



La stratégie du penalty

IVAR EKELAND

Lors du tir des penaltys, le tireur et le gardien de but utilisent, consciemment ou inconsciemment, des tactiques «économiques». Celles-ci, pour être imprévisibles, sont fondées sur le hasard.

Le penalty est le jeu le plus simple qui soit. Le tireur doit frapper la balle sans faire de feinte, au terme d'une course rectiligne, et le gardien ne doit pas quitter sa ligne de but avant que la balle ait été frappée. Comme celle-ci va à plus de 150 km/h, elle met moins de 2/10 de seconde pour franchir les 11 mètres qui la séparent du but, et le gardien n'a pas le temps de réagir à la direction qu'elle prend. De son point de vue, le jeu consiste à deviner avant la frappe de quel côté la balle va partir et à s'élancer dans cette direction dès que le tireur touche la balle. S'il part du mauvais côté, le penalty est marqué, sauf si le tir sort du cadre ; s'il part du bon côté, il a une chance d'arrêter le tir.

Les enjeux sont importants : la dernière Coupe de France a été remportée sur penalty. Lors de la dernière Coupe d'Europe des Nations, c'est sur penalty que se sont décidées l'élimination des Pays-Bas face à l'Italie et la qualification de la France face au Portugal.

Aussi, lors d'un penalty, le tireur et le gardien font attention à ce qu'ils font. Ce sont des professionnels, c'est un des actes les plus importants de leur métier. Ils s'y entraînent plusieurs fois par semaine, et ils connaissent parfaitement bien les qualités et les défauts de leur adversaire, soit qu'ils l'aient déjà eu en face d'eux dans des circonstances semblables, soit qu'ils l'aient étudié avec leur entraîneur sur des enregistrements vidéo. Bref, le penalty est un jeu simple, joué par des professionnels pour des enjeux importants. Peut-on l'analyser du point de vue théorique ?

Il existe une théorie des jeux, capable de modéliser mathématiquement ce genre de situation. On lui fait le même reproche qu'à la théorie économique, c'est-à-dire de supposer que les joueurs sont de purs mathématiciens, infiniment calculateurs et parfaitement rationnels, bref de représenter un *homo œconomicus* qui serait une espèce distincte (et peut-être plus sympathique) que l'*homo sapiens* qui a envahi notre planète.

Jouons le jeu, regardons d'abord ce que font nos mathématiciens, et, après, nous les comparerons à Zidane et à Barthez.

Nos footballeurs idéaux ont des qualités personnelles : certains tirent mieux, ou arrêtent mieux, que les autres. Ils sont aussi dissymétriques : 85 % des tireurs sont droitiers et 15 % gauchers. D'ailleurs, plutôt que du côté droit ou du côté gauche, il vaut mieux mentionner le côté naturel du tireur, celui vers lequel il est le plus efficace. Le tireur a donc le choix entre son côté naturel (pour un droitier, le côté gauche), le côté opposé, et tout simplement le centre, sous la barre transversale. De même, le gardien a le choix entre le côté naturel du tireur (qu'il connaît), le côté opposé, ou rester sur place. Toutes les combinaisons de choix sont possibles et aboutissent à des probabilités de marquer différentes (qui sont propres au couple tireur/gardien considéré). Ainsi, si le tireur sait que le gardien va sauter à droite, il a toujours intérêt à tirer à gauche, même si le côté droit est son côté naturel ; en d'autres termes, l'avantage de la surprise est toujours plus important que la puissance du tir.

Que dit alors la théorie ? Elle dit que le jeu possède un équilibre en «stratégies mixtes». Traduit en bon français, cela signifie que le gardien et le tireur vont l'un et l'autre calculer des probabilités, p_n , p_o et p_c pour le gardien, q_n , q_o et q_c pour le tireur, et qu'ils vont tirer au sort, chacun de son côté, en arrivant sur le terrain : le gardien choisira le côté naturel du tireur avec la probabilité p_n , le côté opposé avec la probabilité p_o , et le centre avec la probabilité p_c . De même pour le tireur, en remplaçant les p par des q .

Il peut être étonnant, à première vue, que des personnages supposés infiniment intelligents et calculateurs s'en remettent au sort pour décider ce qu'ils vont faire, tel un vulgaire dieu qui jouerait aux dés, mais un instant de réflexion montre que c'est ce qu'ils ont de mieux à faire, car toute décision plus précise serait autodestructrice : si, par exemple, le tireur disposait d'un raisonnement ou d'un algorithme infaillible qui lui dise qu'à coup sûr, compte tenu de tous les paramètres du problème, aujourd'hui c'est du côté naturel qu'il faut tirer, le gardien, par hypothèse tout aussi intelligent et cal-

culateur que le tireur, et en possession des mêmes informations, reproduirait ce raisonnement ou cet algorithme et sauterait de ce côté-là le moment venu, réduisant donc à néant l'efficacité de la prédiction.

Pour trancher cette circularité, il faut que, jusqu'au dernier moment, le tireur ne sache pas de quel côté il va shooter, ce que l'on exprime mathématiquement en disant qu'il tire au sort. En revanche, il peut parfaitement calculer les probabilités qui donneront en moyenne le meilleur résultat ; le gardien pourra reproduire son calcul, et donc connaître ces probabilités, mais cela ne lui permettra pas de décider de manière certaine du côté où la balle va partir aujourd'hui. Le calcul des probabilités a été fait par P. A. Chiapori, professeur d'économie à l'Université de Chicago, et S. Levitt, et ils ont montré que $p_c < q_c$ et $p_n > q_n$.

Ainsi, un tireur parfaitement rationnel choisira le centre plus souvent que le gardien, et un gardien parfaitement rationnel choisira le côté naturel plus souvent que le tireur. Remarquons que cette conclusion est vérifiable : il suffit de voir tous les penaltys tirés dans les championnats français (1997-1999) et italien (1997-2000) de première division, soit 459 penaltys tirés par 162 tireurs contre 88 gardiens. L'expérience confirme toutes les prédictions théoriques ! Pourquoi ? Aurait-on enfin localisé l'*homo œconomicus* dans les buts de l'équipe de France ? Barthez nous cacherait-il ses talents de mathématicien ?

Pas nécessairement. Il y a d'autres possibilités. La première, c'est qu'il est tombé dans la marmite quand il était petit, que les bonnes probabilités sont inscrites dans son code génétique, et que c'est justement pour cela que c'est un bon gardien. La deuxième, c'est qu'il ne calcule pas, mais qu'il est capable d'apprendre : c'est l'expérience qui lui a enseigné les bonnes probabilités, et qui fait que ce sont celles-là qu'il pratique. Bref, selon une formule que j'emprunte ici à mon ami J.M. Lasry, on fait une théorie pour des gens superintelligents, et elle marche très bien avec des gens ordinaires.



Tout au chocolat

HERVÉ THIS

Comment introduire du chocolat dans toutes les pâtisseries.

Nœl, le réveillon du Nouvel An... Le chocolat s'impose, mais où l'introduire ? Une pâte feuilletée au chocolat, par exemple ? Le passionné de la brune fève sait que le chocolat contient du beurre de cacao, et il voudrait substituer ce dernier au beurre normal, pour confectionner la pâte feuilletée. Toutefois, il sait aussi que le chocolat est d'une dureté qui interdit la réalisation souhaitée. Quelques idées simples sur les changements d'état donnent la solution du problème et conduisent à une transposition de la majorité des recettes classiques de pâtisserie.

Pour réaliser de la pâte feuilletée, le pâtissier forme d'abord une «détrempe», en travaillant de la farine avec un peu d'eau, parfois du beurre. Puis il étale son pâton, et place dessus une couche de beurre qu'il a amolli en le travaillant un peu. Il replie les bords de la détrempe sur le beurre afin de l'envelopper complètement, puis il effectue des «tours» : six fois de suite, il allonge cette enveloppe beurrée au rouleau et la replie sur elle-même, de sorte que la pâte qu'il cuit finalement est composée d'une alternance de couches de pâte et de beurre.

Comment y mettre du chocolat ? Le chocolat à croquer, malgré son contenu en beurre de cacao, ne peut être utilisé à la place du beurre, parce qu'il est trop dur. Le beurre de cacao, qui est la matière grasse du chocolat (on n'évoquera pas ici les débats à propos des législations qui autorisent l'introduction d'autres matières grasses dans le chocolat), est composé à 80 pour cent de trois composés : trois «triglycérides», dont la molécule a un squelette de glycérol (ce que l'on nomme couramment la glycérine) auquel sont liés des «acides gras» (l'acide palmitique, l'acide stéarique et l'acide oléique).

Cette composition explique les remarquables propriétés physiques du beurre de cacao. Si le beurre de cacao n'était composé que d'une seule sorte de molécules, il fondrait à une température fixe, tout comme l'eau fond à 0 °C sous pression normale. Toutefois, comme il est formé de plusieurs types de molécules, sa température de fusion

s'étale sur une gamme de températures, qui commence à -7 °C (pour certains triglycérides) et s'achève à 34 °C. Malgré tout, le beurre de cacao est une matière grasse remarquable, car 75 pour cent de ses composés fondent entre 20 et 34 °C, et près de 50 pour cent entre 30 et 34 °C. Autrement dit, le chocolat n'est pas un corps pur, mais il n'en est pas très éloigné.

Cette caractéristique, qui est un avantage pour la consommation du chocolat en tablette, gêne le cuisinier, qui fait généralement ses préparations à des températures de l'ordre de 20 °C seulement. D'où les difficultés, notamment, pour la préparation de la pâte feuilletée. Pour la résoudre, comparons le beurre de cacao au beurre, plus hétérogène : le chocolat sera plus malléable si nous le rendons plus «impur». L'idée n'est pas neuve : les cuisiniers ont l'habitude de fondre du chocolat avec du beurre, afin d'obtenir des préparations chocolatées plus molles. Cependant, on peut poursuivre l'idée : à de l'huile neutre que l'on chauffe, on ajoute du chocolat, qui se mêle parfaitement et modifie à volonté les propriétés de fusion.

Cette idée conduit à la réalisation attendue, d'une pâte feuilletée au chocolat (notons qu'une autre solution aurait été l'ajout de poudre de cacao à la farine ou au beurre laitier), mais la systématique entamée conduit aussi à une transposition générale de tous les desserts.

Tous les desserts au chocolat ! De la pâte feuilletée, on arrive simplement à de la pâte à foncer au chocolat, à de la pâte brisée ou de la pâte sablée, toujours au chocolat : il suffit de remplacer le beurre par du chocolat dont la composition lipidique a été changée. De même, on fera de la pâte à savarin au chocolat, de la brioche au chocolat, de la pâte à choux au chocolat, de la pâte à biscuit à l'amande et au chocolat sans farine... Parfois, on parviendra même à mettre le chocolat où on ne l'attend pas, comme dans une crème amandine au chocolat : à du chocolat fondu, on ajoute de la poudre d'amande, un alcool, puis on mêle de la crème pâtissière (obtenue par cuisson de jaunes d'œufs, de sucre de lait et de farine).

Dans d'autres cas, où la matière grasse utilisée est la crème, plutôt que le beurre, la stratégie devra être différente : c'est la crème qui sera remplacée par une préparation au chocolat. Cette fois, la manipulation du point de fusion du chocolat ne suffit pas, car la crème est avant tout une émulsion, c'est-à-dire une dispersion de gouttelettes de matière grasse dans de l'eau (l'eau du lait) ; les gouttelettes restent durablement (mais pas indéfiniment) séparées, parce qu'elles sont entourées de molécules «tensioactives», avec une partie qui est hydrophile (elle se place dans l'eau) et une partie hydrophobe (qui vient au contact de la matière grasse).

Pour remplacer la crème, le cuisinier devra confectionner une émulsion de chocolat... ce qui n'est pas difficile : dans une casserole, placez une solution aqueuse (eau, café, thé, Cognac...), puis chauffez en ajoutant des carrés de chocolat ; une émulsion de chocolat se forme. Cette «béarnaise au chocolat» est l'équivalent de la crème.

Enfin, pour confectionner une bavaroise au chocolat, une nouvelle opération est nécessaire. Partons de la recette classique : on confectionne une crème anglaise, en fouettant du sucre en poudre avec des jaunes d'œufs, puis on ajoute du lait et on cuit la préparation ; on y dissout de la gélatine, et l'on incorpore enfin de la crème fouettée.

Où mettre le chocolat ? Les jaunes d'œufs ne peuvent être remplacés, car c'est leur coagulation qui donne à la crème anglaise sa texture : les agrégats d'œuf cuit sont en suspension dans l'eau du lait. La gélatine, non plus, ne peut être remplacée par du chocolat. La crème, alors ? Il s'agit, dans cette recette, de crème fouettée. Qu'à cela ne tienne : nous fouetterons une émulsion de chocolat et obtiendrons une mousse nommée chocolat Chantilly (voir *Pour la Science*, n° 230, décembre 1996). Et c'est cette mousse de chocolat qui sera ajoutée à la préparation. À vos tablettes !

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science le 27 décembre 2000, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.

■ POUR LA SCIENCE

VOTRE ABONNEMENT 100 % NUMÉRIQUE

1 an au prix de 48 €

soit **4 € seulement par numéro** au lieu de ~~5,20 €~~

Pour consulter et télécharger
en toute liberté sur www.pourlascience.fr
les 12 prochains numéros
dès leur parution.



Oui, je m'abonne
à *Pour la Science* 100 % numérique
1 an (12 numéros) pour 48 €

Je préfère découvrir toutes
les offres d'abonnement disponibles
en cliquant ici.