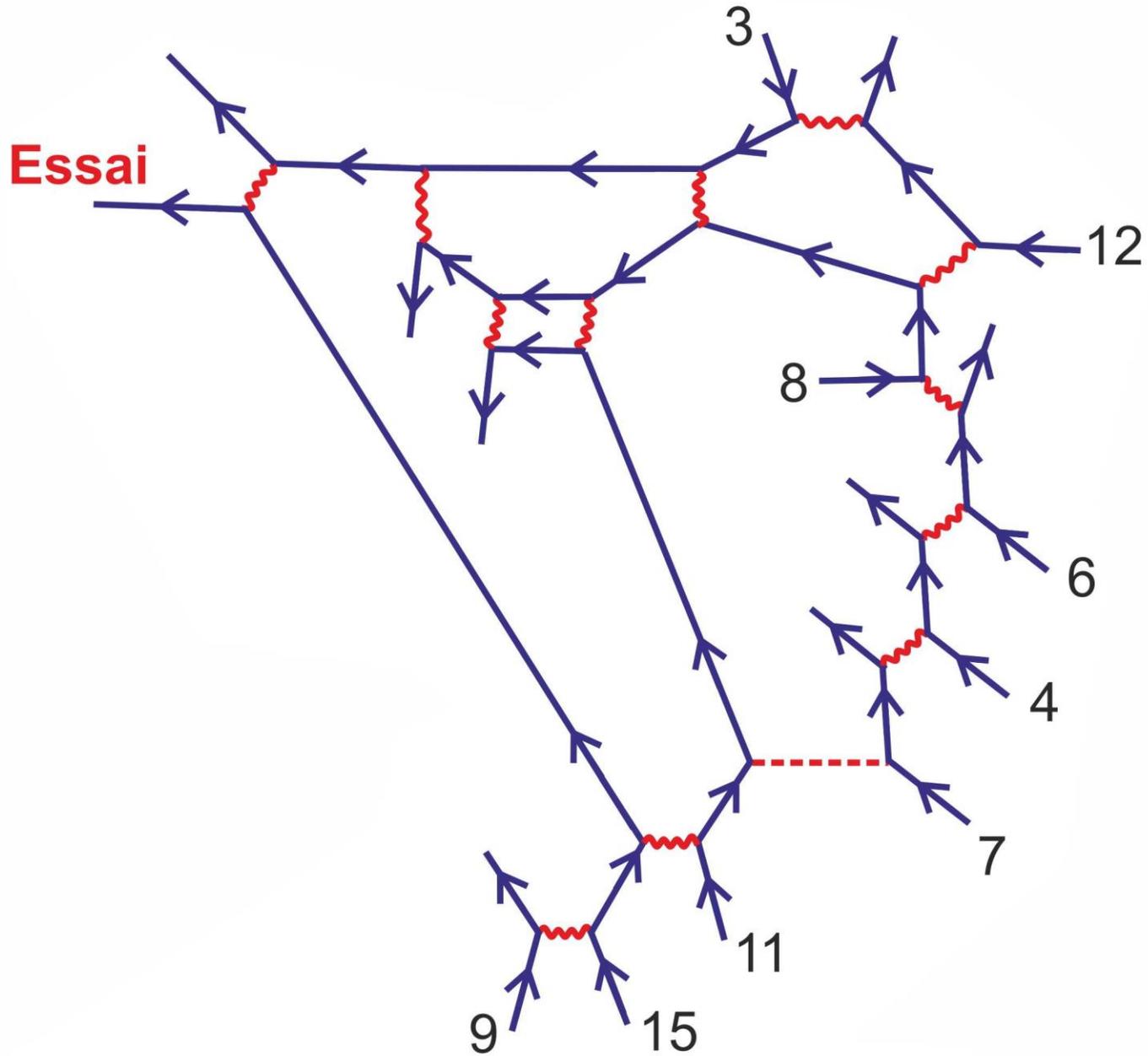
## Diffusion Møller



## Diffusion Compton

Une source d'inspiration pour les rugbymen  
et leurs éducateurs ?

Le véritable plus bel essai international de tous les temps !



# France – Australie – Demi Finale de la Coupe du monde 1987



Réussir une pénalité : une histoire de probabilités  
ou de gestion du stress ?



# Pénalité de Paul Thorburn

37 sélections – 10 fois capitaine

Match Galles-Ecosse  
Tournoi des V nations  
Arms Park – Cardiff  
Février 1986

Distance : 64,65 m

Record du stade



Record en match international

68 mètres par Pierre Villepreux

Nle Zélande – France

Wellington 1968

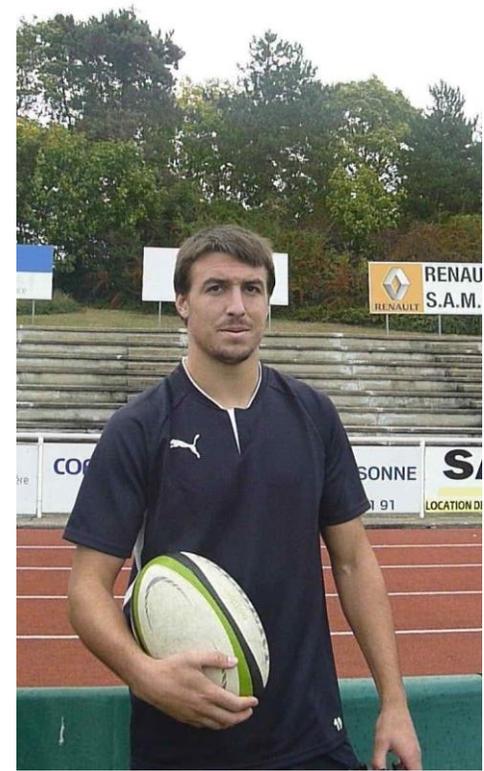


 <b>Adrien Latorre</b> Massy - Pro D2 2014/15	<b>Transformations d'essais</b>			<b>Pénalités</b>			% Buteur
	Tentatives	 Efficacité		Tentatives	 Efficacité		
	44	41 93,18%		83	58 69,88%	77,95%	

Date	Club	Tentatives	Efficacité	Pénalités	% Buteur
02/05/2015	Tarbes	0		5 5 100 %	100 %
25/04/2015	Carcas.	2 2 100 %		1 1 100 %	100 %
11/04/2015	Agen	3 3 100 %		2 1 50 %	80 %
04/04/2015	Dax	1 1 100 %		2 1 50 %	67 %
28/03/2015	Bourgoin	2 2 100 %		4 2 50 %	67 %
15/03/2015	Perpignan	2 2 100 %		2 2 100 %	100 %
22/02/2015	Aurillac	3 2 67 %		7 5 71 %	70 %
31/01/2015	Narbonne	3 2 67 %		3 2 67 %	67 %
25/01/2015	Biarritz	1 1 100 %		3 1 33 %	50 %
17/01/2015	Beziers	2 2 100 %		0	
11/01/2015	Mont de Marsan	3 3 100 %		5 5 100 %	100 %
20/12/2014	Agen	2 2 100 %		5 5 100 %	100 %
14/12/2014	Montauban	1 1 100 %		6 4 67 %	71 %
29/11/2014	Tarbes	0		2 0 0 %	0 %
23/11/2014	Dax	5 5 100 %		6 5 83 %	91 %
16/11/2014	Biarritz	0	0 %	1 0 0 %	0 %
09/11/2014	Beziers	1 1 100 %		6 4 67 %	71 %
01/11/2014	Colomiers	1 1 100 %		1 0 0 %	50 %
18/10/2014	Carcas.	3 3 100 %		8 6 75 %	82 %
11/10/2014	Aurillac	2 2 100 %		2 1 50 %	75 %
04/10/2014	Narbonne	3 3 100 %		6 6 100 %	100 %
20/09/2014	Bourgoin	3 3 100 %		3 2 67 %	83 %
13/09/2014	Mont de Marsan	1 0 0 %		3 0 0 %	0 %
06/09/2014	Albi	0	0 %	0	0 %
31/08/2014	Perpignan	0	0 %	0	0 %
23/08/2014	Pau	0	0 %	0	0 %

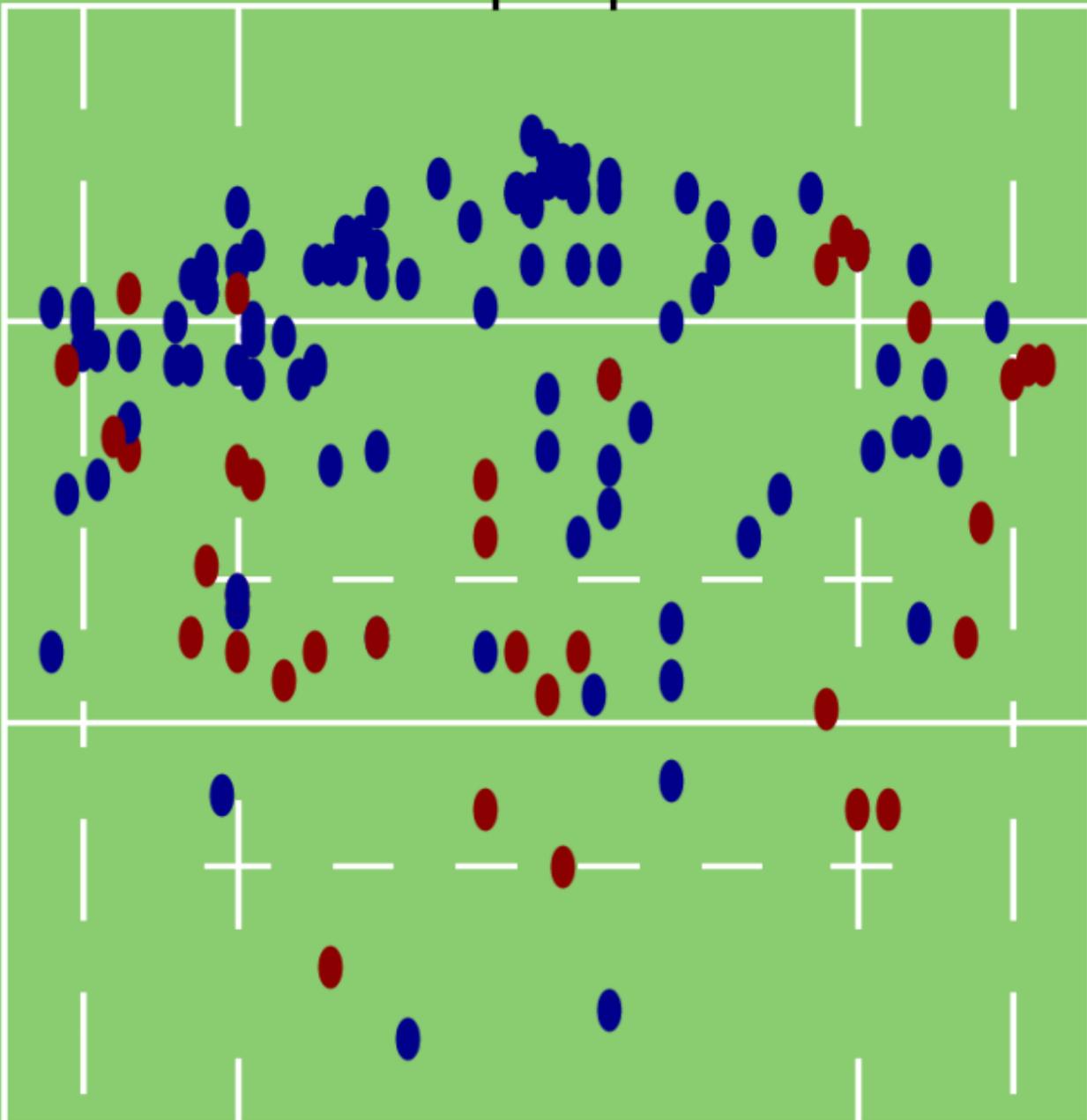


# Les statistiques de « Patator »



né le 4/08/1990 – 1m80 – 78 kg

**Clubs : Pau – Narbonne – Massy - Carcassonne**



8/9 (89%)	42/45 (93%)	3/5 (60%)
8/12 (67%)	17/22 (77%)	6/10 (60%)
1/2 (50%)	7/16 (44%)	1/2 (50%)
1/1	1/3	0/2
	2/3	

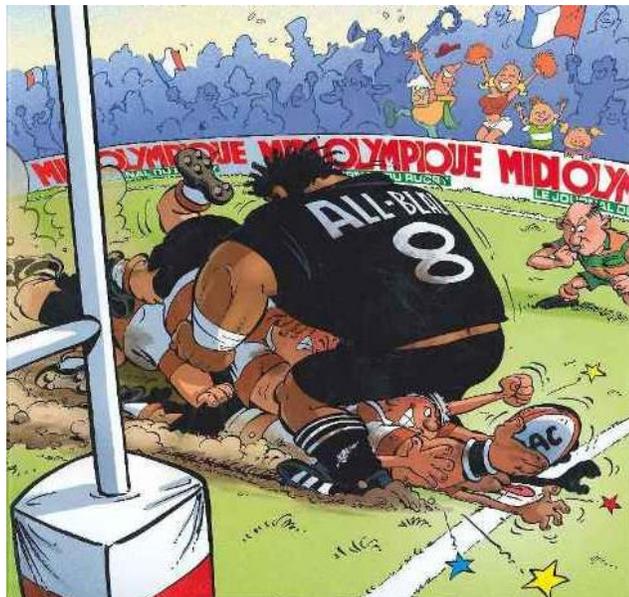
2 paramètres fondamentaux

La distance et le coté ...

Je n'ai pas parlé et ne parlerai pas



des impacts en mêlée  
et entre joueurs...



des différents  
types d'essais ...



Et de bien d'autres choses encore !

D'où vient le rugby ?



D'où vient le rugby ?



*M 110*

# D'où vient le rugby ?



D'où vient le rugby ?



NGC 1132

# *la* physique *du* rugby

Merci de votre attention

