

iSTAGE 3

LE FOOTBALL DANS L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES





MARQUE D'ÉDITEUR

ÉDITÉ CHEZ

Science on Stage Deutschland e. V.
Poststraße 4/5
10178 Berlin · Allemagne

COORDINATEURS DES ATELIERS

Biosphère

Jean-Luc Richter
Lycée J.B. Schwilgué, Sélestat, France
jeanluc.richter@gmail.com

Joueur

Professeur Miguel Andrade
Université Johannes Gutenberg Mainz, Allemagne
andrade@uni-mainz.de

Ballon

Dr Jörg Gutschank (coordinateur principal)
Leibniz Gymnasium | Dortmund International School,
Dortmund, Allemagne
Président de Science on Stage Deutschland e. V.
j.gutschank@science-on-stage.de

Analyse numérique

Bernard Schriek (ret.)
Marien-Gymnasium Werl, Allemagne
bernard.schriek@t-online.de

COORDINATION GÉNÉRALE ET ÉDITION SCIENCE ON STAGE DEUTSCHLAND E. V.

Stefanie Schlunk, Directrice
Johanna Schulze, Directrice-adjointe
Daniela Neumann

RÉVISION ET TRADUCTION

TransForm Gesellschaft für Sprachen- und Mediendienste mbH
www.transformcologne.de

GÉNÉRIQUE

L'utilisation de l'ensemble des textes et images inclus
dans la présente publication est dûment autorisée.

CONCEPTION

WEBERSUPIRAN.berlin

ILLUSTRATIONS

Tricom Kommunikation und Verlag GmbH
www.tricom-agentur.de

SPONSORISÉ PAR

SAP

VEUILLEZ COMMANDER SUR LE SITE :

www.science-on-stage.de
info@science-on-stage.de

ISBN (PDF) 978-3-942524-47-6

Licence Creative Commons : Attribution
Pas d'utilisation commerciale
Partage des conditions initiales à l'identique



Première édition en 2016

© Science on Stage Deutschland e. V.

TABLE DES MATIÈRES

04 Présentation

05 Préambule - iStage 3

06 Participants

07 BIOSPHÈRE

08 L'herbe est-elle plus verte sous les crampons?

12 Bilan carbone d'un championnat

16 Le gazon parfait

21 JOUEUR

22 Entraînement de champion

26 Boissons énergisantes

32 Toucher n'est pas jouer

39 BALLON

40 Sous pression

46 Cauchemar de goal

52 Un ballon qui a la banane !

57 ANALYSE NUMÉRIQUE

58 Big Data dans un match

64 Penalty à suspens

68 La bourse du football

74 Les TI aident à marquer des buts

76 Ressources et matériel pédagogique complémentaires · Projets-événements

77 Cartes à jouer



BIENVENUE



Le football est bien plus qu'un jeu sportif. Aucun autre sport ne rassemble autant de gens dans le monde. A l'origine, le football était un sport d'endurance très rude, et ses méthodes d'entraînement ne l'étaient pas moins. Mais aujourd'hui, afin de « marquer des points », les clubs de sports recourent de plus en plus souvent à des technologies innovantes pour identifier rapidement les meilleurs joueurs du marché, former leurs propres joueurs de talent selon des objectifs bien définis et s'acquérir leur fidélité ; adapter leur philosophie du jeu selon les besoins et développer des stratégies gagnantes. Cela concerne aussi bien les joueurs, les entraîneurs, les recruteurs de talents, les équipes médicales, que les processus d'affaires des clubs.

Avec des outils de pointe tels que *SAP Sports One*, les matchs peuvent désormais être analysés numériquement en temps réel, via un smartphone. Les joueurs et entraîneurs ont maintenant la possibilité d'utiliser des technologies de l'information et de la communication (TIC) ultra-modernes pour analyser les paramètres de performance et se préparer plus efficacement au jeu. En 2014, l'équipe nationale de football allemande a gagné la Coupe du monde au Brésil grâce à cet outil d'analyse. Des clubs tels que le FC Bayern de Munich s'en servent également pour

leurs séances d'entraînement. En utilisant les solutions SAP pour le secteur du sport, ils gagnent en compétitivité et devancent toujours les équipes rivales d'une foulée.

Cependant, les matchs et l'analyse des matchs ne sont pas exclusivement réservés aux professionnels. Ils sont facilement intégrables dans l'enseignement des sciences en classe. A titre d'exemple, le football permet d'aborder de manière pratique de nombreux sujets interdisciplinaires dans le domaine des sciences et des technologies. L'intérêt des élèves pour ce sport peut stimuler leur curiosité et éventuellement les conduire à se lancer dans cette carrière. Cela est particulièrement important pour nous, en tant que société spécialisée dans les TI.

C'est pourquoi l'éveil des jeunes aux matières scientifiques, à un stade précoce, par le biais de méthodes pratiques, est devenu une priorité essentielle pour SAP. Le livret *iStage 3 – Le football dans l'enseignement des sciences* montre comment cet objectif peut être accompli. Cette ressource contient de nombreux exemples de pédagogie créative pour l'enseignement en classe, dont tant les professeurs que les élèves garderont un souvenir inoubliable.

Je suis ravi que nous puissions apporter notre soutien à Science on Stage Deutschland e.V. pour ce projet. Je suis convaincu que tout comme les deux premiers livrets, *iStage 1 – Matériel pédagogique pour l'intégration des TIC dans l'enseignement des sciences* et *iStage 2 – Les smartphones dans l'enseignement des sciences*, cette nouvelle publication remportera un franc succès. Je voudrais tout particulièrement remercier Science on Stage Deutschland pour son efficace collaboration, et notamment les professeurs issus de 15 pays européens, qui, par leur total investissement de soi et leur travail acharné, ont permis la réalisation de ce livret.

MICHAEL KLEINEMEIER

Membre du conseil d'administration, SAP SE

iSTAGE 3 : CONÇU PAR DES PROFESSEURS POUR DES PROFESSEURS !

LE PROFESSEUR ET LA MATIÈRE SONT DÉTERMINANTS.

En 2000, des centaines de professeurs de toute l'Europe ont répondu à l'appel de l'Union Européenne et du EIROforum pour la promotion du savoir scientifique au sein de l'UE. Nous nous sommes réunis au CERN à l'occasion à rayer de l'événement « Physics on Stage », prédécesseur des rencontres « Science on Stage » qui ont maintenant lieu tous les deux ans dans certains pays européens. A cette époque, bien avant la fameuse enquête de John Hattie, il nous est apparu de plus en plus clairement que le professeur joue un rôle crucial pour la réussite de l'enseignement.

Afin de donner aux professeurs européens de plus nombreuses occasions d'échanger leurs brillantes idées, Science on Stage a développé des activités de suivi en marge de ces rencontres. iStage, qui est généreusement soutenue par SAP, en fait partie. Avec iStage 3, nous abordons un sujet qui intéresse tout particulièrement nos élèves : le football !

20 des plus remarquables professeurs de 15 pays européens ont collaboré pendant un an et demi pour mettre en commun leur savoir. Ils ont créé des modules d'enseignement autour de la biosphère, du corps, du ballon et des données massives, pour l'enseignement de la biologie, de la chimie, de l'informatique et des mathématiques. A cet égard, il apparaît que le football se prête particulièrement à l'enseignement des sciences naturelles.

Le processus de création des livrets iStage est spécifique, car nous attachons une grande importance aux compétences pédagogiques des enseignants. Ces experts des différents pays se rencontrent physiquement et développent leurs idées pour l'élaboration du livret, en se basant sur la situation dans leurs écoles respectives. Les modules d'enseignement sont également testés



en situation réelle par les participants, et donc, nous sommes assurés que les exemples présentés sont utilisables en conditions réelles. Afin de réaliser ce livret, les participants de iStage 3 ont travaillé sans relâche pendant leur temps libre, en dehors de leur emploi régulier. Nous les remercions pour leur dévouement, car le résultat est exceptionnel !

Notre série iStage en trois volumes est maintenant complète. Bien sûr, nous poursuivons nos travaux, car les participants à Science on Stage savent bien que le professeur et la matière sont des facteurs déterminants pour la réussite de l'enseignement.

DR JÖRG GUTSCHANK

Leibniz Gymnasium | Dortmund International School
Président de Science on Stage Allemagne
Coordinateur principal



PARTICIPANTS

20 PARTICIPANTS DE 15 PAYS

Prénom	Nom	Pays	Section
Miguel	Andrade	Allemagne	Coordinateur de la section Joueur
Kirsten	Biedermann	Allemagne	Ballon, Joueur
Pere	Compte	Espagne	Analyse numérique
David	Featonby	Royaume-Uni	Joueur
Anders Erik	Florén	Suède	Ballon
Márta	Gajdosné Szabó	Hongrie	Biosphère
Jörg	Gutschank	Allemagne	Coordinateur de la section Ballon
Janine	Hermann	Suisse	Biosphère
Philippe	Jeanjacquot	France	Ballon
Stephen	Kimbrough	Allemagne	Analyse numérique
Dionysis	Konstantinou	Grèce	Ballon
Maeve	Liston	Irlande	Analyse numérique
Andreas	Meier	Allemagne	Ballon, Joueur
Giorgia	Messori	Italie	Biosphère
Marco	Nicolini	Italie	Analyse numérique
Jean-Luc	Richter	France	Coordinateur de la section Biosphère
Bernard	Schriek	Allemagne	Coordinateur de la section Analyse numérique
Maaïke	Smeets	Pays-Bas	Biosphère
Richard	Spencer	Royaume-Uni	Biosphère
Damjan	Štrus	Slovénie	Analyse numérique
Emmanuel	Thibault	France	Joueur
Corina	Toma	Roumanie	Ballon, Joueur
Zbigniew	Trzmiel	Pologne	Ballon
Stefan	Zunzer	Autriche	Joueur



BIOSPHERE

L'approche fondamentale des sciences consiste à observer les phénomènes de la nature tout en essayant de les décrire, et à éprouver expérimentalement certaines théories pour en tester la validité.

Ces exercices sont parfois difficiles à réaliser dans une salle de classe, les professeurs ayant parfois du mal à motiver les élèves à participer à ces « découvertes ». Cette tâche devient bien plus facile si l'on trouve le moyen de capter leur attention. En articulant nos expérimentations autour du football, nous rendons les choses plus accessibles, car la plupart des élèves aiment ce sport et sont très enclins à développer leurs connaissances en sciences à travers leur sport favori.

« Biosphère » est consacrée aux aspects du football qui sont liés à l'environnement. La première étape consiste à observer le terrain de football lui-même et à regarder d'un peu plus près le gazon qui le recouvre. Dans le module « L'herbe est-elle plus verte sous les crampons ? », les élèves font pousser des graines de graminées dans des boîtiers de CD, dans des conditions variables de luminosité, d'humidité, de température, et analysent les propriétés des graminées en observant de près le développement des racines.

Le deuxième module de cette section, « Bilan carbone d'un championnat », propose un jeu sérieux concernant l'impact environnemental des championnats de football tels que l'Euro 2016 en France. A travers ce jeu de cartes, les élèves doivent trouver des moyens de réduire l'empreinte carbone d'un stade de football et de créer un environnement plus écologique, en prenant en compte son impact en matière de pollution sonore, d'utilisation de l'eau, etc. Ce jeu allie réponses libres et questions à choix multiples, et s'apparente à un jeu d'appariement de cartes. Il passionnera les élèves de toutes classes d'âge, car il peut être facilement adapté à leur niveau. En outre, il offre la possibilité d'inventer ses propres questions, puisque chaque module de ce livret s'adapte au cursus des établissements scolaires des différents pays. Afin d'aider les élèves à formuler leurs questions, nous mettrons en ligne des ressources complémentaires sur le site web Science on Stage^[1].

Au cours du processus de réalisation de iStage 3, notre collègue britannique Richard Spencer, couronné au palmarès des dix meilleurs professeurs du monde en 2015, a entendu dire que des parasites connus sous le nom de nématodes étaient très nuisibles



aux terrains de football. Il a alors eu l'idée d'expérimenter différentes méthodes pour les exterminer. Accompagné de ses élèves, il s'est rendu dans un stade pour y prélever des échantillons de terre. La classe a tenu une intense séance de « remue-méninges » pour déterminer comment organiser les expériences : comptage des nématodes, expérimentation de différentes méthodes pour les éradiquer, puis analyse des résultats finaux. Malheureusement, après des heures de travail de préparation, les élèves ont réalisé que le nombre de nématodes présents dans les échantillons était insignifiant, et leur éradication donc inutile. A cette occasion, ils ont également appris une chose cruciale à propos de la science : même une expérience ratée est porteuse d'enseignements ! Ayant consacré beaucoup de temps à l'étude des graminées, les élèves ont découvert que dans certains stades la lumière artificielle était utilisée pour accélérer la remise en état de la pelouse après un match. Cela leur a donné l'idée de proposer le module « Le gazon parfait », en se penchant sur les effets de différentes longueurs d'ondes lumineuses sur la croissance de l'herbe.

JEAN-LUC RICHTER

Lycée J.B. Schwilgué
Sélestat, France
Coordinateur

[1] www.science-on-stage.de/iStage3_materials

MÁRTA GAJDOSNÉ SZABÓ · JANINE HERMANN · MAAIKE SMEETS

L'HERBE EST-ELLE PLUS VERTE SOUS LES CRAMPONS ?



🔍 Gazon de football, morphologie de l'herbe, espèces de graminées

📖 Biologie

👥 12 – 15 ans

🔍 Les élèves doivent savoir utiliser un microscope.

1 | SYNOPSIS

Ce module a pour objet d'identifier les propriétés de l'herbe qui convient le mieux pour produire le meilleur gazon de football. Quelles doivent être ses propriétés ?

Les graminées possèdent des propriétés différentes selon les espèces. Certaines de ces propriétés sont nécessaires pour faire pousser le gazon de football, et d'autres sont accessoires. Dans le cadre de cette étude, nous nous proposons de trouver l'espèce de graminée qui convient le mieux pour le gazon de football, et de comparer sa morphologie avec celle des autres espèces de graminées.

2 | INTRODUCTION THÉORIQUE

Les différentes espèces de graminées possèdent des propriétés différentes. Quelles propriétés sont nécessaires pour la constitution du gazon de football ?

- La solidité du système racinaire empêche l'herbe de s'arracher facilement.
- Les types de graminées à croissance horizontale sont plus robustes (moins susceptibles d'être écrasées par les crampons des chaussures de football).
- Moins les stomates sont nombreux, plus la graminée est résistante à la sécheresse.

Pour cette étude, vous aurez besoin du matériel suivant :

- Des boîtiers de CD (pour faire pousser l'herbe – FIG. 1)
- du terreau
- des graines (ivraie (*Lolium perenne*), herbe des Bermudes (*Cynodon dactylon*), *Poa annua*, toute autre espèce de graminée pouvant convenir)
- un microscope (pour l'observation des stomates)
- du vernis à ongles
- du ruban adhésif
- une loupe simple

3 | TÂCHES DES ÉLÈVES

3 | 1 Présentation générale du gazon de football

Le gazon de football est soumis à rude épreuve. Il est piétiné et usé lorsque les joueurs dérapent et font des traînées sur sa surface. Or, il est important que le gazon reste bien vert toute l'année, particulièrement pour les matchs de première division et les matchs internationaux. Il existe environ 8 000 espèces différentes de graminées dans le monde. Ces graminées ne conviennent pas toutes pour le gazon de football. Le gazon doit posséder deux caractéristiques : ses racines doivent être solidement implantées dans la terre, et ses feuilles, résistantes au pié-

tiement. Vous allez créer un gazon idéal et comparer ses caractéristiques avec celles du gazon des terrains de football.

3 | 2 Concevoir un gazon de football idéal

Dessinez une graminée (système racinaire, feuilles, tiges) qui constituerait un parfait gazon pour un terrain de football. Mémo :

Trouvez une photo de graminée sur Internet pour voir comment l'herbe pousse en général. Gardez à l'esprit que la graminée doit être assez résistante au piétinement, bien enracinée dans la terre, et présenter d'autres propriétés favorables.

3 | 3 Faire pousser du gazon de football

Remplissez de compost à moitié un boîtier de CD et plantez les graines à 1 cm de profondeur. Placez le boîtier sur l'un de ses côtés, sur un plateau contenant 2 cm d'eau (pour que la terre reste humide). L'installation doit ressembler à la figure ci-dessous (FIG. 1). Laissez la graminée se développer pendant un certain temps (FIG. 2), sur un rebord de fenêtre ensoleillé, et vérifiez régulièrement qu'elle est abondamment humidifiée. Renouvelez l'opération pour l'ivraie, l'herbe des Bermudes, la *Poa annua*, et les autres espèces qui poussent aux alentours de votre école ou de votre maison. Chaque espèce doit être plantée dans un CD distinct qui sera placé sur le même rebord de fenêtre.

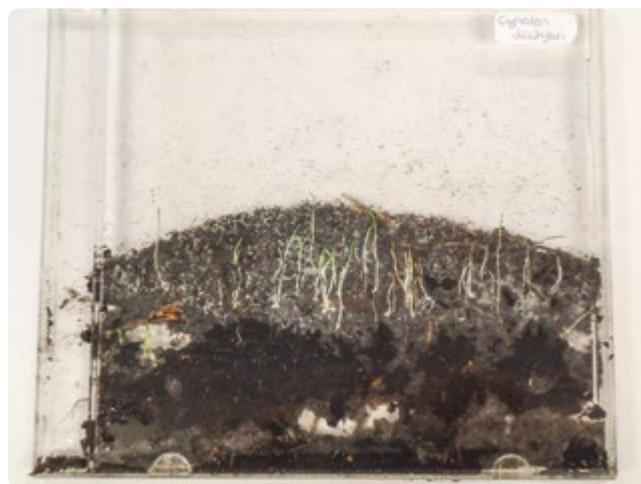


FIG. 1 *Cynodon dactylon*

La germination d'une graminée prend un certain temps, et il faut attendre qu'elle atteigne une certaine grosseur avant de pouvoir l'étudier. La figure ci-dessous indique la durée de croissance (FIG. 2).

FIG. 2 Durée de croissance

Espèces	Nombre de jours avant germination	Nombre de jours avant observation
<i>Cynodon dactylon</i>	11	Plus de 30
<i>Poa annua</i>	5	30
<i>Lolium perenne</i>	4	30

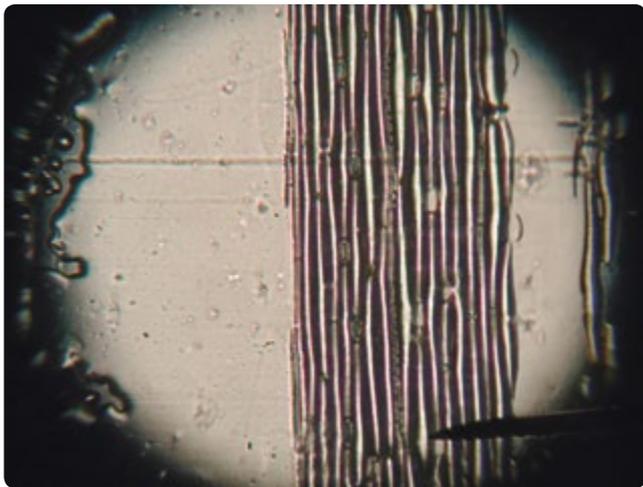


FIG. 3 Stomates de *Poa annua* – grossissement de 100 ×

3|4 Observer les tiges et feuilles

Votre graminée est sortie de terre, bravo ! Vous allez maintenant faire deux dessins de chaque espèce de graminée. Le premier dessin montrera comment les tiges et feuilles sont réparties à l'intérieur du boîtier, (vous pouvez ouvrir le boîtier pour mieux les

voir]. Le second dessin représentera la tige et les feuilles d'un brin d'herbe.

Répondez aux questions suivantes :

- Quelle est la longueur de la tige ?
- A quelle longueur sur la tige la première feuille se trouve-t-elle ?
- Combien de feuilles se sont formées ?
- De quelle longueur sont-elles ? Combien mesurent-elles dans leur plus grande largeur ?
- Quelles espèces présentent les caractéristiques les plus proches de votre gazon de football idéal ?

3|5 Étudier les stomates (FIG. 3)

Les stomates situés sur la surface intérieure de la feuille permettent l'échange de gaz. Lorsque les stomates sont ouverts, la plante absorbe du dioxyde de carbone et émet de l'oxygène afin de favoriser la photosynthèse. L'eau de la plante est également drainée via les stomates ouverts. Cela empêche l'eau de circuler dans la plante, et ce flux est essentiel pour la nourrir en minéraux. Cependant, par temps sec et sur du gazon très sec, l'herbe se

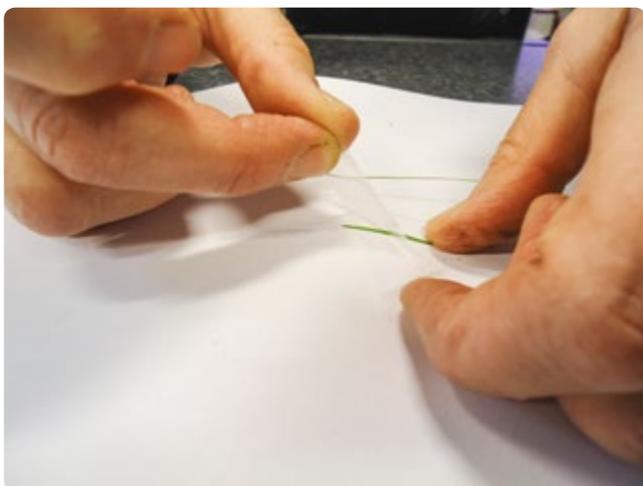
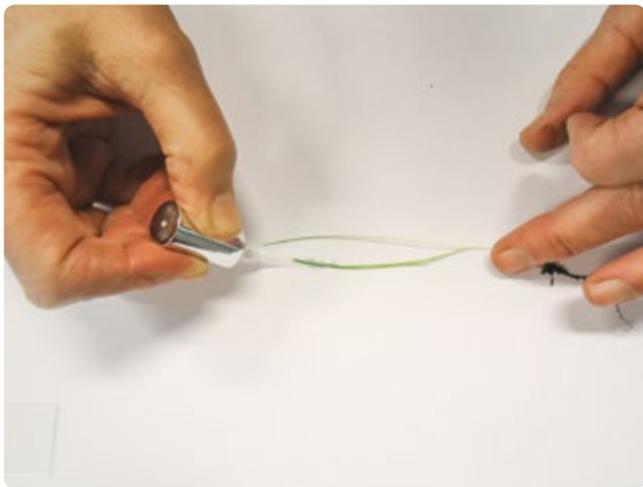


FIG. 4 – 7 Méthode de comptage des stomates

flétrit puis finit par mourir si les stomates restent ouverts. Un nombre important de stomates favorise la photosynthèse, mais augmente le risque de flétrissement.

Comptez le nombre de stomates pour chacune de vos espèces de graminées, comme indiqué ci-dessus (FIG. 4 – 7) :

- A l'aide d'un pinceau, passez du vernis à ongles transparent sur la surface intérieure de la première feuille. Attendez qu'elle soit sèche.
- Enlevez le vernis au moyen de ruban adhésif et appliquez le ruban (avec l'empreinte du vernis) sur une plaque en verre (faites un transfert sur la plaque).

Posez la plaque sur le microscope et agrandissez 400×. Dessinez un stomate ainsi que les cellules qui l'entourent. Puis agrandissez 100×, réglez le microscope de sorte que la surface de la feuille se trouve dans le champ de vision, et comptez le nombre de stomates qui apparaissent dans le champ. Calculez le nombre de stomates par mm². Répétez l'opération pour les autres espèces.

Répondez aux questions suivantes :

- Quel est le nombre de stomates observés pour chaque espèce de graminée ?
- Quelle est la mieux adaptée à un climat sec ?
- Quelle est la mieux adaptée à un climat humide ?
- Quelle est celle qui croîtrait le mieux dans votre pays ? Expliquez pourquoi.

3 | 6 Étudier le système racinaire

Maintenant que la plante est formée, nous pouvons également étudier ses racines. Vous allez faire un premier dessin pour représenter la disposition des racines dans le boîtier de CD (vous pouvez l'ouvrir pour mieux les voir). Ensuite, vous dessinerez la racine d'un brin d'herbe. Arrachez-en un doucement et grossissez-le à l'aide d'une loupe.

Répondez aux questions suivantes :

- Quelle est la longueur de la racine ?
- Combien de sections la racine présente-elle ?
- Sur quelle partie (supérieure, médiane, inférieure) de la racine se situent les nœuds ?
- Est-ce que la terre forme une motte autour des racines ? (Trouvez une méthode pour le vérifier).
- Quelles espèces présentent les caractéristiques les plus proches de votre gazon de football idéal ?

4 | CONCLUSION

Vous avez développé une espèce de graminée idéale pour le gazon de football, et vous avez fait pousser différentes espèces de graminées en vue d'étudier leurs caractéristiques. Expliquez en quoi telle espèce de graminée correspond le mieux au « gazon de football idéal » pour votre pays.

Nous sommes partis du principe que le meilleur gazon est obtenu par monoculture, mais la polyculture serait peut-être préférable. Indiquez deux raisons pour lesquelles la polyculture peut être préférable à la monoculture.

5 | POSSIBILITÉS DE COLLABORATION

Les élèves peuvent travailler en collaboration avec des camarades originaires d'autres pays et comparer les meilleures espèces de graminées pour leurs pays respectifs. L'espèce qui convient le mieux pour les Pays-Bas est peut-être différente de celle qui est la plus adaptée à la Hongrie. Les élèves peuvent réfléchir aux conditions qui favorisent une bonne croissance (luminosité, humidité, température, etc.). En comparant le climat de votre pays avec celui des pays partenaires, essayez d'expliquer pourquoi vos camarades ont sélectionné telle espèce de graminée plutôt que telle autre.



MÁRTA GAJDOSNÉ SZABÓ · JANINE HERMANN · GIORGIA MESSORI · MAAIKE SMEETS · RICHARD SPENCER

BILAN CARBONE D'UN CHAMPIONNAT



 Empreinte carbone, durabilité, pollution sonore, pollution de l'air, gaz à effet de serre, environnement

 Chimie, mathématiques, physique, biologie, géographie, écologie, intégration des langues (classe d'âge 14 – 16 ans).

 10 – 16 ans

 Matériel pédagogique : Toutes les ressources complémentaires sont téléchargeables à partir du site Science on Stage ^[1] : Cartes à appairer pour le jeu (voir p. 77), fiches d'information, exemples de questions et solutions, calculatrice.

1 | SYNOPSIS

Le football est un sport populaire dans la plupart des pays européens. Ces dernières années, les grands clubs (de première division) ont montré un intérêt croissant pour les questions liées à l'impact du football sur l'environnement et aux moyens de réduire son empreinte carbone. Ce projet a pour objectif d'étudier les questions liées à l'impact environnemental et écologique du football, et de sensibiliser les élèves aux moyens par lesquels les grands clubs de football pourraient être plus écologiquement responsables.

Le monde d'aujourd'hui requiert une perspective globale pour chaque matière et dans chaque classe. En tant qu'enseignants, notre rôle est d'instruire les élèves en leur donnant les compétences, outils et perspectives dont ils ont besoin pour devenir des êtres humains accomplis, des citoyens du monde responsables et des défenseurs ardents d'un futur durable.

2 | INTRODUCTION THÉORIQUE

Nous avons créé un jeu sérieux visant à susciter la réflexion chez les élèves, sur l'empreinte carbone générée par les grands événements sportifs.

Il comprend six ensembles de cartes, chacun ayant trait à un aspect de l'écologie. Le jeu consiste à traiter tous ces aspects. Il est adapté à une large gamme de programmes d'études pour la tranche d'âge 10 – 16 ans. En répondant aux questions, les élèves découvrent l'impact complexe des grands événements sportifs internationaux sur l'environnement. Cela leur permet de prendre conscience de la responsabilité de chacun en ce qui concerne le gaspillage ou l'utilisation de l'énergie et des ressources telles que la nourriture et l'eau ; et de percevoir la fragilité de notre planète.

Nous avons sélectionné six aspects montrant l'impact majeur des grands événements sportifs sur l'environnement. Ces six aspects sont : la lumière, les voyages, la pelouse, les déchets, la pollution sonore et la nourriture.

Tâches du professeur

Dans la première leçon, le professeur aide les élèves à faire l'inventaire de leurs compétences et connaissances :

- en posant des questions (qu'est ce que l'empreinte écologique ? Où peut-on trouver des informations sur ce sujet ? Que

savons-nous de la production, de la distribution et de la consommation de l'énergie ?) et en expliquant l'objet de l'activité,

- en réactivant les acquis par une séance de remue-méninges (à l'aide de mots-clés),
- en expliquant la structure et les règles du jeu.

Le professeur imprime les cartes à appairer et les fiches d'information.

Dans la leçon introductive, le professeur explique les règles du jeu, constitue des groupes de quatre élèves (selon le nombre), nomme un chef de groupe, puis participe au jeu.

Les fiches d'information comportent les éléments suivants : valeurs des émissions de dioxyde de carbone pour chaque mode de transport, réaction de combustion des différents combustibles, différents moyens d'économiser le charbon et l'eau ; signification du terme « efficacité lumineuse », consommation en électricité des différents types d'ampoules, cartographie du fonctionnement d'un réseau de distribution d'électricité, vitesse du son, niveau de pression acoustique, etc. Toutes les données sont utiles pour résoudre les problèmes.

Au cours de la dernière leçon, les élèves réfléchiront aux sujets abordés dans le cours et aux difficultés qu'ils ont rencontrées. Ils apprendront à traiter ensemble les difficultés et feront une auto-évaluation du groupe.

3 | TÂCHES DES ÉLÈVES

Le jeu se joue comme un jeu d'appariement de cartes : 12 cartes, 6 paires, 2 cartes par thème.

Thèmes : la lumière, les voyages, la pelouse, la pollution sonore, la nourriture



Règles de travail : Diviser la classe en plusieurs groupes portant le nom de leur équipe de football favorite. Puis étaler les cartes, face vers la table (option : utiliser un tableau blanc interactif). Le premier groupe choisit une carte, la retourne, regarde le symbole représenté, puis demande à un membre du groupe d'expliquer le sens du symbole en un laps de temps défini (p. ex., utiliser un sablier. Nous suggérons un délai de cinq minutes pour un niveau avancé et de deux minutes pour un niveau facile). Les plus jeunes peuvent s'aider des mots-clés et des termes employés dans les fiches d'information. Les élèves les plus âgés sont invités à mobiliser leurs connaissances en culture générale.



Options : Les plus âgés peuvent chercher des données scientifiques pertinentes sur Internet. Le chef de groupe expose à la classe le résultat de ses recherches sur le thème.

Une fois le délai passé, le professeur peut attribuer entre un et cinq points à l'équipe. (Notre suggestion : Le professeur ne doit pas donner les points avant que les autres groupes aient fait leur exposé.) Ensuite, le groupe choisit une seconde carte ; si la seconde carte correspond au premier symbole, l'équipe doit répondre à la question du professeur sur ce thème spécifique et peut gagner des points supplémentaires (jusqu'à cinq maximum). Si l'équipe fait une paire, les cartes sont éliminées du jeu.

Chaque paire de cartes rapporte dix points maximum.

Si le groupe ne trouve pas la seconde carte correspondant au premier symbole, c'est le tour du groupe suivant. Le groupe peut piocher une nouvelle carte ou prendre la même carte, mais dans ce dernier cas, il ne peut donner le même exposé que le premier groupe. Il disposera du même temps que le premier groupe, et se verra aussi attribuer des points.

À la fin de la partie, lorsqu'il ne reste plus de cartes sur la table, le groupe qui totalise le plus grand nombre de points a gagné.

4 | CONCLUSION

En tant qu'enseignants, nous devons faire prendre conscience à nos élèves de l'importance de la pérennité de l'environnement et



leur inculquer le sens de la responsabilité individuelle. Les sujets abordés dans le jeu ont trait aux sciences et aux mathématiques, et, sur la base des données obtenues, les élèves peuvent réfléchir aux questions environnementales, à leur empreinte carbone et à l'empreinte écologique de leurs actions quotidiennes.

Certaines questions peuvent être simplifiées en utilisant les données des fiches d'information, dans le cas où certains problèmes (énoncés seulement une fois) s'avèrent difficiles à résoudre. Il est aussi possible d'imprimer les tâches sur papier afin de faciliter la collaboration au sein du groupe pour résoudre les problèmes. Lorsque nous avons testé le jeu dans nos classes (âge 14 ans), tous les groupes ont essayé de résoudre les problèmes afin d'être en mesure de répondre aux questions et de gagner ainsi deux points supplémentaires en cas de défaillance des autres groupes. Le jeu fut coordonné par un élève d'une classe de niveau supérieur, afin d'encourager le partage de connaissances entre pairs.

Exemple de partie de jeu entre les élèves

Après avoir donné quelques informations sur les thèmes abordés pendant le jeu, le professeur étale les cartes sur la table.

Exemple d'entrée en matière pour le thème de la LUMIÈRE

« Lorsque nous sommes assis dans un stade, nous ne nous demandons généralement pas comment l'énergie que nous consommons est produite et distribuée, ni si la source primaire de lumière est renouvelable ou non. Lorsque nous regardons le score et les grands moments du match sur l'écran vidéo, nous ne savons pas s'il s'agit d'un écran LED ou si le stade est éclairé par une source de lumière à faible consommation d'énergie. Nous devons changer notre mentalité et faire du développement durable une priorité. »

Le premier groupe pioche une carte figurant le symbole de la lumière. Le professeur demande au chef de groupe de faire un exposé des connaissances du groupe sur la production, la distribution et la consommation d'électricité, et d'expliquer la différence entre efficacité énergétique et économie d'énergie. Le professeur écrit au tableau quelques mots-clés qui seront utiles à la classe pendant le processus d'organisation de ses réflexions sur le thème de la LUMIÈRE. Cinq points maximum sont attribués.

Le groupe pioche une nouvelle carte, et s'il est chanceux, il tombera sur une carte relative au même sujet. Ensuite, le groupe doit résoudre un problème à l'aide des données figurant sur les fiches d'information. Le professeur lit une question, puis tous les groupes doivent faire leurs calculs en cinq minutes.

Exemple de tâche : « Calculez la consommation d'électricité quotidienne de votre famille (en supposant que votre foyer compte quatre personnes). »

Pour répondre à la question, tous les groupes doivent consulter la fiche d'information afin de trouver la formule nécessaire pour déterminer la solution du problème :

Consommation d'électricité quotidienne dans votre foyer :

$$\frac{(\text{Nombre of personnes} \cdot 500 \text{ kWh}) + 500 \text{ kWh}}{365 \text{ jours}}$$

$$\text{Réponse : } 2\,500 \frac{\text{kWh}}{365 \text{ jours}} = 6,8 \frac{\text{kWh}}{\text{jour}}$$

Une réponse correcte ajoute cinq points au score du groupe ; une réponse inexacte ajoute deux points au score des autres équipes. La paire de cartes est retirée de la table, puis c'est au tour d'une autre équipe de jouer.

Quelques idées de questions pour le jeu

L'exemple du thème VOYAGES :

Que savez-vous sur le sujet de l'empreinte carbone ? Quelle quantité de dioxyde de carbone en kg/km est produite par les spectateurs (40 000 par match) pour 51 matchs de la coupe de l'UEFA 2016 si $\frac{1}{4}$ des spectateurs voyagent en train, $\frac{1}{4}$ en bicyclette, $\frac{1}{4}$ en autobus, et $\frac{1}{4}$ en avion ?

$$\text{Réponse : La quantité produite pour l'aller s'élève à } 295\,800 \frac{\text{kg}}{\text{km}}. \text{ (} 591\,600 \frac{\text{kg}}{\text{km}} \text{ pour l'aller-retour)}$$

Exemple pour le thème NOURRITURE :

Qu'est-ce que le cycle de production des aliments ? Consultez la fiche d'information pour déterminer les empreintes carbone et eau générées par la production de certains types d'aliments, et calculez combien de litres d'eau sont économisés si l'on mange 1 kg de pommes de terre par semaine à la place d'un kg de boeuf.

Réponse : 15 214 L

Exemple pour le thème BRUIT :

Quel sont les seuils d'intensité sonore auxquels peut être exposé l'être humain ? L'Organisation mondiale de la santé (WHO) a déterminé que le seuil de danger pour l'oreille est 85 dB, et le seuil de douleur, 120 dB. Quelle est l'augmentation de l'intensité sonore ?

Réponse : 3 125 fois

Exemple pour le thème PELOUSE :

Si l'on coupe le gazon (2,5 cm) d'un terrain de football (120 m × 60 m), quel sera le volume d'herbe coupée en mètres cubes ?

Réponse : 180 m³

Exemple pour le thème DÉCHETS :

Combien de m³ de déchets seront produits par l'utilisation de 7 000 gobelets en carton si chaque gobelet a une contenance de 0,25 dm³ ?

Réponse : 1,75 m³

5 | POSSIBILITÉS DE COLLABORATION

- Partager les questions et thèmes avec les autres écoles et classes.
- Chaque classe qui teste le jeu devra rédiger une nouvelle question et la communiquer aux classes des autres pays.
- Le jeu peut être intégré dans une plate-forme multimédia pour être utilisé dans plusieurs lieux simultanément.
- Si le professeur d'anglais participe, vous faites d'une pierre deux coups lorsque vous introduisez ce jeu interdisciplinaire.

RESSOURCES

^[1] Tous les contenus pédagogiques complémentaires (fiches d'information et exemples de questions) sont disponibles sur www.science-on-stage.de/iStage3_materials.



MÁRTA GAJDOSNÉ SZABÓ · JANINE HERMANN · GIORGIA MESSORI · MAAIKE SMEETS · RICHARD SPENCER

LE GAZON PARFAIT



Graminée, terrain de football, photosynthèse, réaction lumineuse, longueur d'onde, spectre d'absorption, révélateur rédox, chlorophylle, chloroplaste

Biologie

16-18 ans

1 | SYNOPSIS

Pour cette étude, les élèves utilisent des lumières de couleurs différentes pour observer l'effet des ondes lumineuses sur le taux de photosynthèse et de croissance de l'herbe. Après évaluation des résultats expérimentaux, ils seront capables de déterminer quelle lumière colorée doit être utilisée sur les dispositifs d'éclairage pour favoriser la croissance et la remise en état du gazon de football entre les matchs.

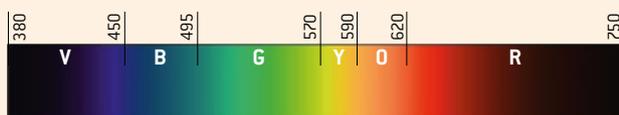
2 | INTRODUCTION THÉORIQUE

Dans les régions tempérées, la durée d'ensoleillement est limitée pendant la majeure partie de la saison de football, particulièrement pendant les courtes journées d'hiver. Les dispositifs d'éclairage permettent d'accélérer la croissance de l'herbe dans les zones ombragées du terrain et favorisent la repousse de l'herbe abîmée lors des matchs (FIG. 1).



FIG. 1 Dispositifs d'éclairage permettant d'accélérer la croissance des graminées

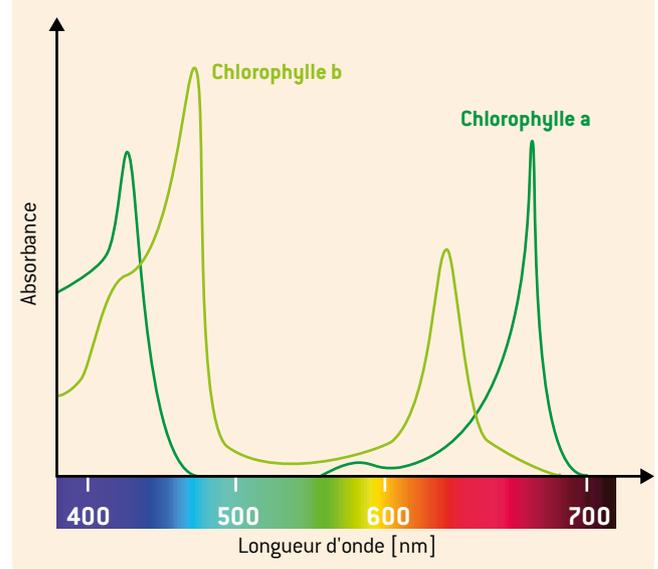
FIG. 2 Le spectre visible [1]



V : violet, B : bleu, G : vert, Y : jaune, O : orange, R : rouge

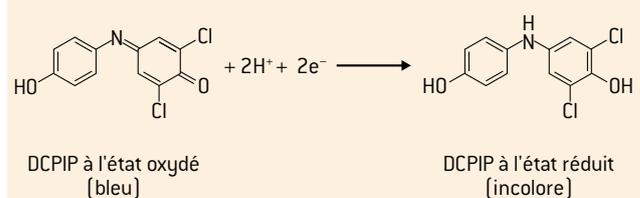
Le spectre de la lumière visible est composé d'un ensemble de longueurs d'ondes de lumière qui constituent ses composantes de couleurs (FIG. 2). Le pigment photosynthétique le plus courant est la chlorophylle, un mélange de deux pigments (chlorophylle a et chlorophylle b) qui absorbe certaines ondes lumineuses plus efficacement que d'autres, avec une absorption maximum de la lumière rouge et de la lumière bleue, et une absorption minimum de la lumière verte (FIG. 3).

FIG. 3 Absorption de la lumière par la chlorophylle, en fonction de la longueur d'onde lumineuse [2]



L'énergie absorbée par la chlorophylle est consommée lors des réactions lumineuses de la photosynthèse pour stimuler ses électrons jusqu'à des niveaux d'énergie supérieurs. L'énergie ainsi accumulée par ces électrons est par la suite consommée par réaction d'oxydo-réduction, pour libérer de l'énergie servant à la synthèse d'ATP. Ce composant, avec un autre composant intervenant dans les réactions d'oxydo-réduction (NADP réduit), est utilisé par la plante lors du cycle de fixation du carbone pour fabriquer du glucose. La plante utilise le glucose comme source d'énergie et comme matière première pour fixer une grande variété de matières biologiques nécessaires pour favoriser sa croissance.

FIG. 4 DCPIP : 2,6-Dichlorophénolindophénol



Le taux de photosynthèse peut être déterminé à l'aide d'un révélateur rédox, le DCPIP, qui a la propriété d'être bleu à l'état oxydé et incolore à l'état réduit (FIG. 4). Lorsque le DCPIP est ajouté à des chloroplastes fraîchement extraits de plantes, il est réduit par les électrons générés par les réactions lumineuses de la photosynthèse lorsque les chloroplastes sont éclairés. Plus ces réactions sont rapides, plus la vitesse de réduction du DCPIP est rapide. Dans une première étude, les élèves calculent la vitesse à laquelle le DCPIP est réduit (décolorisé) sous l'effet de différentes lumières colorées, afin de déterminer quel est l'effet de la longueur d'onde lumineuse sur le taux de photosynthèse. Dans une seconde étude, les élèves utilisent des plateaux contenant de l'herbe et les exposent à différentes lumières colorées pendant une semaine, puis récoltent l'herbe pour calculer sa masse fraîche et déterminer son taux de croissance. Les élèves évalueront ensuite les résultats des

deux expériences, afin de recommander, pour l'utilisation des dispositifs d'éclairage, la lumière colorée qui stimule le plus efficacement la croissance et la repousse du gazon de football.

3 | TÂCHES DES ÉLÈVES

3 | 1 Conseil de sécurité

Les produits chimiques utilisés pour cette expérience ne sont pas très dangereux, toutefois, les élèves doivent connaître les risques généraux liés à l'utilisation de matériel électrique (lampes, mélangeur et balance électronique) et porter des lunettes de protection, par mesure de sécurité, pour le travail en laboratoire.

3 | 2 Préparations

La liste complète de tous les matériels nécessaires est téléchargeable depuis le site Science on Stage.^[3]

1. Semez des graines d'ivraie dans sept petits plateaux (8 cm × 16 cm × 5 cm de profondeur). Chaque plateau doit contenir la même masse de terreau et être ensemencé de manière homogène, avec la même quantité de graines de graminée (en quantité suffisante pour couvrir toute la surface du terreau). Placez les plateaux sur un rebord de fenêtre ensoleillé et laissez les graines pousser pendant cinq semaines. Arrosez-les régulièrement avec de l'eau distillée, suivant les besoins, afin que le terreau reste mouillé, en ajoutant le même volume d'eau dans chaque plateau. Il n'est pas possible de vérifier les conditions ambiantes telles que l'humidité et la température, toutefois, tous les plateaux étant placés dans le même endroit, chacun est soumis aux mêmes changements de conditions ambiantes.
2. Au bout de cinq semaines, coupez l'herbe à l'aide de ciseaux, en laissant une hauteur de gazon de 3 cm. Utilisez l'herbe coupée pour l'étude de calcul du « taux de photosynthèse » (étapes 3 à 12), et les sept plateaux de graminée pour l'étude du « taux de croissance » (3.4). Les deux études nécessitent sept lampes d'établi, chacune munie d'une ampoule standard LED B22 3W RGB (en vente à bas prix dans les boutiques en ligne ordinaires). Chaque ampoule est fournie avec une télécommande permettant de sélectionner la couleur rouge, orange, jaune, vert, bleu, violet ou blanc (FIG. 5).



FIG. 5 Les lampes sont équipées d'ampoules standard LED B 22 3 W RGB, vendues avec une télécommande pour changer la couleur de la lumière soit en rouge, orange, jaune, vert, bleu ou violet, soit en blanc.

Pour minimiser les frais, on peut utiliser les mêmes lampes et ampoules pour les deux études.

3 | 3 Effet des différentes longueurs d'ondes lumineuses sur le taux de photosynthèse

3. Ajouter environ 30 g de feuilles fraîches de graminée (récoltée lors de l'étape 2) dans 250 cm³ de solution tampon de saccharose pH 7,5 froide. La solution s'obtient en mélangeant 2,7 g de phosphate disodique hydraté, 1,0 g de phosphate monopotassique anhydre, 33 g de saccharose, et 0,25 g de chlorure de potassium dans 250 cm³ d'eau distillée.
4. Mélangez pendant 60 secondes afin d'ouvrir les cellules et de libérer les chloroplastes. Filtrez la solution à l'aide d'un tissu de mousseline afin d'éliminer les particules cellulaires. Placez le filtrat sur de la glace.
5. Plongez l'extrémité d'un tube capillaire dans l'extrait chloroplastique de manière à prélever l'extrait. Retirez le tube capillaire et utilisez un mouchoir de papier pour sécher la surface extérieure du tube. Ce tube constitue votre tube de couleur de référence (il est vert).
6. Utilisez une pipette Pasteur pour ajouter 1,0 % de solution DCPIP au rétentat d'extrait chloroplastique, une goutte à la fois, en agitant doucement la bouteille pour le mélanger. La solution de DCPIP est obtenue en dissolvant 0,1 g de DCPIP et 0,4 g de chlorure de potassium dans 100 cm³ d'eau distillée. Elle doit être fraîche.
7. Ajoutez suffisamment de DCPIP pour que l'extrait passe franchement du vert au bleu-vert, puis envelopper le flacon dans du papier d'aluminium aussi vite que possible, afin de maintenir la solution d'extrait chloroplastique et de DCPIP dans l'obscurité.
8. Positionnez une lampe d'établi munie d'une ampoule violette, 8 cm au-dessus d'un carreau blanc (ne pas l'allumer tout de suite). Placez le tube de couleur de référence utilisé à l'étape 6 sur le carreau. Ensuite, plongez trois tubes capillaires dans la solution d'extrait chloroplastique et de DCPIP, séchez-les comme indiqué ci-dessus et placez-les sous la lumière violette, à côté du tube de couleur de référence. Effectuez ces opérations aussi rapidement que possible. La FIG. 6 représente vos tubes à essai.

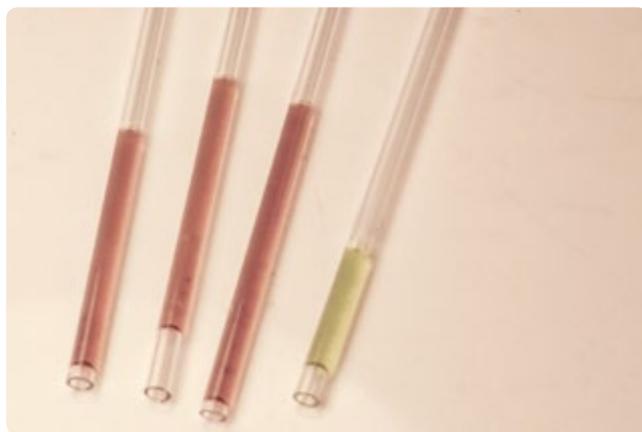


FIG. 6 Comparaison de la couleur des tubes à essai (contenant une solution d'extrait chloroplastique et de DCPIP) avant éclairage avec celle d'un tube de couleur de référence (contenant une solution d'extrait chloroplastique sans DCPIP).

FIG. 7 Données-échantillons relatives aux effets des différentes longueurs d'ondes lumineuses sur la réduction du DCPIP (mesure du taux de photosynthèse)

Couleur de l'ampoule	Longueur d'onde lumineuse [nm]	Temps nécessaire pour que le contenu du tube à essai prenne la couleur du tube de couleur de référence [s]				Temps moyen de réduction du DCPIP $= \frac{1000}{t} \left[\frac{1}{s} \right]$
		Tube 1	Tube 2	Tube 3	Moyenne	
Violet	420	660	660	640	653	1,53
Bleu	450	520	520	520	520	1,92
Vert	520	> 900	> 900	> 900	> 900	0,00
Jaune	570	680	740	760	727	1,38
Orange	620	520	520	560	533	1,88
Rouge	680	440	420	400	420	2,38
Blanc	/	500	520	540	520	1,92

9. Allumez la lampe et mettez en marche le chronomètre.
10. Enregistrez le temps nécessaire pour que la couleur de chaque tube à essai prenne celle du tube de référence (t) dans un tableau adéquat (des données-échantillons figurent en FIG. 7). Comme la couleur du contenu des tubes est très difficile à distinguer à la lumière de lampes colorées différentes, on utilise la télécommande pour faire passer l'ampoule colorée en lumière blanche pendant une seconde toute les 20 secondes, afin de voir si les couleurs correspondent.
11. Répétez les étapes 9 et 10 pour les cinq autres ampoules et pour une ampoule qui émet de la lumière blanche (FIG. 8).
12. Calculez le temps de réduction moyen et enregistrez le temps moyen de changement de couleur ($1000/t$). Si le changement de couleur n'intervient pas au bout de 15 minutes, consignez la mention « pas de changement », et enregistrez la valeur « 0 » comme vitesse de changement de couleur.

FIG. 10 Données-échantillons relatives aux effets des différentes longueurs d'ondes lumineuses sur la masse fraîche de graminée récoltée après six jours d'éclairage (mesure du taux de croissance des graminées)

Couleur de l'ampoule	Longueur d'onde lumineuse [nm]	Masse fraîche d'herbe récoltée au bout de 6 jours d'éclairage [g]
Violet	420	4,15
Bleu	450	6,02
Vert	520	3,66
Jaune	570	4,09
Orange	620	5,54
Rouge	680	6,23
Blanc	/	5,43

3 | 4 Effet des différentes longueurs d'ondes lumineuses sur le taux de croissance

Placez les sept plateaux utilisés à l'étape 2 dans une salle obscure, en éclairant chaque plateau avec une lampe d'établi munie d'une ampoule standard LED B22 3W RGB. Pour chaque plateau,



FIG. 8 Les tubes à essai et le tube de couleur de référence ont été exposés à différentes lumières colorées, et la durée nécessaire pour obtenir le changement de couleur a permis de déterminer la vitesse de décolorisation du DCPIP et, donc, le taux de photosynthèse.

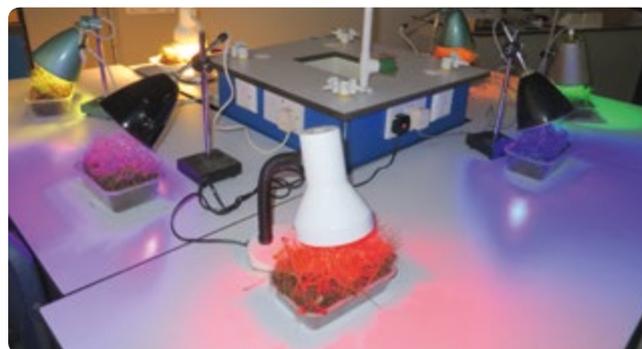


FIG. 9 Les plateaux de graminées ont été exposés à la lumière d'ampoules de différentes couleurs pendant six jours, avant que les graminées soient récoltées pour mesurer la masse fraîche et déterminer le taux de croissance.

utilisez la télécommande fournie avec l'ampoule pour sélectionner la couleur rouge, orange, jaune, vert, bleu, violet ou blanc. Laissez les plateaux éclairés pendant six jours et arrosez régulièrement, suivant les besoins (FIG. 9).

Au bout de six jours, récoltez l'herbe de chaque plateau à l'aide de ciseaux (couper l'herbe à la base de la tige), puis utilisez une balance électronique pour déterminer la masse fraîche de l'herbe récoltée dans chaque plateau. Enregistrez les données dans un tableau adéquat (voir les données-échantillons dans la FIG. 10).

4 | CONCLUSION

Les élèves ayant participé à cette étude ont acquis une bien meilleure compréhension des réactions lumineuses et des réactions indépendantes de la lumière (cycle de Calvin) de la photosynthèse, notamment la transformation par le cycle de Calvin des produits végétaux issus des réactions lumineuses et son incidence sur la vitesse de croissance de la plante. Grâce à leurs échanges, les élèves ont réalisé qu'il est important de contrôler autant de variables que possible pendant la germination et la croissance des graines de graminée (p. ex. profondeur du terreau, régime d'alimentation en eau, distance entre les lampes colorées et les plateaux d'herbe), et pendant l'étude sur le taux de photosynthèse (p. ex. distance entre les lampes colorées et l'extrait chloroplastique). Ils ont par ailleurs pris conscience de l'importance de baser leurs investigations sur une méthodologie expérimentale valide.

Après évaluation des résultats des deux expériences, les élèves ont conclu qu'il y avait corrélation entre le taux de photosynthèse et le taux de croissance des graminées pour chaque lumière colorée utilisée, et que ces taux étaient les plus élevés pour la lumière rouge et les plus bas pour la lumière verte. Ces données sont bien conformes aux résultats attendus, si l'on considère le spectre d'absorption de la chlorophylle (**FIG. 3**).

Les résultats pour la lumière bleue n'étaient pas aussi élevés que prévu, ce qui a donné lieu à une discussion intéressante sur les causes possibles de ces résultats. Les élèves ont émis l'hypothèse que cela pourrait être dû aux différents taux de chlorophylle a et de chlorophylle b présents dans les chloroplastes (puisque la chlorophylle a absorbe moins de lumière bleue que la chlorophylle b). Même dans ce cas, la lumière bleue émet plus d'énergie que la lumière rouge, et, par conséquent, elle devrait stimuler plus d'électrons que la lumière rouge, induisant un taux de photosynthèse plus élevé et une croissance plus rapide. Des recherches plus approfondies ont suggéré une autre explication possible ; les chloroplastes contiennent un autre groupe de pigments photosynthétiques appelés caroténoïdes, incluant des pigments orange (carotènes) et des pigments jaunes (xanthophylles). Ces pigments induisent une absorption maximum de la lumière bleue, et, comme la chlorophylle b, ils convertissent l'énergie absorbée en chlorophylle a pour stimuler les électrons lors de la réaction lumineuse. Cependant, la conversion d'énergie est inefficace. Bien que cette libération d'énergie puisse sembler vaine, il peut être nécessaire de protéger la plante des effets potentiellement dommageables de la forte énergie de la lumière bleue.

En énonçant leurs conclusions, les élèves ont émis l'idée que les dispositifs d'éclairage pourraient permettre de dynamiser la croissance et la repousse de la pelouse, si des lampes rouges étaient utilisées ; mais les stades de football utilisent généralement des lampes à sodium à haute pression (HPS). L'inventeur des dispositifs d'éclairage portatif Kolbjørn Saether a indiqué que sa société participe à divers projets de recherche, en collaboration avec le Norwegian Crop Research Institute, en vue de déterminer

les effets de la lumière artificielle sur la croissance des graminées. Ils ont ainsi intégré dans leur étude plusieurs paramètres tels que l'intensité lumineuse, la quantité de lumière absorbée par jour, la température, et la nutrition. Mais, ne s'étant pas penché sur les effets des différentes longueurs d'ondes lumineuses, ils se sont montrés très curieux des résultats de notre étude.

Expérience personnelle

Lors de l'extraction du chloroplaste, le mélange libre des enzymes qui abîment les chloroplastes et ralentissent la photosynthèse (l'activité de ces enzymes est réduite par l'utilisation d'une solution-tampon froide et par le maintien de l'extrait chloroplastique au frais sur de la glace). Au cours de l'étude, les élèves ont constaté que les extraits chloroplastiques devenaient moins actifs au fil du temps. Pour surmonter ce problème et obtenir des analyses comparatives valides, les élèves déterminent les taux de photosynthèse aussi vite que possible, en échelonnant les tests et en permutant les différentes ampoules dans des intervalles de temps aussi brefs que possible, de sorte que les extraits utilisés soient aussi frais que possible.

Il s'est avéré impossible de distinguer la couleur des extraits chloroplastiques des tubes à essai de celle du tube de couleur de référence sous différents éclairages. D'où l'avantage de l'utilisation d'ampoules à télécommande permettant de basculer en lumière blanche pour voir la correspondance des couleurs. L'autre avantage de ces ampoules est qu'elles ne chauffent pas, car toute hausse de température aurait eu une incidence sur le taux de croissance des graminées et la vitesse de décolorisation du DCPIP. Ce dispositif a également permis aux élèves de laisser les lampes allumées pendant six jours, sans aucun danger.

Les chiffres indiqués dans les **FIG. 7** et **FIG. 10** pour les longueurs d'ondes lumineuses des différentes couleurs n'ont qu'une valeur approximative, puisque chaque couleur est composée d'une plage de longueurs d'ondes formant un spectre continu.

5 | POSSIBILITÉS DE COLLABORATION

Les élèves des différentes écoles et collèges peuvent comparer leurs résultats pour chaque étude, leurs progrès en matière de méthodologie expérimentale, et leurs recherches sur l'incidence des longueurs d'ondes lumineuses sur le taux de photosynthèse chez d'autres espèces de plantes.

RÉFÉRENCES

- ^[1] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Linear_visible_spectrum.svg (08/03/2016)
- ^[2] Chlorophyll_ab_spectra2.PNG: Aushulz derivative work: M0tty [CC BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>) or GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>)], via Wikimedia Commons (08/03/2016)
- ^[3] www.science-on-stage.de/iStage3_materials

JOUEUR

Ce livret présente les différentes disciplines scientifiques qui touchent le football. Dans « Biosphère », nous observons d'abord des phénomènes à très grande échelle. Puis nous étudions les principales composantes du jeu — le ballon et les joueurs — dans les sections « Joueur » et « Ballon ». Enfin, nous analysons le jeu lui-même dans la section « Analyse numérique ».

En privilégiant l'élément humain du jeu, la section consacrée au corps propose des expériences auxquelles les élèves peuvent pleinement s'identifier, car ceux-ci peuvent revêtir le rôle de joueur ou même participer aux matchs. Dans le cadre de ces projets, l'expérience personnelle des élèves les aidera non seulement à mieux comprendre les sciences, mais encore à mieux connaître la biologie de leur corps.

Lorsque nous participons activement à un match de football, les mouvements de notre corps s'accroissent, et celui-ci se transforme selon les lois de la physique. Le corps a besoin d'eau, de sel et de nutriments en fonction de notre biochimie, et nos muscles se fatiguent, mais notre physiologie s'adapte et évolue. Ainsi, à travers notre corps, il est possible de comprendre comment la physique, la chimie, la biologie et la physiologie influent sur la vie et régissent les mouvements du corps. Même les plus grandes figures du football telles que Pelé, Maradona, Cristiano Ronaldo, Messi et Romario sont soumises à ces lois de la nature. La science peut-elle nous révéler les secrets qui en ont fait des êtres si spéciaux ?

Eh bien oui ! D'abord, les joueurs professionnels consacrent une grande partie de leur temps à l'entraînement. Les élèves en découvriront les raisons et pourront constater par eux-mêmes l'effet positif de l'exercice physique sur leurs propres performances sportives, à travers la section « Entraînement de champion ». Ils vont peut-être vivre une expérience qui change la vie !

L'hydratation et la nutrition sont essentielles pour préserver notre capital santé, et conditionnent également nos performances sportives. D'ailleurs, les joueurs de football sont souvent approvisionnés en eau, surtout lorsque le match est bien avancé et le temps chaud. Avec la section « Boissons énergisantes », les élèves auront l'occasion de discuter de cet aspect du football. Cette étude pourra les sensibiliser aux dangers des modes et des fausses idées liées aux boissons dites « énergétiques », mais également susciter des débats entre les élèves plus âgés, concernant les épineux problèmes du dopage et de ses effets sur la santé des athlètes.



Et quel est donc cette règle selon laquelle on ne doit pas toucher le ballon de la main au football ? Dans la section « Toucher n'est pas jouer », les élèves verront qu'il s'agit là d'une règle cruciale qui influe à plusieurs égards sur les phénomènes physiques intervenant dans le football. Si l'utilisation des mains était autorisée dans le football, ce serait un sport tout à fait différent ! Chaque joueur, y compris Diego Maradona (alias la « main de Dieu »), le sait pertinemment !

Dernier conseil de prudence : comme toujours, veillez à ce que vos élèves pratiquent les activités physiques dans des environnements sans danger, et suivez les instructions relatives à chaque module. Que les élèves manipulent des solutions aqueuses ou pratiquent des exercices physiques, il vous incombe de toujours veiller à leur sécurité lors de ces activités.

PROFESSEUR MIGUEL ANDRADE

Institut de biologie moléculaire (IMB)

Faculté de biologie, Université Johannes Gutenberg Mainz, Allemagne

Coordinateur

DAVID FEATONBY · STEFAN ZUNZER

ENTRAÎNEMENT DE CHAMPION



-  Performances physiques, forme, renforcement, mesure
-  Éducation physique, physique, biologie, mathématiques, informatique
-  Toutes classes d'âge
-  Football, ballon d'exercice (2 kg), chronomètre, mètre ruban, trois haies réglables, cinq piquets, craie, mur noir ou tapis de gymnastique (2 m × 4 m)

1 | SYNOPSIS

Dans ce module, nous présentons une série de tests de performances physiques applicables à différents aspects du football. Les élèves devront élaborer un programme d'exercice mettant en valeur leurs performances physiques. Un journal d'entraînement est mis à leur disposition pour leur permettre d'enregistrer et d'évaluer leurs progrès.

2 | INTRODUCTION THÉORIQUE

2 | 1 Objectifs

La forme et l'exercice physiques ne sont pas seulement indispensables aux joueurs de football ; ils apportent également des bienfaits pour la santé.

2 | 2 Information générale

L'aptitude à jouer au football dépend de plusieurs critères. L'ensemble de ces critères doivent être présents chez le joueur pour lui permettre de produire des performances de haut niveau. On compte différentes listes officielles de tels critères (p. ex. Davis, B. et al. (2000) *Training for physical fitness*; Tancred, B. (1995) *Key Methods of Sports Conditioning*). Chacune de ces listes prescrit un certain niveau de forme et de force physiques, un certain équilibre et un investissement psychique dans ces épreuves sportives. Il est intéressant de se pencher sur ces listes. Ignorer un quelconque critère peut sérieusement compromettre la performance globale. Si l'on considère comme acquise la volonté de s'investir dans l'épreuve sportive, la capacité à réaliser une bonne performance dépend alors de deux facteurs : « compétence » et « forme ». En termes simples, la compétence peut s'améliorer par la pratique et la condition physique par l'exercice. Le progrès réalisés à l'égard de ces deux critères conduiront à une amélioration sensible de la performance. Chaque épreuve devrait être considérée comme une étape de travail vers une amélioration de la performance générale dans ce sport. Ces principaux critères d'aptitude peuvent être encore affinés, car il existe différents types de compétences :

- Cognitives – aptitudes intellectuelles mettant en oeuvre la réflexion
- Perceptuelles – interprétation des informations présentées
- Motrices – contrôle du mouvement et des muscles
- Perceptivo-motrices – font intervenir les compétences mentales, interprétatives et motrices

Les compétences associées au football intervenant dans cette expérience sont principalement des aptitudes motrices. La condition physique se mesure par rapport à la force, la souplesse et l'endurance des nombreux muscles du corps. Certains mouvements font

intervenir divers muscles qui doivent fonctionner de manière optimale, qu'il s'agisse des muscles de la jambe, des sangles abdominales et dorsolombaires, ou du buste. Dans les différents exercices proposés, nous visons un ensemble musculaire particulier, mais également d'autres éléments intervenant dans la forme physique.

- Test 1 · Slalom : teste la coordination des mouvements et la force musculaire des jambes.
- Test 2 · Test du saut vertical : la frappe de la balle de la tête permet de tester la coordination des mouvements et la force musculaire des jambes et des sangles abdominales et dorsolombaires.
- Test 3 · Lancé de balle d'exercice au dessus de la tête : teste la puissance de l'athlète, la coordination, l'équilibre et la force du buste.
- Test 4 · Course d'obstacles boomerang : teste la coordination des mouvements, l'équilibre et la force des jambes.
- Test 5 · Test Cooper : teste le niveau de forme physique et la capacité d'endurance.

2 | 3 Collaboration interdisciplinaire

Cette étude peut donner lieu à une collaboration interdisciplinaire en biologie (p. ex. rythme cardiaque, rythme respiratoire, muscles), physique (p. ex. accélération, vitesse, mesures), éducation physique (information générale sur l'entraînement), en mathématiques et en informatique (p. ex. statistiques, graphiques, corrélations).

2 | 4 Précautions nécessaires

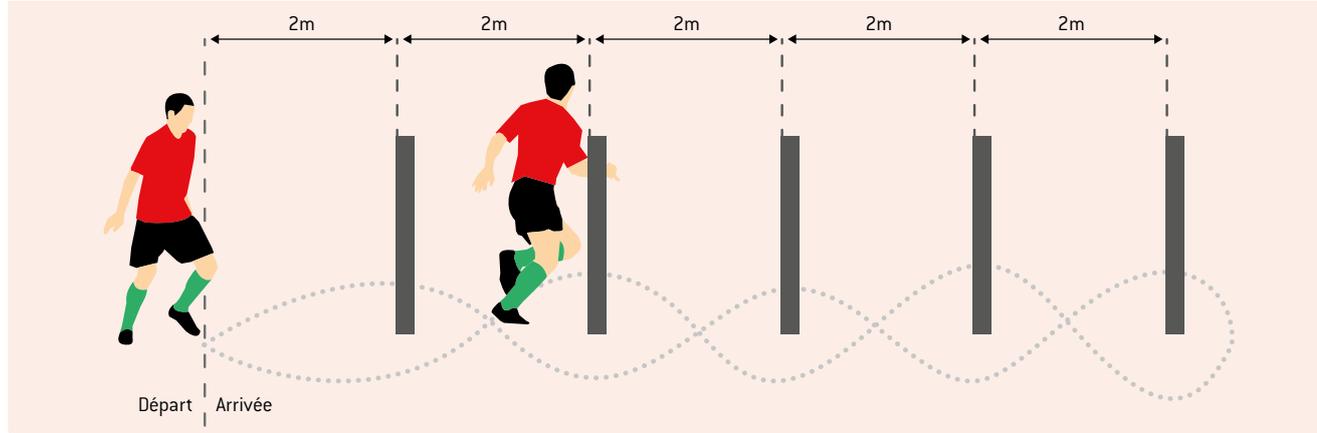
Bien que les tests de performance physique soient non-invasifs, veillez à les pratiquer conformément aux règles sanitaires et de sécurité en vigueur dans votre institution/école. Tous les tests de performance et sessions d'entraînement subséquentes doivent être à la portée des élèves. Il est essentiel de pratiquer l'échauffement avant le test de performance et les sessions d'entraînement.

3 | TÂCHES DES ÉLÈVES

Les élèves doivent effectuer cinq tests de performance physique, à des moments différents. La phase d'entraînement subséquente mettra en valeur la performance physique, qui est testée lors d'un second test de performance physique, à la fin de la phase d'entraînement. Des méthodes d'entraînement appropriées seront définies au cas par cas. Chaque professeur pourra faire des suggestions par rapport à l'organisation du programme d'entraînement. Les sessions d'entraînement individuel devront se dérouler pendant trois semaines minimum et six semaines maximum. Les élèves seront encouragés à élaborer leur propre schéma d'exercice. Des suggestions à l'intention des professeurs figurent dans les ressources complémentaires^[1]. Le programme d'entraînement peut inclure à la fois des exercices spécifiques et des activités sportives (p. ex. cyclisme, course, etc.). En outre, les activités d'entraînement devront être consignées dans le journal prévu à cet effet.

Le nombre et la fréquence des tests de suivi de performance physique peuvent être déterminés individuellement, mais doivent

FIG. 1 Test du slalom



faire l'objet d'une concertation avec le professeur. Les tests de performance physique doivent être effectués comme indiqué ci-dessous, dans un ordre indifférent.

3|1 Première aptitude : accélération et vitesse — slalom

- **Matériel nécessaire** : cinq piquets, mètre ruban, un chronomètre et un ballon de foot
- **Installation** : Définissez les zones de départ et d'arrivée. Planchez les cinq piquets en ligne droite avec un espacement de deux mètres entre chaque. Pour chronométrer, utilisez de préférence une barrière photo-électrique, sinon un chronomètre.
- **Test A** : Courez en slalom entre les piquets, tournez autour du dernier piquet et revenez en courant à la ligne d'arrivée de la même façon (FIG. 1). Mesurez le temps aussi précisément que possible et enregistrez-le.
- **Test B** : Répétez le test A en dribblant avec un ballon. Veillez à maintenir le ballon près de votre corps et à ne pas l'échapper. Enregistrez le temps nécessaire.
- Effectuez trois essais et marquez le plus performant. Si un piquet tombe, ou si le parcours de slalom est incomplètement réalisé, l'essai ne compte pas.

3|2 Deuxième aptitude : détente et puissance — saut vertical

- **Matériel nécessaire** : mur noir ou tapis de gym (2 m x 4 m) et, le cas échéant, autre outil de mesure, craie, mètre ruban et un escabeau
- **Installation** : Plusieurs méthodes sont utilisées couramment pour mesurer les performances de saut en hauteur. Veuillez vérifier le matériel de mesure disponible (p. ex. piston de compression, systèmes vidéo, système « Vertec », etc.). La méthode la plus simple reste toutefois la mesure sur un mur noir (p. ex. avec une feuille de papier foncé fixée au mur), ou un tapis de gymnastique épais (hauteur recommandée 4 m environ). Si vous utilisez un tapis, appuyez-le contre le mur, et veillez à ce qu'il ne tombe pas. Il faut également de la craie, un mètre ruban, et, au besoin, un escabeau.
- **Test** : Pour commencer, mettez-vous debout à côté du tapis. Avec la craie, marquez un doigt de votre main la plus proche

du mur. Puis, haussez-vous le plus haut possible et marquez la hauteur correspondante sur le tapis ou le mur. Notez que vos deux pieds doivent toucher le sol ! Ensuite, faites une nouvelle marque sur votre doigt, écarter-vous légèrement du mur, puis sautez aussi haut que possible, en prenant élan avec vos bras et jambes. Essayez de toucher le tapis ou le mur lorsque vous êtes le plus haut en l'air. Mesurez la distance entre la hauteur atteinte en position debout sur le sol et la hauteur de saut maximum ; cela correspond à votre performance. Effectuez trois essais et marquez le plus performant.

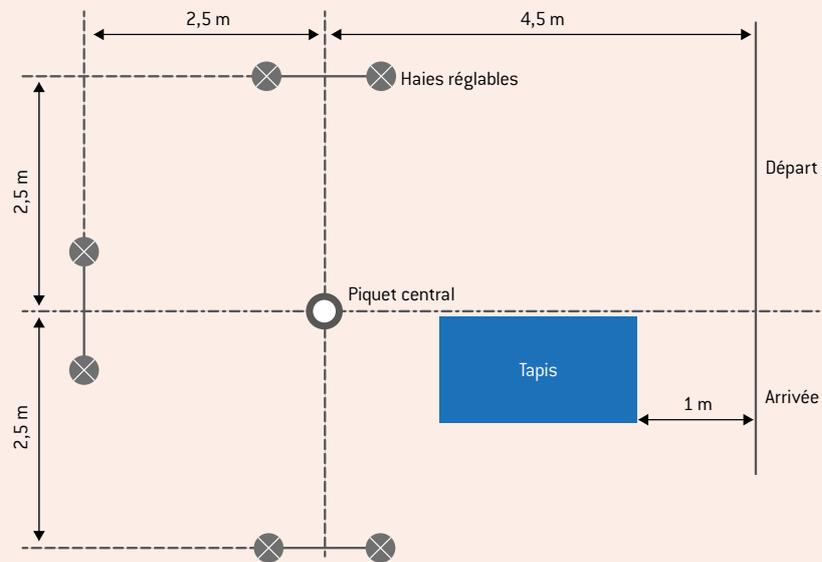
3|3 Troisième aptitude : gainage des membres supérieurs et effort musculaire explosif — lancé de ballon par dessus la tête

- **Matériel nécessaire** : ballon d'exercice (2 kg) et mètre ruban
- **Installation** : Choisissez une salle permettant des lancers de ballon longs et hauts. Si vous effectuez les tests à l'extérieur, le vent peut fausser les résultats. Définissez une ligne de départ et posez des jalons pour faciliter la mesure de la distance de lancé.
- **Test** : Placez-vous sur la ligne de départ en faisant face à la direction du lancé du ballon. Vos pieds doivent être côte à côte et légèrement écartés. Placez vos mains sur les côtés et légèrement en retrait du milieu du ballon. Positionnez le ballon derrière votre tête et pliez légèrement vos genoux. Puis lancez vigoureusement le ballon vers l'avant, aussi loin que possible, en décrivant un mouvement vers le haut et en même temps vers l'avant. Vous êtes autorisé à marcher sur la ligne de départ, une fois le ballon lancé. Vous n'êtes pas autorisé à prendre de l'élan pour maximiser la distance de lancé. Effectuez trois essais ; seul l'essai le plus performant compte.

3|4 Quatrième aptitude : coordination des mouvements, agilité et accélération — course d'obstacles boomerang

- **Matériel nécessaire** : piquet central, un tapis, des obstacles réglables (haies enfichables, haies physiques), mètre ruban, chronomètre ou barrière photo-électrique
- **Installation** : Préparez la zone de test comme indiqué dans la FIG. 2.

FIG. 2 Course de haies « boomerang »



- Test :** Avant de commencer le test, réglez les haies en fonction de la hauteur de la personne — voir FIG. 3. Pour éviter d'avoir à régler fréquemment les haies, il est recommandé de regrouper les élèves par tailles. Faites courir les élèves aussi vite que possible dans le sens contraire des aiguilles d'une montre. Si la barre centrale de l'une des haies tombe, l'essai ne compte pas. Tenez-vous debout, en position droite, sur la ligne de départ. Commencez le test avec une roulade avant sur le tapis. Faites un quart de tour autour du piquet central, sautez une haie, puis faites demi-tour instantanément et glissez-vous par dessous la haie. Retournez en courant vers le piquet central, opérez un autre quart de tour et sautez la haie suivante. Ensuite, retournez en courant vers le piquet central, faites un quart de tour, et sautez par dessus/passez sous la troisième haie. Retournez en courant vers le piquet central, faites un dernier quart de tour et franchissez la ligne d'arrivée.

FIG. 3 Haie adaptée à la taille corporelle

Taille corporelle [cm]	Hauteur de haie [cm]
121 – 125	50
126 – 130	52
131 – 135	54, etc.

3 | 5 Cinquième aptitude : condition physique et endurance — test Cooper

- Matériel nécessaire :** piste d'athlétisme à surface plate (p. ex. 400 m de piste en tartan ou similaire) et chronomètre
- Installation :** Aucune installation spéciale n'est nécessaire pour les mesures.
- Test :** Les élèves doivent parcourir la plus grande distance possible en 12 minutes. Commencez le test après avoir activé le signal sonore de départ. Au bout de 12 minutes, l'assistant fait retentir le signal sonore, et la distance parcourue est enregistrée.

4 | CONCLUSION

Dans ce module, nous avons proposé des idées d'exercices de mise en forme en lien avec les aptitudes intervenant dans le football. Par le biais de ces activités, les élèves de tous niveaux d'aptitude peuvent améliorer leurs performances. Ces suggestions sont valables tant pour les filles que pour les garçons. Les compétences scientifiques s'acquièrent également à travers les opérations de mesure, l'élaboration et la rédaction de programmes d'entraînement, et la lecture des résultats.

La motivation est essentielle. Elle est suscitée à la fois par les conseils du professeur qui guide l'élève à travers le programme, et par le sens de l'accomplissement qui naît de la réalisation de ses compétences. L'expérience a montré que si le programme est rigoureusement suivi, même l'élève le plus faible pourra constater un progrès ; et ceux qui sont plus compétents seront stimulés par le sentiment d'avoir amélioré leurs performances.

5 | POSSIBILITÉS DE COLLABORATION

Comme de nombreuses écoles participeront à cette étude, Science on Stage fournit la liste des écoles participantes et leurs informations de contact. Veuillez consulter la page d'accueil de iStage^[1].

Les données peuvent être présentées sur des tableaux d'affichage pour créer une émulation entre les élèves et les récompenser de leurs efforts et accomplissements, et utilisées comme données réelles à des fins d'analyse statistique. On pourra réaliser des analyses comparatives entre joueurs réguliers, sexes, âges, etc.

RÉFÉRENCES

- ^[1] Toutes les ressources complémentaires sont disponibles sur le site www.science-on-stage.de/iStage3_materials.

KIRSTEN BIEDERMANN · EMMANUEL THIBAUT

BOISSONS ÉNERGISANTES



 Boissons énergétiques, boissons isotoniques, caféine, sucre, effort

 Chimie, biologie, physique, mathématiques

 Chapitre 3.1 : 14 – 18 ans et partie 3.2 : 8 – 18 ans

Étude des composants des boissons énergétiques et dangers pour la santé ; convient à tout âge entre 8 et 18 ans.

1 | SYNOPSIS

Sur le marché, on peut trouver un certain nombre de boissons énergétiques ou énergisantes, contenant des composants capables d'améliorer les performances du consommateur, mais non sans risques pour la santé. Nous proposons ici des méthodes pour présenter ces boissons et pour étudier leurs composants et leurs effets sur l'activité cérébrale et musculaire.

2 | INTRODUCTION THÉORIQUE

Ce module d'enseignement a trait aux boissons utilisées dans le football et dans le sport en général. Aujourd'hui, sur le marché, on peut trouver un nombre croissant de boissons qui stimulent les performances physiques et intellectuelles des consommateurs.

Voici les principales questions posées dans cette étude :

- Quelle est la composition de ces boissons ? Comment analyser leur contenu ?
- Quels sont leurs effets sur l'activité mentale et physique ? Comment mesurer ces effets ?

Cette étude porte sur différents types de boissons :

- Les boissons énergétiques : augmentent le rythme cardiaque et la tension artérielle
- Les boissons isotoniques : apportent des sucres et minéraux pour stimuler l'activité musculaire et cérébrale.
- Boisson naturelle : eau plate

3 | TÂCHES DES ÉLÈVES

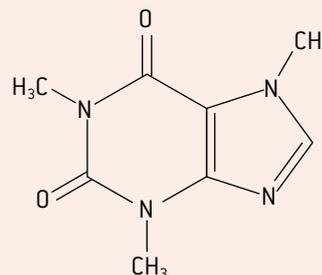
3 | 1 Boissons énergétiques

Les boissons énergétiques sont conçues pour apporter un surcroît d'énergie au consommateur, par le mélange de différents ingrédients stimulants. Ces ingrédients incluent la caféine, un alcaloïde qui a des effets stimulants et psychotropes. Ils contiennent aussi parfois de la taurine, un acide aminé dont les effets sur le corps humain restent inconnus à ce jour.

Biologie

En premier lieu, les élèves de tous âges peuvent discuter des boissons énergétiques et étudier leur teneur en caféine, en lisant l'étiquette de certains produits du commerce (pour cela, ils peuvent prendre des photos au supermarché local ; il n'est pas nécessaire d'acheter les boissons). Ils peuvent mener une étude sur la teneur en caféine de ces produits et comparer leurs résultats avec la teneur en caféine d'un espresso, puis aborder les questions de santé associées.

FIG. 1 Caféine



Conclusion

La caféine, dont les effets sur le corps humain sont aujourd'hui bien connus, est de loin le composant, bon ou mauvais, le plus efficace de ces boissons.

Une canette de boisson énergétique (250 ml) contient environ 80 mg de caféine, ce qui correspond à peu près à une tasse de café fort. Cette quantité est presque équivalente à la dose qui induit des effets secondaires (100 à 160 mg), et à la quantité maximale recommandée par jour (pour les adultes 200 mg/jour). Le risque, pour les athlètes, ne réside pas tant dans les contrôles anti-dopage que dans le risque d'absorption d'une dose toxique.

Chimie – 14 à 18 ans

L'analyse, dans les cours de chimie en laboratoire, de produits commerciaux populaires, est une méthode reconnue pour sa capacité à favoriser l'investissement intellectuel, la découverte et la compréhension. De multiples analyses peuvent être menées à différents niveaux d'apprentissage, à l'aide de méthodologies et de matériels pédagogiques différents.

3 | 1 | 1 Extraction et identification de la caféine

Une analyse qualitative basée sur la chromatographie sur plaque peut être effectuée afin de vérifier que la boisson énergétique contient de la caféine. Les élèves extraient d'abord la caféine au moyen d'un solvant inoffensif tel que l'acétate d'éthyle, utilisé après un traitement de base, afin de solubiliser les acides puis le tanin.



FIG. 2 Vérification de la basification avec du papier pH



FIG. 3 Extraction par solvant de la caféine



FIG. 4 Séchage de la phase organique au moyen d'un dessiccatif



FIG. 5 Chromatographie de la phase organique

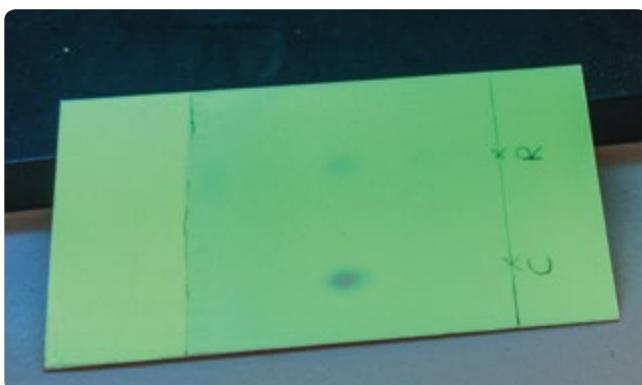


FIG. 6 Observation de l'espèce chimique avec une lampe à ultraviolet

Méthode d'extraction :

- Prélever 50 ml de la boisson et remuez-la avec une baguette de verre pour la dégazer, si besoin.
- Ajouter 1 mol/l d'une solution de soude du commerce (carbonate de sodium) tout en secouant le contenant, afin d'obtenir un taux de pH proche de 9.
- Extraire à l'aide de 15 ml de solvant et d'une ampoule à décanter.
- Recueillir la phase contenant la caféine dans un bécher.
- Répéter l'opération en utilisant 15 ml de solvant.
- Recueillir la phase organique et la sécher à l'aide de sulfate de magnésium anhydre.

Les résultats de l'analyse chromatographique seront enregistrés à la fin de cette étape, préalablement à la vaporisation du solvant.

FIG. 7 Vitamine B6 (pyridoxine) et vitamine B3 (niacine ou nicotinamide)

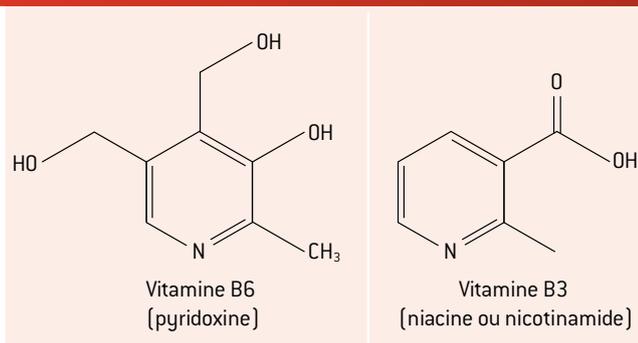


FIG. 8 Évaporation du solvant au moyen d'un évaporateur rotatif (gauche) · Dépôt de poudre sur les parois du flacon après évaporation du solvant

- Éluant (phase mobile) pour la caféine : mélange d'acide formique et d'acétate de butyle (30 ml/50 ml)
- Phase stationnaire : fine couche de silice
- Visualisation : UV
- La caféine utilisée comme composé de référence, dissoute dans de l'éthanol ou dans l'éluant.

Par l'analyse chromatographique, les élèves identifient la caféine et un autre composé qui forme une tache distincte (indiquant que ce second composé ne peut être laissé dans la phase organique après extraction). Après avoir pris connaissance de la composition de la boisson, ils peuvent en déduire que ce second composé est peut-être une vitamine avec de multiples liaisons doubles, notamment de la vitamine B3 ou B6.

Pour approfondir :

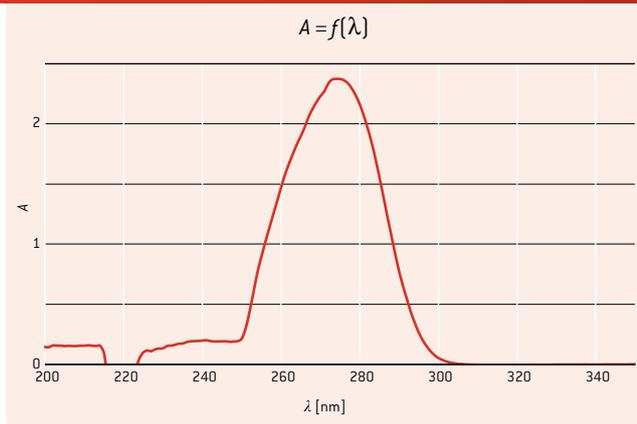
- Les élèves pourront préparer une autre analyse chromatographique en utilisant de la vitamine B6 et B3 comme substances de référence.
- On peut évaporer le solvant afin d'obtenir de la poudre de caféine.

3 | 1 | 2 Dosage de la caféine

On peut d'abord effectuer une analyse basée sur la loi de Beer-Lambert.

- Les élèves déterminent le spectre d'activité d'une solution aqueuse à base de caféine et celui des boissons énergétiques, afin de déterminer le niveau d'absorption maximum. Ils prépareront une solution contenant environ la teneur en caféine indiquée par le fabricant. En raison de la saturation d'absorption, la solution devra être diluée. Ils doivent opter pour une longueur d'onde de 271 nm, car elle présente une crête d'absorption.
- Ils pourront produire une courbe d'étalonnage, avec différentes solutions aqueuses de caféine, et la tester sur une boisson énergétique particulière diluée 20 fois.
- De cette méthode, ils peuvent conclure que la boisson énergétique contient 17 % plus de caféine (373 mg/l) que la taux indiqué (320 mg/l) par le fabricant. Évidemment, le fabricant n'a pas triché sur les chiffres, car il est soumis à des procédures de contrôle de la qualité internes et externes. Cependant, le second composé mis en lumière par l'analyse chromatographique (vitamine B6 et/ou B3), qui absorbe également dans la région UV, a une incidence sur la courbe d'étalonnage.

FIG. 9 Spectre d'absorption de la caféine



Pour améliorer la courbe d'étalonnage :

- Les élèves pourront produire le spectre d'absorption de la vitamine B6 et/ou B3 afin de déterminer si elles opèrent une forte absorption à la longueur d'onde précédemment utilisée. En fonction du résultat, on peut choisir d'utiliser une autre longueur d'onde. Avec les spectres de la vitamine B6 et B3, ils peuvent choisir une longueur d'onde pour laquelle l'absorption est faible (p. ex., entre 240 et 250 nm).

FIG. 10 Courbe d'étalonnage de l'absorption liée à la concentration de la caféine

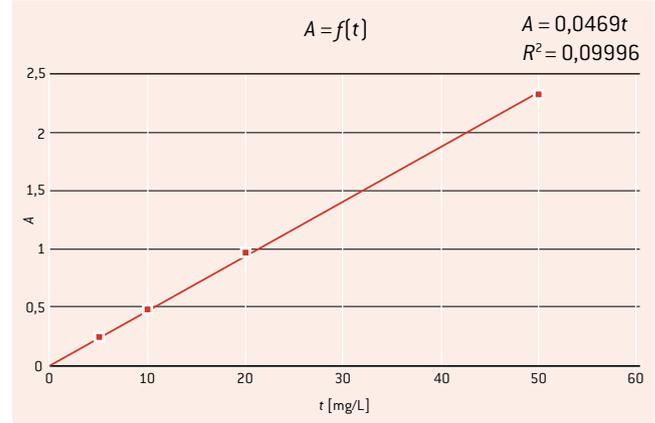


FIG. 11 Spectre d'absorption de la vitamine B6

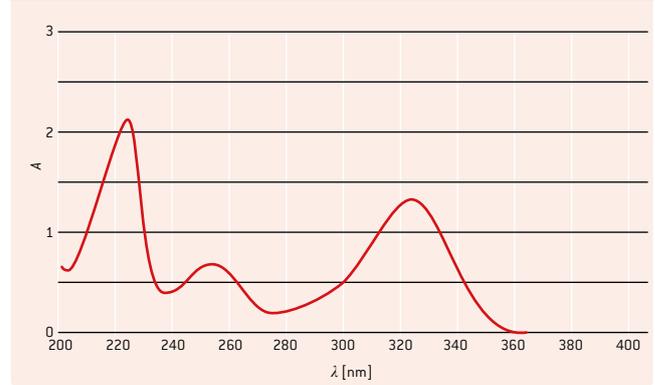
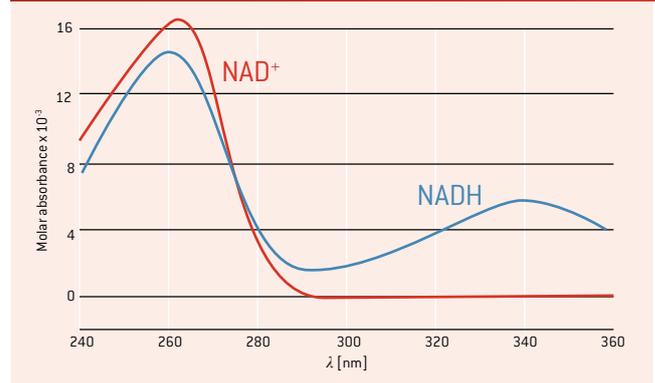


FIG. 12 Spectre d'absorption de la vitamine B3^[1]



- Il est également intéressant d'encourager les élèves à trouver une autre méthode d'analyse en laboratoire, telle que la CLHP ; cela leur permet d'obtenir de meilleurs résultats.

FIG. 13 Exemple de tableau pour le test « digit symbol substitution »

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<	∩	Δ	X	+	⊥	∧	○	=
2	1	5	4	7	6	9	3	8
∩	<							
6	3	1	2	6	7	3	9	2

3 | 2 **Comment mesurer l'effet des boissons isotoniques et de l'eau sur l'activité cérébrale.**

Notre corps a besoin d'eau, de sucre et de minéraux pour pouvoir fonctionner correctement. On peut en voir une magnifique illustration dans une vidéo montrant Gabriela Andersen-Schiess au marathon olympique de 1984, qui ne s'est pas désaltérée au dernier stand d'approvisionnement en boissons. Vous trouverez plusieurs versions de cet événement sur Internet.

Nous allons élaborer des méthodes et concevoir une étude dans un souci d'objectivité, de validité et d'exactitude, pour la mesure des effets des boissons isotoniques et de l'eau sur le fonctionnement de notre cerveau.

Biologie :

Les élèves de tous âges mettront d'abord en commun leurs connaissances. Les élèves âgés de plus de 13 ans peuvent enchaîner avec des recherches sur les différentes activités cérébrales (capteurs, acteurs, activité modale et intermodale, etc.) et le rôle de l'eau et des boissons isotoniques. Ils afficheront ensuite leurs résultats sur des panneaux, avant de réfléchir à la manière de mesurer ces effets.

Ils peuvent opter pour les méthodes suivantes :

[A] test de nombre-symbole (utilisé dans de nombreux tests de QI) — recommandé pour les élèves âgés de plus de 13 ans

Également connu sous le nom de test du symbolisme des nombres, le « digit symbol substitution test » (DSST) permet d'évaluer si le sujet présente une activité intermodale normale.

Sur une feuille de papier, on écrit, par exemple, une série de chiffres allant de 1 à 9. Chaque chiffre est associé à un symbole (p. ex. - / & / 0). Sous cette série figure un tableau comprenant une série de chiffres répétés dans un ordre aléatoire. Le sujet doit marquer, le plus rapidement possible, le symbole correspondant sous chaque chiffre.

Un élève du groupe sujet dispose, p. ex., de 90 secondes pour remplir la feuille. Au bout de 45 secondes, p. ex., il fait une pause. Vous pourrez vérifier ultérieurement si l'élève a gagné en rapidité pour associer les chiffres avec les symboles. Ce type d'activité mentale est appelé apprentissage.

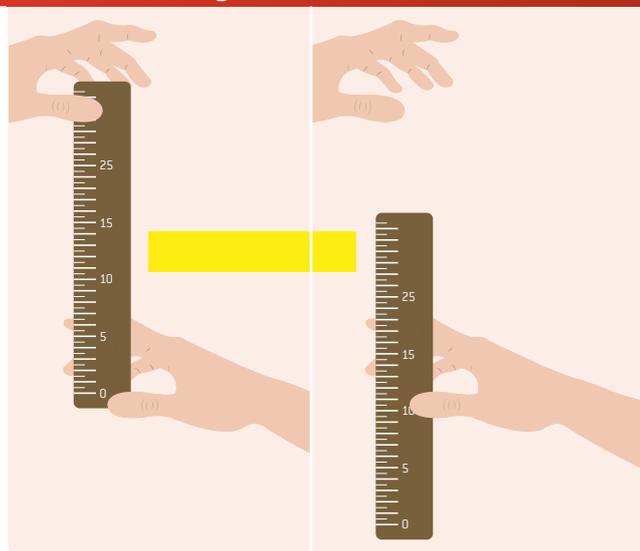
Au bout de cinq minutes, on pourra demander à l'élève d'inscrire les symboles correspondant aux chiffres, afin de tester sa mémoire. Cette autre activité mentale est liée à la mémoire à long terme.

[B] Test de la règle — adapté à tous âges

L'animateur du test laisse tomber une règle entre le pouce et l'index du sujet, et le sujet essaie de l'attraper aussi promptement que possible. Les élèves peuvent discuter pour déterminer la meilleure position initiale de la règle. Il leur est facile de mesurer la distance à parcourir par la règle avant que le sujet puisse l'attraper.

En outre, ils doivent élaborer le meilleur modèle d'analyse possible, en déterminant également le temps nécessaire pour qu'un élève n'ayant pris aucune boisson attrape la règle. Il s'agit là évidemment d'un modèle de contrôle expérimental, ce qui signifie que l'on compare simultanément deux groupes aléatoires (un groupe témoin et un groupe expérimental). Cette configuration permet de comparer l'activité mentale de deux groupes exempts d'effets ou de facteurs confusionnels autres que la boisson. Pour approfondir, les élèves pourront mesurer et comparer les effets de différentes sortes de boissons.

FIG. 14 Test de la règle



Maths :

[pour le test A] Les élèves (+ de 13 ans) collectent et analysent des données, puis présentent leurs conclusions.

[pour le test B] Les élèves doivent faire du calcul mental afin de déterminer quelle distance en cm la règle a parcouru, s'ils ne considèrent pas que la position initiale du pouce du sujet est à 0 cm. Les plus jeunes élèves peuvent juste comparer des résultats simples, tandis que les plus âgés pourront faire des calculs prenant en compte le caractère approximatif des mesures, puis calculer la moyenne des différentes mesures.

Physique :

[pour le test B] Les élèves âgés de plus de 13 ans peuvent calculer la durée de la chute de la règle en utilisant la mesure de la hauteur h qu'ils ont relevée.

$$E_{cin(1)} + E_{pot(1)} = E_{cin(2)} + E_{pot(2)}$$

$$E_{cin(1)} + 0 = 0 + E_{pot(2)}$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h \quad | : m$$

$$\frac{1}{2} \cdot v^2 = g \cdot h$$

avec $v = g \cdot t$ car $v = a \cdot t$ et $a = g$

$$\frac{1}{2} \cdot a^2 \cdot t^2 = g \cdot h \quad | \frac{2}{g^2}$$

$$t^2 = 2 \cdot \frac{h}{g} \quad | \sqrt{\quad}$$

$$t = \sqrt{2 \cdot \frac{h}{g}}$$

a : accélération [$\frac{m}{s^2}$]

h : hauteur [m]

g : accélération de la pesanteur, $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$

t : temps [s]

v : vitesse [$\frac{m}{s}$]

4 | CONCLUSION

Adaptable, ce projet convient à des élèves âgés entre 8 et 18 ans. Il permet d'enseigner comment mesurer l'activité mentale et comment optimiser une méthodologie pour minimiser le besoin d'évaluation par des opérations de calcul, comptage, etc. Il leur permettra d'appréhender le modèle de contrôle expérimental. Ils pourront profiter de l'occasion pour mettre en oeuvre les connaissances acquises dans les matières scientifiques telles que la biologie, les maths ou la physique.

5 | POSSIBILITÉS DE COLLABORATION

Il convient de considérer ce projet comme un projet interscolaire international. Si votre école ne dispose pas du matériel technique requis pour la partie chimie, vous pouvez contacter des écoles proches de la vôtre en vue de mener les expérimentations conjointement. Vos élèves devront communiquer les résultats de leurs investigations et leurs protocoles à leurs pairs ; ce qui présentera un intérêt bien plus grand qu'une simple retranscription dans leurs cahiers. La coopération et le partage de connaissances stimulent la motivation et la participation, tout en permettant l'introduction d'une option bilingue dans l'enseignement / l'apprentissage des matières scientifiques.

Vous pouvez comparer les boissons qui sont vendues dans les différents pays et les points de vue par rapport à leur consommation. Vous pouvez également discuter des modèles d'étude, recueillir de nouvelles idées et faire les exercices en collaboration avec deux écoles participantes ou plus, afin de collecter un plus grand nombre de données pour votre analyse des effets de ces boissons.

Enfin, vous êtes invités à partager les résultats que vous avez obtenus en collaboration avec les autres écoles. Vous trouverez des informations complémentaires sur notre site web. ^[2]

RÉFÉRENCES

^[1] Source : Cronholm144 (own work) [public domain], via Wikimedia Commons https://en.wikipedia.org/wiki/Nicotinamide_adenine_dinucleotide#/media/File:NADNADH.svg (08/03/2016)

^[2] www.science-on-stage.de/iStage3_materials

ANDREAS MEIER · CORINA TOMA

TOUCHER N'EST PAS JOUER



 Biomécanique, mouvement, accélération, énergie, force mécanique, temps de réaction, surface de contact

 Physique, biologie, mathématique, sports

 10 – 18 ans

Ce module peut être utilisé dans l'enseignement intermédiaire et secondaire, pour des élèves d'âges différents. Certaines sections du module peuvent également être utilisées dans l'enseignement primaire. Chaque section est adaptable à différents niveaux scolaires.

1 | SYNOPSIS

Ce module présente certaines activités requérant l'utilisation des bras et des jambes du joueur lors d'un match de football. Il est divisé en trois parties :

1. Les mouvements caractéristiques des joueurs de football
2. L'extension de la surface de contact du corps
3. Le temps de réaction

En outre, ce module vise à inciter les élèves à développer de nouvelles méthodes d'observation.

2 | INTRODUCTION THÉORIQUE

Le football est un sport très athlétique et très dynamique. Son intensité a augmenté au cours des dernières décennies. L'endurance, la vitesse et la réactivité sont des aptitudes élémentaires dans le football, que tout joueur doit aujourd'hui mettre en œuvre pendant les matchs et même pendant les séances d'entraînement. Le joueur doit utiliser ses bras et ses jambes afin d'être plus performant, de courir plus vite ou de sauter plus haut. C'est pourquoi il arrive que les joueurs touche le ballon de la main pendant le jeu, que le contact soit volontaire ou non.

En introduction, nous présenterons certaines informations concernant le rôle de la main dans le football. Tout d'abord, penchons-nous brièvement sur la règle 12 de la FIFA^[1] : « Toucher le ballon de la main implique un geste délibéré de la part du joueur pour toucher le ballon de la main ou du bras. » Donc, en principe, les joueurs ne doivent pas toucher le ballon de la main. Il y a toutefois des exceptions à cette règle en ce qui concerne les « positions naturelles des mains ».

Au bout du compte, l'arbitre doit déterminer si ce contact est « naturel » ou non, et donc, s'il est intentionnel ou non. Si vous suivez un match de football dans un stade ou à la télé, vous verrez que ces décisions à chaud peuvent donner lieu à de vifs débats. Des décisions d'arbitrage pour faute de main ont changé le cours de certains matchs. Le plus illustre cas de faute de main est incontestablement celui de Diego Maradona, « la main de Dieu » lors du quart de finale de la coupe de la FIFA 1986 contre l'Angleterre, à l'issue de laquelle les Argentins ont été sacrés champions du monde^[2]. Lors du match de qualification entre l'Irlande et la France en 2009, Thierry Henry a marqué un but de la main en faveur de l'équipe de France. Cela a donné lieu au versement, par la FIFA, de 5 millions d'euros à la « Football Association of Ireland » (FAI)^{[3],[4]}.

Ces deux exemples montrent que les bras et les mains peuvent jouer un rôle décisif dans les matchs. Vous pouvez vous appuyer sur ces exemples pour inciter vos élèves à se pencher plus avant sur le rôle de la main dans le football.

2 | 1 Le mouvement

Comme indiqué ci-dessus, la dynamique joue un rôle important dans le football. Dans un premier temps, nous nous intéresserons à l'ergonomie des mouvements des joueurs. Nous étudierons deux types de mouvements caractéristiques que le joueur coordonne pendant l'action : la course et le saut.

Toutes les observations peuvent être enregistrées facilement à l'aide d'outils tels qu'un mètre ruban et un chronomètre. Si des appareils photo numériques ou des smartphones avec fonction d'analyse vidéo sont utilisés, les résultats pourront servir de base pour la conduite d'autres investigations sur le mouvement, l'accélération, la force, l'énergie et la puissance.

Pour se déplacer plus vite et sauter plus haut, on doit s'aider de ses bras. Cela s'explique par le fait que le mouvement pendulaire des bras réduit l'amplitude de mouvement du bassin et des épaules, et compense ainsi l'accélération rotative du corps résultant du mouvement des jambes. En revanche, lorsque l'on court avec les bras près du corps ou dans le dos, la vitesse linéaire décroît.^[5] Cela apparaît lorsque l'on compare le temps nécessaire pour parcourir la même distance avec des mouvements de bras différents (voir **FIG. 1**^[6]).

FIG. 1 Différentes positions de course (distance $s = 20$ m)

	mouvement régulier temps [s]	bras en position droite temps [s]	bras derrière le dos temps [s]
Garçon	3,12	4,03	4,03
Fille	4,07	5,03	4,18

Le concept biomécanique de « puissance de démarrage » explique pourquoi on peut sauter plus haut si l'on se donne une plus grande force d'impulsion en balançant les bras. En mesurant et en comparant différentes hauteurs de sauts (bras le long du corps, derrière le dos, mouvement de balancier), les élèves peuvent étudier l'effet de mouvement pendulaire des bras (voir **FIG. 2**).

Une fois ces mesures de hauteurs effectuées, ils pourront calculer les écarts entre les différentes hauteurs. La quantité d'énergie gagnée se calcule comme suit :

$$\Delta E_{pot} = m \cdot g \cdot \Delta h.$$

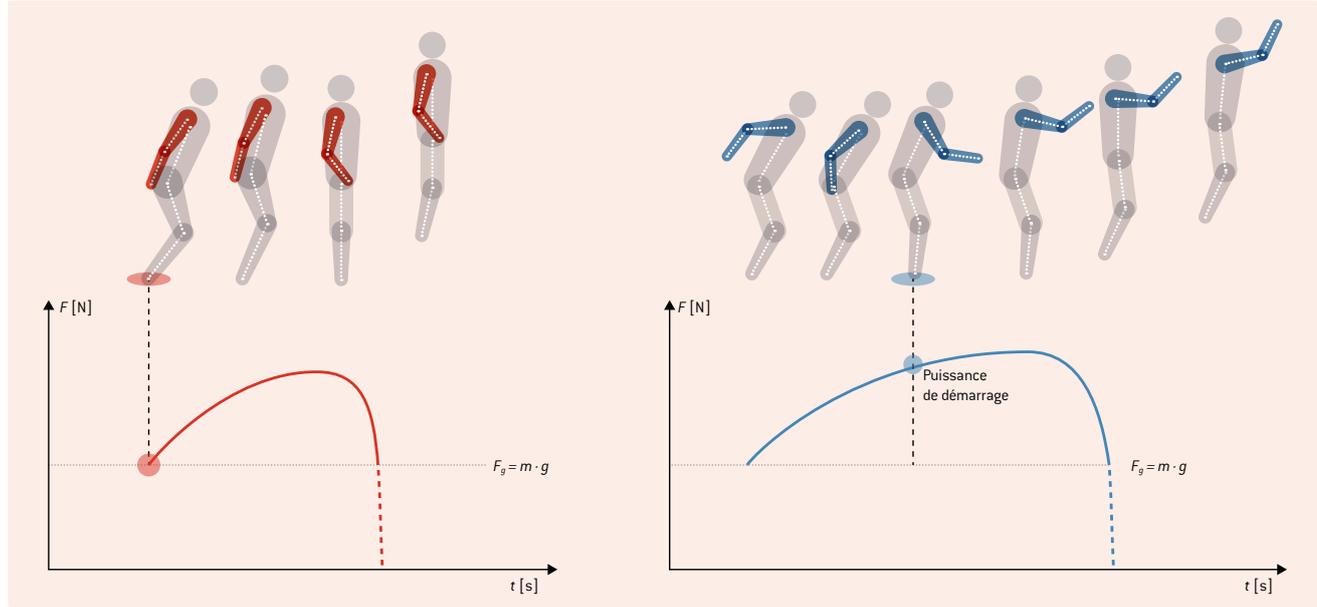
ΔE_{pot} : quantité d'énergie potentielle gagnée [J]

m : masse de l'expérimentateur [kg]

g : accélération de la pesanteur ; $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$

Δh : différence entre les hauteurs de saut [m]

FIG. 2 Forces exercées lors de chaque type de saut



En mesurant l'accélération (p. ex. à l'aide d'un smartphone muni de capteurs), les élèves pourront comparer la force maximale et déterminer le rapport entre le mouvement et le schéma d'accélération. En analysant une vidéo, ils pourront calculer la puissance moyenne des différents sauts selon la formule :

$$\bar{P} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{(m \cdot g \cdot h)}{\Delta t}$$

\bar{P} : puissance moyenne [W]

W : travail généré par l'accroissement de l'énergie potentielle [J]

m : masse de l'expérimentateur [kg]

g : accélération de la pesanteur ; $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$

h : hauteur du saut [m]

Δt : laps de temps nécessaire pour étendre les jambes [s] (du point le plus bas de la détente jusqu'au décollement des pieds du sol)

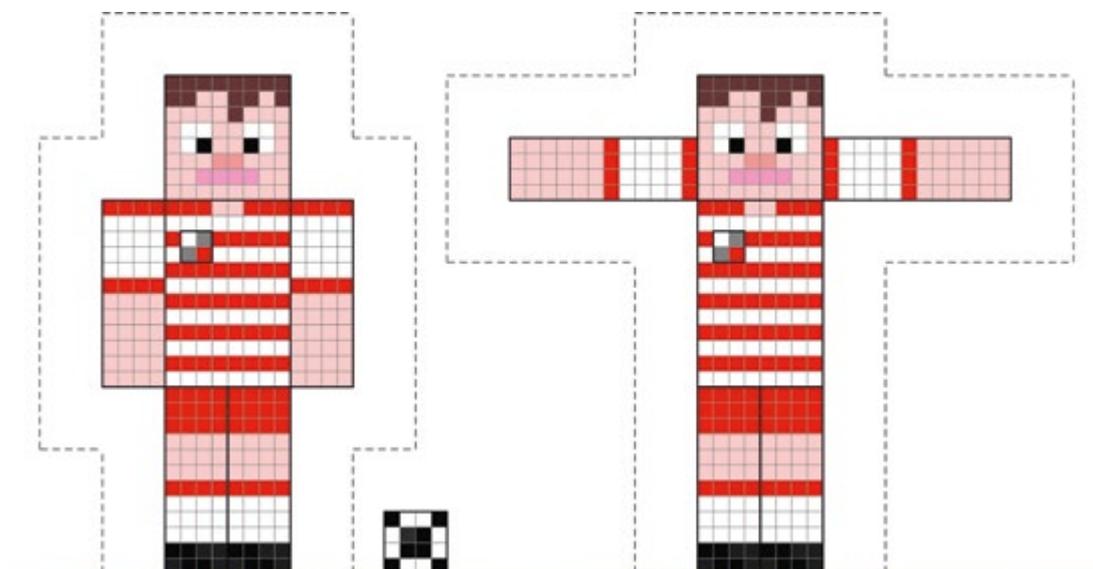
2|2 Surface de contact corporel du joueur

Les bras du joueur lui permettent d'étendre sa surface de contact corporel. Cela augmente ainsi sa capacité à empêcher une passe ou à donner l'avantage à son équipe. Le taux d'extension peut s'évaluer par des méthodes mathématiques.

Dans un premier temps, on pourra simuler la morphologie du corps humain en créant des figures Minecraft (bien connues de la plupart des élèves).^[7] Les élèves pourront représenter les joueurs comme ils le souhaitent (voir FIG. 3).

Comme la figure corporelle est composée uniquement de rectangles, il est facile de calculer la surface touchable par le ballon. Les valeurs des différentes surfaces de contact peuvent être comparées, et les différences, exprimées en pourcentage.

FIG. 3 Silhouette des joueurs – extension de 17% environ de la surface de contact



Pour une démarche plus rigoureuse, de vraies photos d'élèves pourront être analysées. Ils pourront utiliser GeoGebra^[8] pour essayer d'estimer la surface de contact de leur propre corps (voir FIG. 4). Cette méthode peut également être utilisée afin d'inciter les élèves à utiliser le calcul intégral pour développer des méthodes d'intégration numérique.

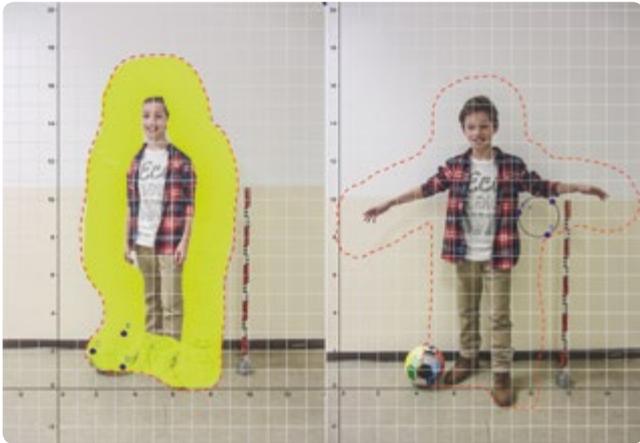


FIG. 4 Estimation de la surface de contact corporel à l'aide de GeoGebra

2 | 3 Temps de réaction

Afin d'éviter de toucher le ballon de la main, un joueur, en maintenant ses mains en position naturelle, doit réagir aux actions des autres joueurs sur le ballon et au mouvement du ballon. Cette réaction dépend de plusieurs facteurs tels que la distance entre le joueur et le ballon, la vitesse du ballon, et le temps de réaction du joueur. Le temps de réaction du joueur peut être évalué par le biais d'une expérience très facile. Il suffit de mesurer la distance parcourue par la règle qui tombe.

Cette expérience peut être réalisée par de jeunes élèves de l'école primaire, avec un tableau pour l'analyse de leurs données expérimentales (voir FIG. 9). On peut également faire cette expérience par des calculs, en utilisant les principes de la chute libre (accélération linéaire). Voir aussi le module « Boissons énergisantes », p. 30.

$$s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$t = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot h}{g}\right)}$$

t : temps de réaction [s]

h : distance parcourue [m]

g : accélération de la pesanteur ; $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

3 | TÂCHES DES ÉLÈVES

Toutes les expériences peuvent être réalisées sans matériel technique spécifique. Pour l'utilisation de la fonction d'analyse vidéo ou d'un smartphone, veuillez vous reporter au livret iStage 2^[9].

Les formules élémentaires, comme celles permettant de calculer la surface d'un rectangle ou d'exprimer un résultat en pourcentage ne seront pas expliquées à ce stade.

3 | 1 Le mouvement

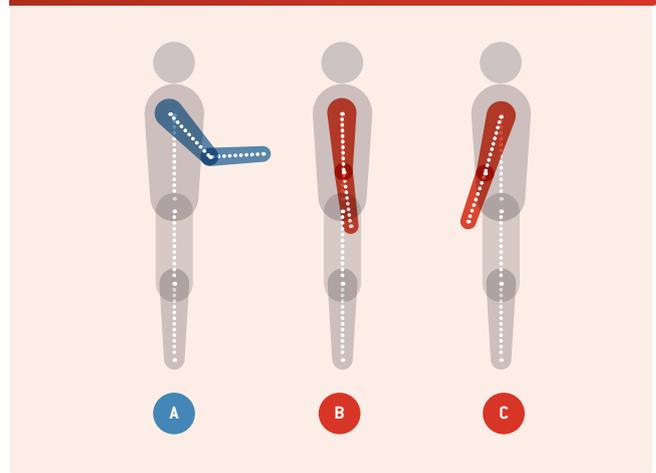
3 | 1 | 1 Comment courir vite

Matériel nécessaire : mètre ruban, chronomètres, outils de marquage

Pour une analyse plus détaillée, vous aurez besoin du matériel suivant : une caméra numérique ou un smartphone, un logiciel d'analyse vidéo (p. ex. Tracker^[10])

- Délimitez une piste de course (longueur : 15 – 20 m), avec des lignes de départ et d'arrivée bien visibles. Placez le point de départ à une courte distance (environ 5 m) et en amont de la ligne de départ.
- Enregistrez les temps nécessaires pour que les coureurs parcourent la distance en maintenant leurs mains et bras dans les positions suivantes : A) mouvement régulier (normal), B) bras tendus le long du corps, C) bras derrière le dos (voir FIG. 5). Les coureurs doivent prendre un départ lancé.

FIG. 5 Différentes positions des bras et mains



- Recommencez le mesurage des différentes positions de course trois fois pour chaque (par élève). Pour obtenir plus de données, on pourra faire courir deux ou trois élèves simultanément.
- Analysez et comparez les temps mesurés (une fois le temps moyen pour chaque type de position de course calculé). Courez-vous plus vite lorsque vos mains sont en position normale (comme dans la FIG. 1) ?

Activités supplémentaires :

- Enregistrez des vidéos des parcours avec les différentes positions. Vous pouvez utiliser le chronocode de votre système vidéo pour mesurer la durée de la course.
- Utilisez une caméra fixe pour réaliser des vidéos exploitables avec un logiciel d'analyse vidéo. Le logiciel calcule automatiquement la vitesse et l'accélération enregistrées dans la vidéo.
- Évaluer la perte d'énergie dans le cas où vous courez sans mouvoir vos mains (mouvements B et C). Calculez la vitesse moyenne et l'énergie cinétique pour les trois types de mouvements selon la formule :

$$E_{cin} = \frac{1}{2} m \cdot \bar{v}^2.$$

E_{cin} : énergie cinétique [J]

m : masse de l'expérimentateur [kg]

\bar{v} : vitesse moyenne [$\frac{m}{s}$]

- Analysez d'autres types d'actions pour les trois positions de mains caractéristiques du football, p. ex. le changement de direction ou l'amorce du mouvement.

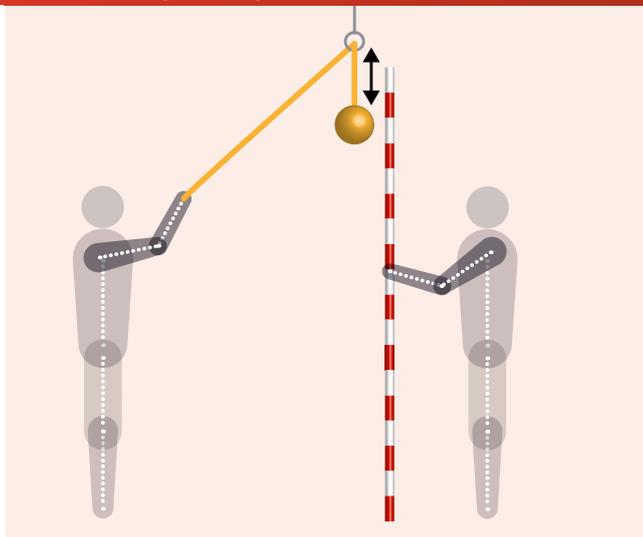
3 | 1 | 2 **Comment sauter haut**

Matériel nécessaire : ficelle (ou corde), une balle molle (ou tout autre objet que l'on peut frapper de la tête), un instrument de mesure

Pour une analyse plus détaillée, vous aurez besoin du matériel suivant : une caméra numérique ou un smartphone, un logiciel d'analyse vidéo (p. ex. Tracker^[10])

- Construisez un pendule simple (ficelle, balle molle) (voir FIG. 6). Vous devez pouvoir régler facilement la hauteur du pendule.
- Mesurez les hauteurs de sauts lorsque les bras se trouvent dans les positions suivantes : A) bras tendus le long du corps, B) bras derrière le dos C) balancement des bras (position normale). Ajustez la hauteur de la balle molle de sorte que l'élève ne puisse pas toucher la balle de la tête lorsqu'il est debout, en dessous.

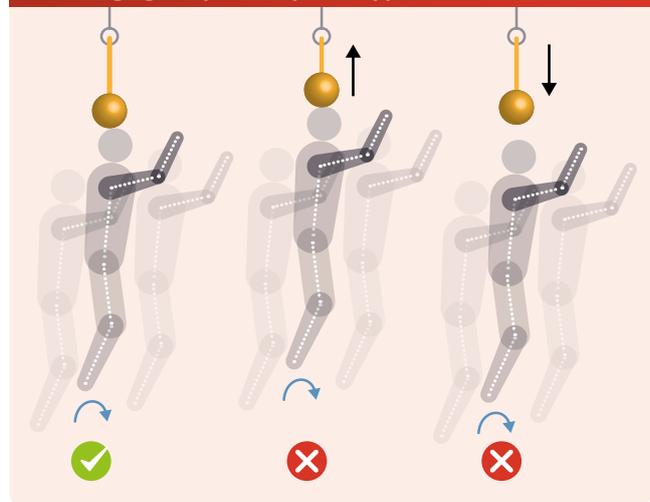
FIG. 6 Mise en place du pendule



B) bras derrière le dos C) balancement des bras (position normale). Ajustez la hauteur de la balle molle de sorte que l'élève ne puisse pas toucher la balle de la tête lorsqu'il est debout, en dessous.

1. Placez-vous debout juste en dessous de la balle.
2. Sautez et essayez de frapper la balle de la tête.
3. Si vous pouvez presque toucher la balle de la tête, mesurez la distance entre l'extrémité inférieure de la balle et le sol. Si vous avez touché la balle, suspendez le pendule plus haut et recommencez le saut. Si vous ne pouvez pas atteindre le pendule, abaissez-le et recommencez le saut (voir FIG. 7).

FIG. 7 Réglage du pendule pour frappe de la tête



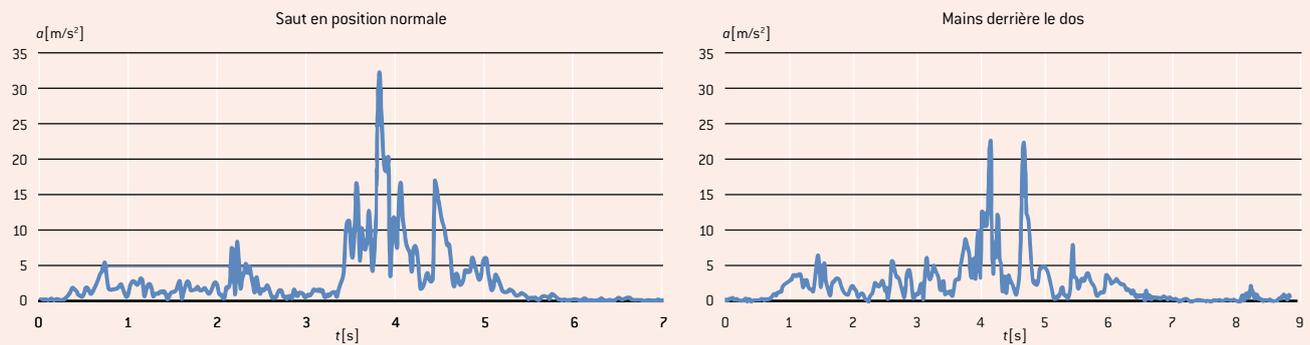
Avant de sauter, mettez-vous en position accroupie. Pour chaque saut, mettez-vous dans la même position de départ.

- Analysez et comparez les hauteurs mesurées pour chaque saut. Pouvez-vous sauter plus haut en balançant et en levant vos bras ?^[6]

Activités supplémentaires :

- Mesurez votre taille corporelle (lorsque vous êtes sur la pointe des pieds). Calculez l'énergie produite par votre corps pendant le saut, au moyen de la formule indiquée au chapitre 2.1 *Le mouvement*.
- Utilisez une caméra fixe pour réaliser des vidéos exploitables avec un logiciel d'analyse vidéo. Ainsi, vous n'aurez pas besoin d'un pendule. Pensez à intégrer une échelle dans votre vidéo, afin de pouvoir déterminer les hauteurs. Vous pouvez également évaluer approximativement la durée du saut (basin au niveau le plus bas, bout des orteils quittant le sol). Vous pourrez ainsi calculer la puissance produite par votre corps lors d'un saut, selon la formule indiquée au chapitre 2.1 *Le mouvement*.
- Utilisez le capteur d'accélération de votre smartphone. Attachez-le près de votre épaule^[6] afin d'enregistrer la plus forte accélération induite par le mouvement de vos bras (voir FIG. 8).

FIG. 8 Accélération de saut enregistrée par le mesureur accélérométrique^[11], une application de smartphone



Vous pouvez également laisser votre smartphone dans votre poche de pantalon pour enregistrer l'accélération totale de votre centre de gravité. Quels résultats pensez-vous obtenir ?

- Analysez le spectre d'accélération de votre saut. Essayez d'identifier les diverses positions qui composent votre saut.

3 | 2 Surface de contact corporel du joueur

Matériel nécessaire : papier graphique, crayon de papier, règle

Pour une analyse plus détaillée, vous aurez besoin du matériel suivant : une caméra numérique ou un smartphone, le logiciel GeoGebra^[8]

- Dessinez la figure d'un joueur à l'aide de Minecraft. (Vous pouvez également utiliser un éditeur tel que Nova skin^[7].) Dessinez un second joueur, avec ses bras tendus horizontalement. Ajoutez un ballon dans chacun de vos dessins et délimitez la surface dans laquelle le ballon peut toucher le joueur (voir FIG. 3).
- Calculez la grandeur de la surface. Quel joueur présente la plus grande surface de contact avec le ballon ? Comparez les deux surfaces et exprimer la différence en pourcentage.

Activités supplémentaires :

- Prenez des photos de vous-même, avec vos mains près du corps, puis en les laissant dans leur position naturelle. Essayez d'imiter certains des mouvements caractéristiques des joueurs de football. N'oubliez pas d'intégrer une échelle et un ballon dans votre photo.
- Importez ces photos dans GeoGebra et essayez d'estimer le pourcentage de surface du corps pouvant être touchée par le ballon. Ajoutez un cercle (ballon), puis sélectionnez *Afficher la trace* dans le menu contextuel. Une fois le corps dessiné, ajoutez un contour à l'aide du *Stylet* (voir FIG. 4). Testez différentes méthodes de calcul de la surface de contact. Comment optimiser votre/vos méthode-s ?

3 | 3 Temps de réaction

Matériel nécessaire : règle (30 cm)

Pour une analyse plus détaillée, vous aurez besoin du matériel suivant : une caméra numérique ou un smartphone

- La classe doit être divisée en groupes de deux. Un élève de chaque groupe tient la règle, tandis que l'autre tient son doigt près de la graduation 0 cm.
- L'élève qui tient la règle la laisse tomber, et l'autre essaie de l'attraper au vol aussi vite que possible. Mesurez la distance que la règle a parcouru.
- Vous pourrez alors déterminer votre temps de réaction en comparant cette distance avec celle de la figure FIG. 9.

FIG. 9 Temps de réaction

<i>h</i>	<i>t</i>	<i>h</i>	<i>t</i>	<i>h</i>	<i>t</i>
[cm]	[s]	[cm]	[s]	[cm]	[s]
1	0,045	11	0,150	21	0,207
2	0,064	12	0,156	22	0,212
3	0,078	13	0,163	23	0,217
4	0,090	14	0,169	24	0,221
5	0,101	15	0,175	25	0,226
6	0,111	16	0,181	26	0,230
7	0,119	17	0,186	27	0,235
8	0,128	18	0,192	28	0,239
9	0,135	19	0,197	29	0,243
10	0,143	20	0,202	30	0,247

Activités supplémentaires :

- Calculez votre temps de réaction à l'aide de la formule indiquée au chapitre 2.3 *Temps de réaction*.
- Préparez un tableau pour les plus jeunes élèves, pour les aider à déterminer leur temps de réaction à travers cette expérience.
- Élaborez une expérience pour mesurer le temps de réaction à l'aide des médias numériques.

4 | CONCLUSION

Ce module montre que l'utilisation des mains et des bras (même si l'on ne touche pas la balle de la main) joue un rôle essentiel pour optimiser les performances des joueurs lors des matchs. En même temps, cela augmente la probabilité pour qu'un joueur commette une faute.

À notre connaissance, notre étude consacrée aux divers aspects du toucher du ballon de la main au football est la toute première en la matière. En conséquence, elle n'offre que quelques idées d'approche du sujet.

On pourra peut-être également aborder d'autres thèmes importants tels que :

- La défense (p. ex. le coup franc) : Les joueurs ne sont pas autorisés à utiliser leurs mains pour protéger leurs corps (p. ex. leur visage) contre les tirs. Les élèves calculent la force de la balle lorsqu'elle frappe le corps d'un joueur.
- Temps de réaction et mouvements des bras : Comment ramener vos bras près de votre corps le plus vite possible ? Les élèves mesurent le laps de temps nécessaire pour ramener les bras tendus près du corps, ainsi que la trajectoire correspondante.
- Toucher le ballon de la main du point de vue du gardien de but : Comment mouvoir/étendre vos bras efficacement pour empêcher un but ?

5 | POSSIBILITÉS DE COLLABORATION

Pour partager vos résultats et idées,

- téléchargez vos données de résultats/fichiers sur un site web/une plateforme en ligne. Les autres élèves pourront ainsi utiliser les données téléchargées. ^[6]
- jouez au football avec vos amis et parlez-leur de iStage 3.

RÉFÉRENCES

- ^[1] FIFA : Laws of the Game 2015/2016
www.fifa.com/mm/Document/FootballDevelopment/Refereeing/02/36/01/11/LawsofthegamewebEN_Neutral.pdf
 (p. 121)
- ^[2] Argentina vs. England (1986 FIFA World Cup)
https://en.wikipedia.org/wiki/Argentina_v_England_%281986_FIFA_World_Cup%29 (08/03/2016)
- ^[3] 2009 Republic of Ireland vs. France football matches
https://en.wikipedia.org/wiki/2009_Republic_of_Ireland_v_France_football_matches (08/03/2016)
- ^[4] Eamon Dunphy : The FIFA payment to the FAI was like something from The Sopranos
www.independent.ie/sport/soccer/international-soccer/eamon-dunphy-the-fifa-payment-to-the-fai-was-like-something-from-the-sopranos-31279282.html; published 04/06/2015
- ^[5] Christopher J. Arellano, Rodger Kram : "The metabolic cost of human running: Is swinging the arms worth it?"
<http://jeb.biologists.org/content/217/14/2456.abstract>

^[6] Le site www.science-on-stage.de/iStage3_materials vous propose des vidéos correspondant à ces activités et des suggestions pour partager vos résultats.

^[7] <http://minecraft.novaskin.me/>

^[8] www.geogebra.org

^[9] iStage 2 – Les smartphones dans l'enseignement des sciences ;

www.science-on-stage.de/iStage2_publication_EN

^[10] www.physlets.org/tracker

^[11] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.lul.accelerometer> (27/04/2016)

BALLON

Penchons-nous maintenant sur l'élément le plus important du football : le ballon ! Le ballon est l'élément clé du jeu. Si vous savez manier (ou plus exactement, « manoeuvrer du pied ») cet objet apparemment simple, vous aurez de fortes chances de gagner le match. Les sciences peuvent nous enseigner beaucoup de choses sur ce simple corps sphérique. Est-ce une sphère parfaite ? Est-ce un solide ? Nous devons naturellement faire quelques approximations, une fois celles-ci établies, nous pourrons faire de nombreuses déductions en nous appuyant sur nos connaissances générales.

Nos participants ont élaboré trois modules d'enseignement, qui éclairent chacun un aspect physique spécifique du ballon.

Avant un match, il est nécessaire de gonfler d'air le ballon. Dans le cadre du module « Sous pression », les élèves apprendront que l'air a une masse et que cette masse peut être mesurée à l'aide d'un appareil ménager très simple. En outre, la quantité d'air présente à l'intérieur du ballon modifie la pression, qui a son tour influe sur sa capacité à rebondir. La pression qui s'exerce à l'intérieur du ballon modifie le coefficient de restitution, c'est-à-dire son élasticité au rebondissement. Ces principes peuvent se comprendre si l'on considère que l'air est un gaz parfait composé de vingt pour cent d'oxygène et de quatre-vingts pour cent de nitrogène. Les propriétés des gaz sont donc utiles !

Notre prochain module « Cauchemar de goal » nous emmènera au coeur du jeu. Le gardien de but espère secrètement que le ballon ne touche pas le sol, car il sait que la direction et la vitesse du ballon rebondissant peuvent changer considérablement lorsque qu'il touche le sol. Les lois de la mécanique peuvent nous aider à comprendre ces phénomènes. C'est en observant un ballon tournoyant qui rebondit sur le sol que les élèves comprendront comment la transformation de l'énergie cinétique rotationnelle peut générer des effets curieux par lesquels la vitesse du ballon augmente considérablement du simple fait de son rebondissement sur le sol. Le changement de direction du ballon s'explique également par les lois de la mécanique classique.

Pour modifier sa trajectoire, cette sphère apparemment simple n'a même pas besoin de toucher le sol. L'interaction du ballon avec l'air est suffisante pour permettre à un joueur de réaliser un tir dévié. Le module « Un ballon qui a la banane » a trait à l'aérodynamique du ballon. Comme l'ont montré les travaux de Daniel Bernoulli, plus le déplacement de l'air est rapide, plus la pression diminue. Par frottement, la balle tournoyante modifie la vitesse de l'air sur l'un de ses côtés, opposé à l'autre. La différence de pression qui en découle peut modifier la trajectoire du ballon ; ce



phénomène singulier est appelé « force Magnus ». En fait, ce phénomène peut être difficile à comprendre dans ses détails, et les fabricants de ballons de football consacrent d'ailleurs beaucoup de temps et de travail à la conception de ballons aérodynamiques, capables de générer une résistance de l'air qui croît avec la vitesse. Cependant, nos participants ont développé un module qui rend ce sujet difficile accessible aux élèves du cycle secondaire, en s'appuyant sur des expériences pratiques et des simulations.

Ces trois modules montrent de manière très convaincante que la physique enseignée à l'école permet d'expliquer les phénomènes physiques liés au ballon, qui constitue l'un des objets les plus significatifs de la réalité quotidienne des élèves. Ils sont l'aboutissement d'un travail remarquable réalisé par quelques-uns des meilleurs professeurs de physique de l'Europe.

DR JÖRG GUTSCHANK

Leibniz Gymnasium | Dortmund International School
Président de Science on Stage Allemagne
Coordinateur principal

KIRSTEN BIEDERMANN · ANDERS FLORÉN · PHILIPPE JEANJACQUOT · DIONYSIS KONSTANTINOU · CORINA TOMA

SOUS PRESSION



 Ballon, masse, équilibrage, pompe, pression, gaz parfait, collision élastique, coefficient de restitution

 Physique, mathématiques, TIC

 Ce module est adapté à différents niveaux scolaires allant de l'école primaire au collège / lycée. Les deux sections qui le composent sont adaptables à différents niveaux :

- niveau 1 : Enseignement primaire (âge : 9 – 12 ans)
- niveau 2 : Enseignement secondaire (niveau collège, âge : 12 – 15 ans)
- niveau 3 : Pour l'enseignement secondaire (niveau lycée, âge : 15 – 18 ans)

1 | SYNOPSIS

Vous êtes-vous déjà demandé quel est le rôle de la pression d'air à l'intérieur d'un ballon de football ? Ce module présente différentes activités centrées sur ce thème. La première commence avec la mesure de la masse d'air présente à l'intérieur du ballon, et montre qu'elle est directement proportionnelle avec la pression interne. La deuxième activité montre que la hauteur maximale atteinte par le ballon après le premier choc ou le premier rebond dépend de la pression d'air interne, et souligne l'importance de l'état du sol.

2 | INTRODUCTION THÉORIQUE

Notre objectif est de montrer, par le biais d'expériences simples, que les élèves sont capables de mesurer la masse d'air présente à l'intérieur du ballon, puis de vérifier la dépendance linéaire entre la pression et la masse selon la loi du gaz parfait. Enfin, ils verront le rôle de la pression dans le rebond, et appliqueront le principe de la conservation de l'énergie mécanique.

2 | 1 Partie 1 : Masse d'air et pression

Voir le détail des activités de la partie 3 *Tâches des élèves*.

Niveau 1 :

On pourra mettre en oeuvre deux activités différentes et indépendantes. La première est centrée sur la notion de masse d'air et sur la méthode de mesure de la masse d'air présente à l'intérieur d'un ballon. Le professeur pourra employer une approche d'investigation, en posant la question suivante : « comment peut-on déterminer la masse d'air présente à l'intérieur d'un ballon ? ». Les élèves proposeront et effectueront des expériences comme l'utilisation d'une balance, le gonflage du ballon et la mesure de la masse du ballon gonflé. Pour la seconde activité, ils se concentreront sur le volume et sur les méthodes de calcul du volume intérieur du ballon (p. ex. au moyen d'un seau d'eau).

Niveau 2 :

Mesurer la masse d'air enfermée dans le ballon dans des conditions de pression différentes. Trouver la relation entre la pression et la masse d'air (on pose que le volume intérieur du ballon ne change pas lorsque la pression augmente). Les élèves pourront dessiner un graphique représentant la masse de gaz en fonction de la pression. Ils pourront également mesurer le volume intérieur

du ballon. Cette expérience permet aussi de découvrir le phénomène de poussée du ballon (dans l'air).

Niveau 3 :

Pour ce niveau, les élèves pourront faire les mêmes expériences que ceux du niveau 2. Ils compareront leur schéma de la dépendance entre la masse d'air et la pression d'air à l'intérieur du ballon avec la loi du gaz parfait, et ils calculeront les différentes valeurs de gaz à partir de la courbe obtenue.

2 | 2 Partie 2 : Hauteur de rebond par rapport à la pression

Niveau 1 :

Concentrez-vous sur les différences entre hauteurs de rebond (du point de vue des propriétés) : Laissez tomber deux ballons de la même hauteur et notez l'effet direct des différentes pressions exercées à l'intérieur du ballon. Choisissez un protocole, sélectionnez le type de données à collecter, recueillez les données, puis discutez-en une fois l'expérience terminée.

Niveau 2 :

Concentrez-vous sur les différences entre hauteurs de rebond (du point de vue des propriétés) : Mesurez la hauteur maximum atteinte après le premier rebond, puis répétez l'expérience dix fois, en cherchant une méthode pour déterminer la hauteur, par exemple en utilisant un smartphone pour faire un film de haute sensibilité pour faire un film. Découvrir les facteurs aléatoires et autres facteurs qui expliquent les résultats variables, puis calculer la hauteur moyenne.

Niveau 3 :

Privilégier l'utilisation du modèle mathématique de chute libre pour analyser les données. En commençant par le niveau 2, analysez les données afin de déterminer la perte d'énergie, en utilisant la formule $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$, et en comparant l'énergie produite au début de l'expérience ($h = 1$ m ou une autre valeur) avec celle produite après le premier contact du ballon avec le sol. Les élèves peuvent aussi calculer la durée d'un rebond et la vitesse maximum du premier contact du ballon avec le sol, et le mesurer. Enfin, ils pourront comparer les valeurs d'énergie potentielle et d'énergie cinétique (E_{pot} et E_{cin}), et calculer le coefficient de restitution (voir 3.2.1).

E_{pot} : énergie potentielle [J]

m : masse du ballon [g]

g : accélération de la pesanteur ; $g = 9,81 \frac{m}{s^2} = 9,81 \frac{N}{kg}$

h : hauteur atteinte par le ballon [m]

La partie 2 peut être réalisée sur différentes surfaces : herbe, sol de gymnase, asphalte, béton, pelouse mouillée, pelouse avec différentes hauteurs d'herbe, et sable. Les élèves de tous niveaux émettront leurs hypothèses, en discuteront, et analyseront leurs expériences sous des angles différents. Pour approfondir, on pourra faire un tableau indiquant la pression nécessaire pour obtenir la même hauteur de rebond sur différentes surfaces, par exemple dans différents stades.

3 | TÂCHES DES ÉLÈVES

Ce module est divisé en deux parties : calcul de la masse de gaz par rapport à la pression à l'intérieur du ballon, et calcul du rapport entre la hauteur du rebond et la pression à l'intérieur du ballon.

Il existe deux méthodes de calcul de la pression.

La pression relative est la différence entre la pression à l'intérieur du ballon et la pression atmosphérique (à l'extérieur du ballon) ; on mesure la pression relative à l'aide d'un manomètre. C'est cette valeur qui est utilisée dans la partie 1.

La pression absolue correspond à la pression totale. C'est cette valeur qui est utilisée dans la partie 2.

3 | 1 Partie 1 : Calculer la masse de gaz par rapport à la pression

Matériel nécessaire : une pompe, un manomètre (appareil de mesure de la pression), une balance (avec une précision de 0,1 g et une capacité de 1000 g), un embout pour gonfler le ballon, un verre pour placer le ballon sur la balance, un ballon de football.

Si l'école ne possède pas l'équipement, on peut utiliser du matériel bon marché.

(Une pompe avec manomètre intégré est le moyen le plus pratique. À défaut, on peut trouver facilement un manomètre bon marché pour pneus de voiture ; l'embout est le même que celui utilisé pour un ballon).

3 | 1 | 1 Procédure

Les différentes étapes de la procédure proposée sont données ci-après. Certains éléments peuvent être omis s'ils ne sont pas adaptés au niveau de votre groupe d'élèves.



FIG. 1 Ballon à l'intérieur du seau



FIG. 2 Mesure du niveau d'eau pour obtenir le volume d'eau

▪ Calculer le volume du ballon (avec de l'air et sans air à l'intérieur)

Pour calculer le volume du ballon, vous pouvez utiliser un seau rempli d'eau et mesurer les différents niveaux d'eau avec et sans le ballon. La couche externe du ballon étant en cuir, il faut veiller à ce qu'il n'absorbe pas d'eau, car cela pourrait augmenter sa masse. Pour contourner ce problème, on peut mettre le ballon dans un sac en plastique. La pression de l'eau autour du ballon maintiendra le sac collé contre le ballon. Le volume restera le même avec ou sans sac.

Si vous mesurez sans le sac, faites-le après la mesure de la masse.

Le volume peut être mesuré avec différents niveaux d'eau dans le seau. Si les élèves ne peuvent pas calculer le volume d'eau du seau, ils peuvent le remplir complètement, pousser le ballon dedans et mesurer le volume d'eau qui déborde.

Dans ce cas, le volume du ballon vide est de 1,65 l et le volume du ballon plein est de 5 l. Cela veut dire que la ballon contient $5 \text{ l} - 1,65 \text{ l} = 3,35 \text{ l}$ d'air.



FIG. 3 Ballon sur la balance



FIG. 4 Mesure de la masse du ballon vide d'air

■ Mesurer la masse du ballon rempli d'air

Mettez le verre sur la balance, tarez la balance, mettez le ballon sur la balance et mesurez sa masse.

Lors de cette expérience, nous utiliserons une balance ayant une précision de 0,1 g (et une capacité de 1000 g), un ballon de football et une pompe munie d'un manomètre.

■ Mesurer la masse du ballon vide d'air

(par exemple, $m_{\text{ballon}} = 408,0 \text{ g}$)

■ Gonfler le ballon pour maintenir la même pression à l'intérieur et à l'extérieur du ballon

La pression relative, ou la différence entre la pression extérieure et la pression intérieure du ballon, est de $P = 0 \text{ bar}$.

Mesurer la masse du ballon : $m_{\text{ballon}} = 408,0 \text{ g}$ (la même masse que ci-dessus).

3 | 1 | 2 Analyse : Pourquoi la masse du ballon est-elle la même avec ou sans air à l'intérieur ?

- **Indice** : L'air environnant est un fluide et il génère une force qui possède les mêmes propriétés que la force produite par l'immersion d'un objet dans l'eau.
- **Réponse** : La masse d'air à l'intérieur du ballon est contrebalancée par la poussée d'air qui s'exerce autour du ballon.
- Mesurez la masse du même ballon dans des conditions de pression différentes. Le manomètre indique la pression relative.
- Saisissez les données dans une feuille de calcul. Par exemple, vous pouvez mesurer le poids correspondant à la pression relative $P = 0,35 \text{ bar}$;
 $P = 0,5 \text{ bar}$; $P = 0,6 \text{ bar}$; $P = 0,75 \text{ bar}$; $P = 0,9 \text{ bar}$; $P = 1,05 \text{ bar}$, ou spécifiez d'autres valeurs de pression.
- Représentez la courbe m en fonction de P .
- Déterminez le modèle le plus adéquat pour la courbe (c'est une fonction linéaire).
- Montrez la relation entre l'inclinaison de la droite et la loi des gaz parfaits : $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$

Pour aider les élèves à comprendre la loi des gaz parfaits, le professeur pourra donner quelques indices.

- **Premier indice** : La courbe linéaire est définie par la formule

$$m_{\text{total}} = a \cdot P + m_{\text{ballon}}$$

$$\text{ou } m_{\text{total}} = m_{\text{gaz}} + m_{\text{ballon}}$$

Cela veut dire que : $m_{\text{gaz}} = a \cdot P$.

- **Second indice** : $n_{\text{gaz}} = \frac{m_{\text{gaz}}}{M_{\text{gaz}}}$.

m : masse [g]

P : pression relative [Pa]

a : coefficient de pente de la courbe [$\frac{\text{g}}{\text{bar}}$]

V : volume [m^3]

n : quantité de matière [mol]

M : masse molaire [$\frac{\text{g}}{\text{mol}}$]

R : constante des gaz parfaits, $R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$

T : température [K]

- **Troisième indice** : Le gaz (l'air) est composé d'environ 20% d'oxygène et de 80% de nitrogène.

$$M_{O_2} = 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{ et } M_{N_2} = 28 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

3 | 2 Partie 2 : Mesurer la hauteur du rebond par rapport à la pression

3 | 2 | 1 Théorie

Vous êtes-vous déjà demandé quel est le rôle de la pression d'air à l'intérieur d'un ballon ? Nous montrerons que le coefficient de restitution e (l'élasticité) dépend de cette pression.

Qu'est-ce que le coefficient de restitution ? Lorsqu'un ballon tombe, il atterrit à une certaine vitesse sur le sol, appelée « vitesse d'approche ». Après la collision élastique avec le sol, la vitesse de séparation aura une valeur différente de la vitesse d'approche, car une partie de l'énergie cinétique sera perdue :

$$e = \frac{v_{\text{séparation}}}{v_{\text{approche}}}$$

Il est très facile de calculer ce coefficient si vous mesurez la hauteur initiale h_1 de laquelle tombe le ballon, puis de mesurer la hauteur maximum h_2 atteignable après que le ballon a rebondi sur le sol.

Nous utilisons le principe de la conservation de l'énergie :

$$mgh_1 = \frac{mv_{\text{approche}}^2}{2} \quad mgh_2 = \frac{mv_{\text{séparation}}^2}{2}$$

$$\text{Donc : } e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

e : coefficient de restitution

v : vitesse [$\frac{\text{m}}{\text{s}}$]

m : masse [g]

g : accélération de la pesanteur ; $g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$

h : hauteur [m]

3 | 2 | 2 **L'expérience**

On laisse le ballon tomber d'une certaine hauteur (h_1), puis on note la hauteur (h_2) du rebond sur le sol. On peut enregistrer ces mesures de hauteur à l'aide de la vidéo.



FIG. 5 Tenir le ballon à une hauteur h_1 (gauche) ; laisser tomber le ballon (droite)

Cette expérience peut être réalisée à l'aide de différentes sortes de ballons et de différents types de surfaces [1].

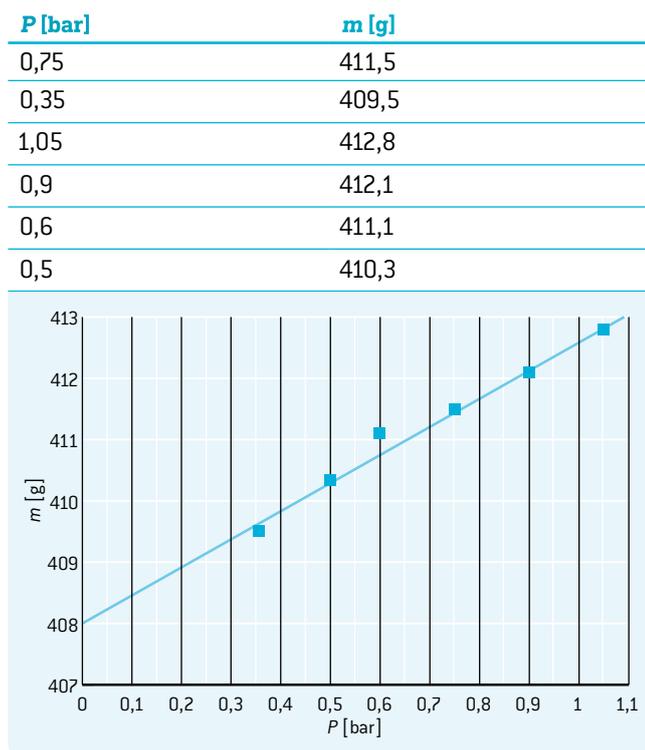
4 | **CONCLUSION**

4 | 1 **Partie 1 : Mesurer la masse de gaz par rapport à la pression**

4 | 1 | 1 **Exemple de mesure de la masse par rapport à la pression exercée sur le ballon**

La masse du ballon est $m_{ballon} = 408,0$ g, avec $P = 0$ bar.
Le volume d'air à l'intérieur du ballon est $V = 3,35$ L.

FIG. 6 m [g] par rapport à P [bar] (pression relative)



4 | 1 | 2 **Exemple de calcul basé sur la loi des gaz parfaits :**

Ici, la courbe est exprimée par l'équation
 $m = 4,5711 \frac{\text{g}}{\text{bar}} \cdot P + 408,0$ g.

On constate que la masse du ballon vide d'air est de 408 grammes

ou, $m_{total} = a \cdot P + m_{ballon}$.

m : masse totale [g]

P : pression [bar]

a : coefficient de pente de la courbe [$\frac{\text{g}}{\text{bar}}$]

Dans ce cas $a = 4,5711 \frac{\text{g}}{\text{bar}}$.

La valeur de a peut être déterminée à l'aide de l'équation des gaz parfaits : $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$.

P : pression [Pa], 1 bar = 10^5 Pa

V : volume [m^3]

n : quantité de gaz [mol]

R : constante des gaz parfaits, $R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$

T : température [K]

M : masse molaire [$\frac{\text{g}}{\text{mol}}$]

Cela veut dire que $n_{gaz} = \frac{P \cdot V}{R \cdot T}$ et $m_{gaz} = M_{gaz} \cdot \frac{P \cdot V}{R \cdot T}$

ou que $m_{gaz} = \frac{M_{gaz} \cdot V}{R \cdot T} \cdot P$,

et nous avons déjà vu au chapitre 3.2.1 que $m_{gaz} = a \cdot P$,

donc $a = \frac{M_{gaz} \cdot V}{R \cdot T}$.

L'air est composé de 20 % d'oxygène environ et de 80 % de nitrogène, donc ici,

$$M_{gaz} = \frac{20 \cdot M_{O_2} + 80 \cdot M_{N_2}}{100}$$

$$M_{gaz} = \frac{20 \cdot 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 80 \cdot 28 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{100}$$

$$M_{gaz} = 28,8 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Dans le cas de ce ballon

$$V = 3,35 \text{ L} = 3,35 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$T = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$$

$$a = \frac{M_{gaz} \cdot V}{R \cdot T}$$

$$a = \frac{28,8 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 3,35 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{8,31 \frac{\text{J}}{\text{K mol}} \cdot 293 \text{ K}} = 3,96 \cdot 10^{-5} \frac{\text{g}}{\text{Pa}}$$

Il s'agit de la valeur P exprimée en Pa. Pour exprimer P en bars, sa valeur doit être multipliée par 10^5 (car 1 bar = 10^5 Pa).

$$a = 3,96 \frac{\text{g}}{\text{bar}}$$

La meilleure expression mathématique de la courbe est

$$a = 4,57 \frac{\text{g}}{\text{bar}}$$

Si nous comparons les deux résultats, l'écart relatif entre les deux valeurs est :

$$d = \frac{4,57 - 3,96}{4,57} = 0,13.$$

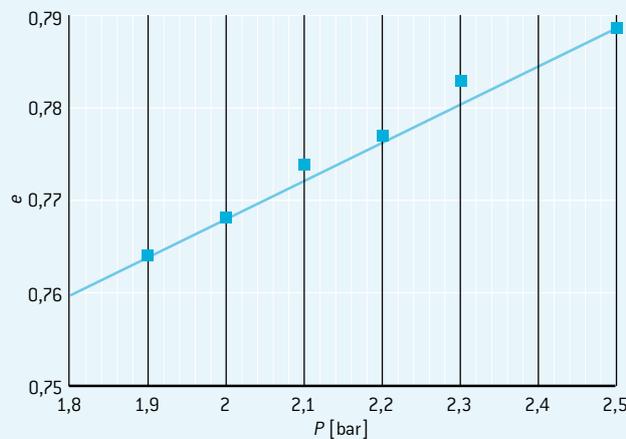
On pourra discuter des éventuelles erreurs liées à la mesure : Ici, la précision du manomètre est de 0,05 bar par mesure d'environ 1 bar. Il peut rester de l'air à l'intérieur du ballon lorsque l'on mesure le volume du ballon vide.

4 | 2 Partie 2 : Mesurer le rebond par rapport à la pression

Pour notre expérience, nous avons changé la pression de l'air à l'intérieur de deux ballons différents, and nous avons obtenu les résultats suivants :

FIG. 7 Coefficient de restitution e par rapport à la pression absolue P (Ballon 1)

P [bar]	e
1,9	0,764
2,0	0,768
2,1	0,774
2,2	0,777
2,3	0,783
2,5	0,789



Ici, P correspond à la pression absolue exprimée en bars.

Pour le premier ballon, la dépendance est linéaire, car la variation de pression n'est pas tellement importante.

Pour le second, nous avons obtenu une courbe. Lorsque la pression est trop importante, le ballon perd son élasticité et le coefficient de restitution ne dépasse pas une certaine limite.

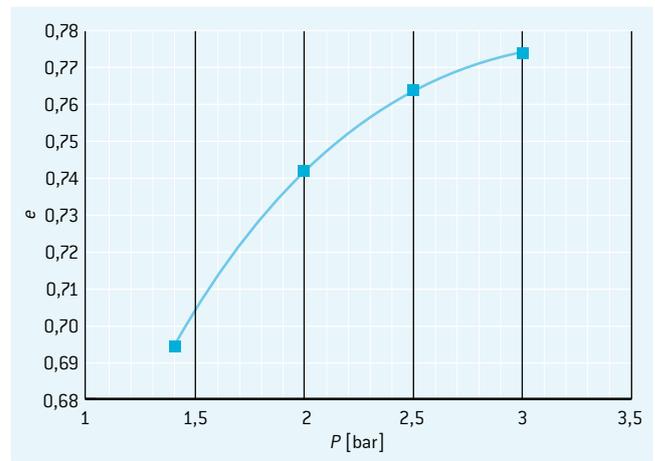
Lors de ces deux expériences, le ballon a été lancé sur un plancher, et l'on a constaté un coefficient de restitution d'environ 0,77 pour une pression de 3 bar.

Ensuite, nous avons modifié la surface du terrain, mais en maintenant la pression d'air à l'intérieur du ballon à 3 bar. Sur du gazon,

le coefficient de restitution était inférieur : $e = 0,57$. Sur du gazon synthétique, le coefficient est passé à 0,74^[1].

FIG. 8 Coefficient de restitution e par rapport à la pression absolue P (Ballon 2)

P [bar]	e
1,4	0,695
2,0	0,742
2,5	0,764
3,0	0,774



5 | CONCLUSION

Les ballons de football sont d'excellents supports pour étudier les lois des gaz, les caractéristiques de la pression et l'efficacité des rebonds. Les élèves peuvent étudier les lois de la physique au moyen d'un ballon de football, simple élément d'équipement sportif. Ils peuvent ainsi associer les lois de la physique, en l'occurrence la loi des gaz parfaits, avec les activités de leur vie quotidienne.

Il faut également noter que les activités de ce module peuvent être proposées aux élèves de tous âges entre 6 et 18 ans. Elles s'intègrent facilement dans n'importe quel programme d'études.

6 | POSSIBILITÉS DE COLLABORATION

Nous pouvons partager nos divers résultats d'expériences avec des ballons de football.

Pour partager vos résultats, téléchargez le fichier et suivez les instructions^[1].

Nous sommes certains que les élèves peuvent échanger des idées concernant les différentes méthodes de mesure ou leurs appareils d'expérimentation. Ils peuvent concevoir d'autres expériences avec un ballon : par exemple, filmer la déformation du ballon lors du contact avec le sol et l'effet de la pression sur ce processus.

RÉFÉRENCES

^[1] www.science-on-stage.de/iStage3_materials



DIONYSIS KONSTANTINOU · ANDREAS MEIER · ZBIGNIEW TRZMIEL

CAUCHEMAR DE GOAL



 Mouvement, rotation, roulis, énergie cinétique translationnelle, énergie cinétique rotationnelle, frottement

 Physique, TIC

 Deux séries d'activités sont proposées. La première convient à des élèves âgés entre 14 et 15 ans, et les deux séries conviennent à la catégorie d'âge 16 – 18 ans.

1 | SYNOPSIS

Les élèves étudieront le rebond d'un ballon en termes de mouvement, d'énergie cinétique et d'impulsion. Ils découvriront que l'énergie cinétique d'un corps réel est à la fois translationnelle et rotationnelle.

2 | INTRODUCTION THÉORIQUE

2 | 1 Résumé

Les gardiens de but disent que leur tâche se complique lorsque le ballon rebondit sur le sol devant eux. Dans ce module, nous montrons comment étudier les facteurs qui influent sur l'énergie et le mouvement d'un ballon qui rebondit. Dans ce contexte, les élèves appréhenderont les lois de la physique relativement aux mouvements de translation et de rotation d'un corps solide, notamment en ce qui concerne le mouvement de roulis. Deux expériences sous-tendent ce module. Les élèves enregistrent le mouvement d'un ballon et l'analysent à l'aide d'un appareil d'analyse de vidéo. Les expériences ont été choisies de manière à leur donner l'occasion d'étudier le phénomène correspondant. En conséquence, ils seront capables d'en tirer des conclusions et d'expliquer le phénomène de rebond en termes de force, de mouvement, de force d'impulsion et d'énergie.

2 | 2 Connaissances requises

Les élèves doivent connaître la physique des mouvements, le rôle de la force en mouvement, et les notions d'énergie potentielle et d'énergie cinétique par rapport à une masse ponctuelle. Ils doivent également être capables d'utiliser les grandeurs vectorielles telles que la vitesse et l'impulsion linéaire.

2 | 3 Connaissances théoriques

2 | 3 | 1 Cinétique

Le mouvement de roulis est la combinaison d'un mouvement de translation et d'un mouvement de rotation. Dans ce type de mouvement :

1. Le centre de gravité (cg) est soumis à un mouvement translationnel. Sa vitesse par rapport au sol est \vec{v}_{cg} .
2. Le reste du corps tourne autour du centre de gravité et est soumis à deux types de mouvements, un mouvement de translation \vec{v}_{cg} et un mouvement de rotation.
3. Considérons le point i du corps. Dans le second type de mouvement, sa vitesse absolue, relativement à son cg , est $v_{rel,cg}^i = r_i \omega$.

La vitesse angulaire est présente sur l'axe de rotation. La vitesse du point i par rapport au cg est tangentielle à la trajectoire du point i . Les deux vitesses sont liées par une relation de trigonométrie.

r_i : distance du point donné i par rapport à l'axe de rotation [m]

ω : vitesse angulaire du corps [$\frac{1}{s}$]

v : vitesse [$\frac{m}{s}$]

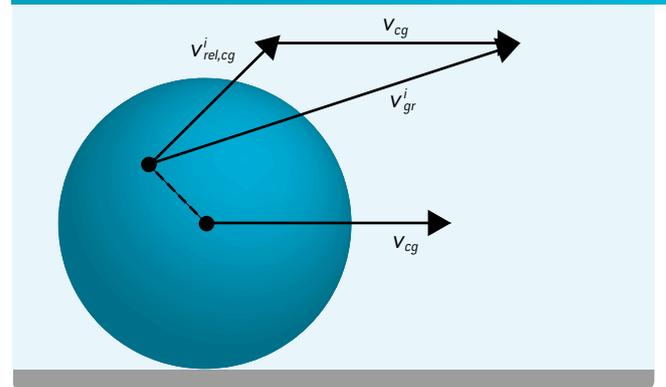
En ce qui concerne les points de la circonférence, leur valeur $\vec{v}_{rel,cg}$ correspond à $R\omega$.

R : rayon du corps [m]

Donc, la vitesse vectorielle du point i du corps par rapport au sol est la somme vectorielle des deux vitesses (FIG. 1).

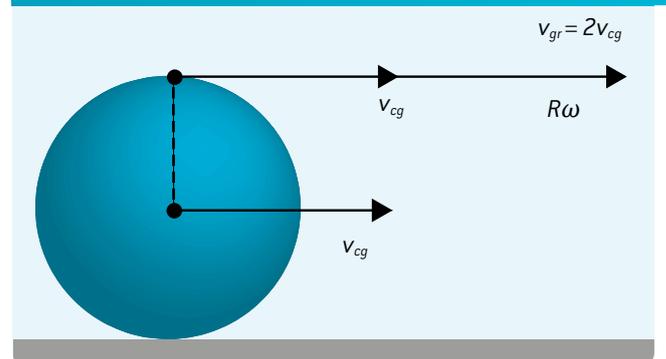
$$\vec{v}_{sol}^i = \vec{v}_{cg} + \vec{v}_{rel,cg}^i$$

FIG. 1



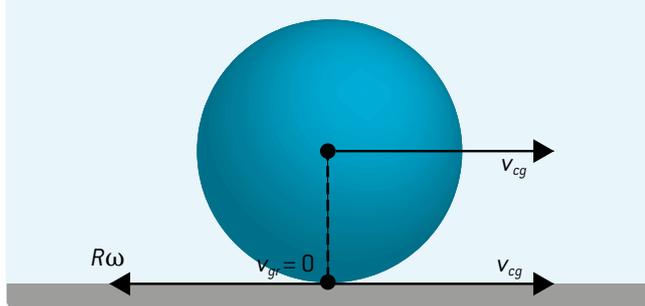
La valeur \vec{v}_{sol} du sommet du corps est égale à $2\vec{v}_{cg}$.

FIG. 2



La vitesse vectorielle \vec{v}_{sol} du point de contact avec le sol est zéro, c'est-à-dire qu'elle est temporairement nulle (FIG. 3).

FIG. 6



Enfin, le fait que $v_{cg} = R\omega$ implique que le corps roule sans dévier.

2 | 3 | 2 Énergie cinétique

Un corps sphérique en mouvement se caractérise généralement par une énergie cinétique de translation et une énergie cinétique de rotation : $E_{cin, tr}$ et $E_{cin, rot}$, respectivement.

$$E_{cin, tr} = \frac{1}{2}mv^2 \text{ et } E_{cin, rot} = \frac{1}{2}I\omega^2$$

m : masse [kg]

I : moment d'inertie [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]

v : vitesse absolue [$\frac{\text{m}}{\text{s}}$]

ω : vitesse angulaire du corps sphérique [$\frac{1}{\text{s}}$]

Considérons tel corps lorsqu'il percute le sol, et concentrons-nous sur le court laps de temps, juste avant et juste après le choc, pendant lequel il est possible d'étudier la force qui s'exerce entre le corps en mouvement et le sol.

Avant le choc :

$$E_{cin, tr(1)} = \frac{1}{2}mv_1^2 \text{ et } E_{cin, rot(1)} = \frac{1}{2}I\omega_1^2.$$

Après le choc, ces deux grandeurs existent toujours, mais elles ont des valeurs différentes :

$$E_{cin, tr(2)} = \frac{1}{2}mv_2^2 \text{ et } E_{cin, rot(2)} = \frac{1}{2}I\omega_2^2.$$

Les indices 1 et 2 correspondent aux valeurs existant avant et après la percussion du sol.

La force qui s'exerce entre le sol et le corps est constituée de composantes verticales et horizontales. Si l'on estime que le ballon ne glisse pas sur le sol, la composante horizontale est le frottement statique. Son travail sur le ballon est nul, tandis que son moment de rotation induit une accélération angulaire. Cela veut dire que la vitesse angulaire change en termes de grandeur et de direction. Néanmoins, aucune quantité d'énergie n'est convertie en chaleur, et il se produit seulement un échange entre énergie de translation et énergie de rotation. La composante verticale et le poids du ballon produisent une accélération verticale sur le ballon. Étant donné que le ballon ne glisse pas sur le sol, on peut appliquer le principe de la conservation de l'énergie mécanique :

$$E_{pot(1)} + E_{cin, tr(1)} + E_{cin, rot(1)} = E_{pot(2)} + E_{cin, tr(2)} + E_{cin, rot(2)}.$$

E_{pot} est l'énergie potentielle, tandis que les chiffres 1 et 2 représentent les différents états du ballon juste avant et juste après le rebond de la balle.

Puisque nous nous intéressons au rebondissement du ballon sur le sol, $E_{pot(1)} = E_{pot(2)}$

$$\text{et } E_{cin, tr(1)} + E_{cin, rot(1)} = E_{cin, tr(2)} + E_{cin, rot(2)}.$$

En raison de plusieurs facteurs, notamment la surface du sol et la vitesse angulaire du ballon juste avant le choc, il est difficile d'estimer l'effet du frottement. Par conséquent, il n'est pas facile de prévoir les valeurs correspondant au mouvement du ballon juste après le rebond, en particulier le vecteur vitesse.

2 | 4 Expériences et méthodes

1. Afin de susciter l'intérêt des élèves, il leur est demandé de laisser tomber un ballon en lui imprimant un mouvement tournant [1]. Nous espérons qu'ils feront le lien entre « l'impulsion » donnée au ballon et ce mouvement de rotation.
2. Première expérience (première série d'activités)
Les élèves installent une rampe composée de deux barres parallèles. La distance entre ces deux barres doit être quelque peu inférieure au diamètre du ballon.



FIG. 4 Installation pour la première expérience.

On demande ensuite aux élèves de lâcher un petit ballon en haut de la rampe, d'enregistrer son mouvement et de l'analyser à l'aide d'une application d'analyse vidéo telle que Tracker [2]. Une présentation détaillée de ce logiciel figure dans la publication *iStage 1 – Ressources pédagogiques pour l'intégration des TIC dans les sciences naturelles* [3]. Il serait même préférable d'utiliser une caméra à haute vitesse (120 images par seconde ou plus).

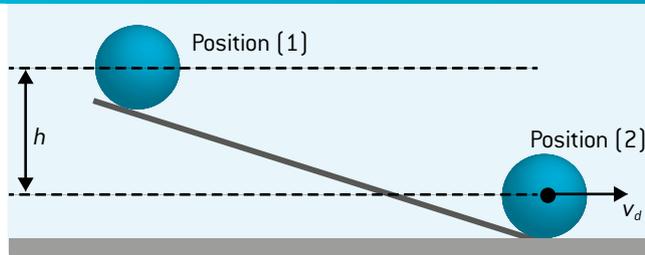
Le ballon rigide (m, R) $I = \frac{2}{5}mR^2$ roule sans dévier de la position {1} jusqu'au sol, la position {2}, et continue de rouler sur le sol (FIG. 5).

Remarque : Le moment d'inertie pour un ballon de football est proche de $\frac{2}{3}mR^2$.

Pour nos expériences, nous utilisons un ballon rigide.

Tandis que le ballon dévale la rampe, sa vitesse v et sa vitesse angulaire ω changent selon la formule $v = R\omega$.

FIG. 5



Le principe de la conservation de l'énergie est exprimé par la formule :

$$mgh = \frac{1}{2}mv_d^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 = \dots = \frac{7}{10}mv_d^2.$$

\vec{v}_d étant la vitesse du ballon au bas de la rampe. L'énergie cinétique translationnelle est égale à $\frac{5}{10}mv_d^2$, et, par conséquent, l'énergie cinétique rotationnelle est égale à $\frac{2}{10}mv_d^2$.

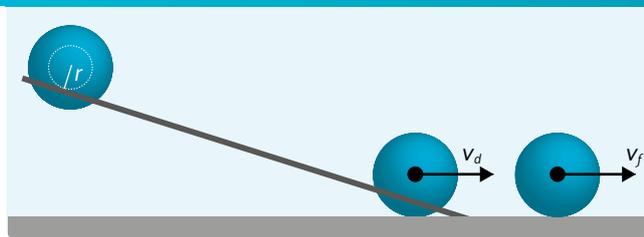
$$\text{Donc, } \frac{E_{\text{cin, rot}}}{E_{\text{cin, tr}}} = \frac{2}{5}.$$

Dans l'expérience proposée, le mouvement du ballon est exprimé selon la formule $v = r\omega$, r étant la distance entre l'axe de rotation et les points où le ballon touche la rampe.

L'expérience est conçue (FIG. 6) de telle sorte que $r < R$. Par conséquent, le ratio $\frac{E_{\text{cin, rot}}}{E_{\text{cin, tr}}}$

est supérieur à $\frac{2}{5}$. Une fois le ballon sur le sol, le ratio est égal à $\frac{2}{5}$, de sorte que le mouvement de roulis correspond à de nouvelles valeurs, selon lesquelles la distance entre l'axe de rotation et le point de contact entre le ballon et le sol est égale à R .

FIG. 6



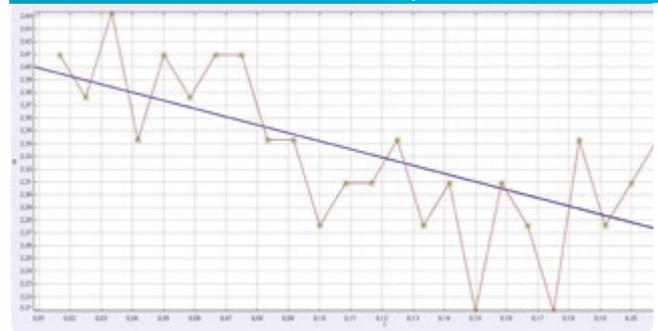
C'est exactement ce qui se produit lorsqu'après une rapide transition le ballon atteint sa vitesse finale, où la valeur de la vitesse \vec{v}_f est supérieure à celle de la vitesse \vec{v}_d à laquelle le ballon touche le sol.

Les élèves peuvent constater, même à l'oeil nu, que le ballon roule plus rapidement sur le sol. Ils peuvent analyser son mouvement et déterminer les vitesses \vec{v}_d et \vec{v}_f .

Pour ce faire, ils doivent prendre en compte l'énergie cinétique rotationnelle. Sinon, on ne peut pas expliquer le phénomène de conservation de l'énergie. Quiconque sachant qu'un corps solide possède une énergie cinétique translationnelle et une énergie cinétique rotationnelle, est capable de comprendre qu'une partie de l'énergie cinétique rotationnelle est convertie en énergie cinétique translationnelle sous l'effet du frottement entre le sol et le ballon.

2 | 5 Matériel nécessaire

Deux barres de 1 mètre de long et des supports et raccords correspondants ; un petit ballon, de préférence rigide, en caoutchouc dur. Un laboratoire scolaire de base possède généralement ces éléments.

FIG. 7 Premier temps du mouvement, $v_d = 1,85$ m/sFIG. 8 Second temps du mouvement, $v_f = 2,4$ m/s

3 | TÂCHES DES ÉLÈVES

3 | 1 Première expérience : première série d'activités

1. Installer le dispositif expérimental.
2. Enregistrer une vidéo^[1].
3. Utiliser une application d'analyse vidéo telle que Tracker^[2].
4. Déterminer les vitesses du ballon juste avant et juste après le contact avec le plan horizontal (voir FIG. 6 et 7).
5. Mesurer le rayon du ballon et déterminer sa vitesse angulaire lorsqu'il commence à rouler sur le sol (FIG. 9).
6. Mesurer la masse du ballon et déterminer la valeur de l'énergie cinétique translationnelle juste avant ($E_{\text{cin, tr(1)}}$) et juste après ($E_{\text{cin, tr(2)}}$) le contact du ballon avec le plan horizontal (FIG. 9).
7. Expliquer la transformation de l'énergie cinétique.



FIG. 9 $\omega = 156 \text{ s}^{-1}$, $E_{cin, tr(1)} = 2.46 \cdot 10^{-2} \text{ J}$, $E_{cin, tr(2)} = 4.14 \cdot 10^{-2} \text{ J}$



FIG. 10 Installation pour la seconde expérience

3 | 2 Seconde expérience

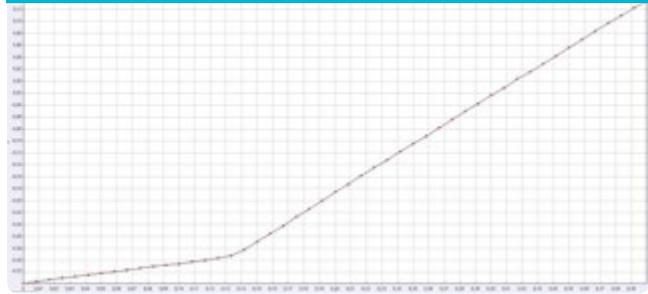
Les élèves font la même installation que pour la première expérience. Cependant, dans ce cas, l'extrémité de la rampe doit être positionnée à environ 0,6 mètre au-dessus du plan horizontal.

Les élèves laissent la balle rouler jusqu'à ce qu'elle tombe sur le sol. Ils enregistrent le mouvement du ballon et l'analysent au moyen d'une application d'analyse de vidéo telle que Tracker [2]. Dans ce cas, le mouvement devient intéressant lorsque le ballon sort de la rampe, lorsqu'il décrit une rotation visible. Lors de cette expérience, les élèves auront l'occasion d'explorer plus avant les champs du mouvement et de l'énergie.

Seconde série d'activités

1. Installer le dispositif expérimental
2. Lâcher le ballon en haut de la rampe et filmer le mouvement avec une caméra [1].
3. Tracer un graphique représentant x par rapport à t , et définir la composante horizontale de la vitesse du ballon v_x lors de son mouvement descendant, puis lors de son mouvement ascendant. Expliquer la modification de v_x .

FIG. 11 Exemple de graphique représentant le changement de vitesse



4. Mesurer la masse du ballon et calculer quelle quantité d' $E_{cin, rot}$ est transformée en $E_{cin, tr}$. Il conviendra également de déterminer la vitesse du ballon juste avant et juste après le rebond sur le sol.

$$v_{desc, fin} = 2,55 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad E_{cin, tr(1)} = 4,67 \cdot 10^{-2} \text{ J (FIG. 12) et}$$

$$v_{asc, init} = 2,76 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad E_{cin, tr(2)} = 5,47 \cdot 10^{-2} \text{ J (FIG. 13)}$$

$$\Delta E_{cin, tr} = 0,8 \cdot 10^{-2} \text{ J} = -\Delta E_{cin, rot}$$

FIG. 12

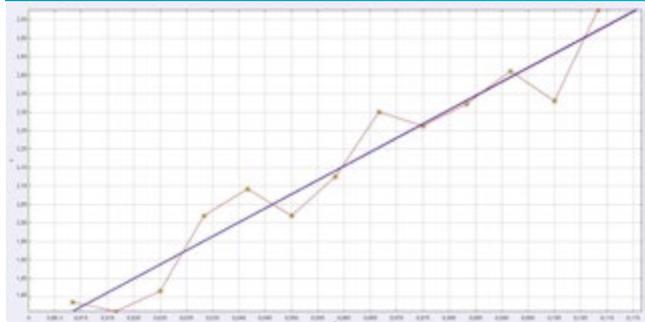
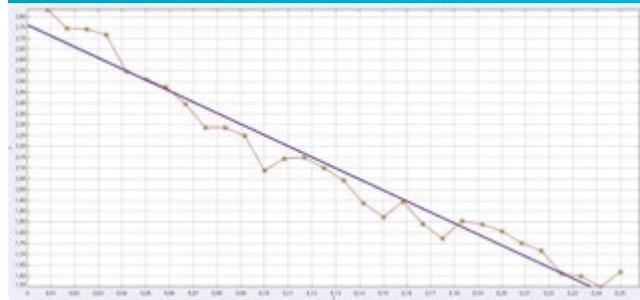


FIG. 13



5. Déterminez la modification $\vec{\Delta p}$ [$\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$] de la force d'impulsion du ballon lorsqu'il entre en contact avec le sol.
 $\vec{\Delta p} = m\vec{\Delta v}$

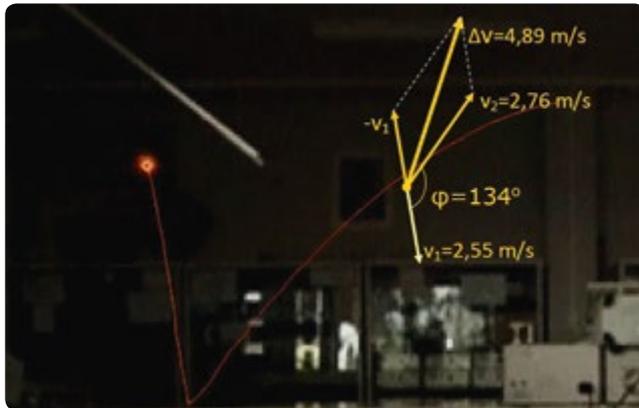


FIG. 14

\vec{v}_1 et \vec{v}_2 sont les vitesses du ballon juste avant et juste après le rebond. Les valeurs absolues de vitesse pour cette expérience particulière sont $2,55 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ et $2,76 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ respectivement, ce qui correspond à un angle de $\varphi = 134^\circ$.

$\vec{\Delta v}$ correspond au changement de vitesse. Sa valeur absolue est définie par $4,89 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. L'angle entre \vec{v}_2 et $\vec{\Delta v}$ correspond à un angle de 24° .

La modification de la force d'impulsion découle de la formule $\vec{\Delta p} = m\vec{\Delta v}$.

Elle suit la même direction que $\vec{\Delta v}$, et sa valeur absolue est égale à $7 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

4. Considérez le second temps du mouvement, comme si le ballon était lancé depuis le sol. Déterminez les grandeurs initiales qui caractérisent ce lancé, puis calculez la hauteur maximum et la portée du lancé. Comparez les valeurs que vous avez calculées avec les valeurs enregistrées par Tracker. Expliquez les écarts entre les données d'analyse et les valeurs théoriques.

4 | CONCLUSION

Les élèves observeront les modifications en termes de mouvement et d'énergie du ballon, et les rapporteront à la force — en particulier à sa composante horizontale — exercée entre le ballon et le sol, et à l'effet de rotation de cette force. En même temps, ils pourront conclure que l'énergie cinétique d'un corps solide se compose de deux grandeurs (l'énergie cinétique translationnelle et l'énergie cinétique rotationnelle). Enfin, ils pourront également ignorer certains présupposés liés au fait que l'on utilise généralement le modèle du point matériel dans l'enseignement de la mécanique.

5 | POSSIBILITÉS DE COLLABORATION

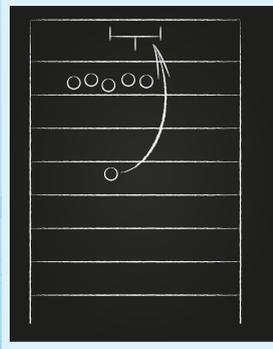
Les élèves des différentes écoles, pas nécessairement du même pays, peuvent communiquer et échanger des vidéos, en particulier à l'égard de la première activité. Ils sont censés arriver aux mêmes conclusions. Ils pourront en discuter par le biais de la téléconférence.

Enfin, ils pourront, dans le cadre de rencontres, mener différentes activités, par exemple :

1. Installer une caméra vidéo à l'extérieur. Faire un enregistrement vidéo d'un ballon qui tombe sur le sol et étudier les données relatives au mouvement du ballon lors du contact avec le sol.
2. Analyser ce mouvement.
3. Tirer des conclusions en ce qui concerne les caractéristiques des frottements subis par le ballon au moment du contact avec le sol.
4. Déterminer la vitesse du ballon avant et après le contact avec le sol, mesurer la masse du ballon et calculer l'énergie cinétique translationnelle du ballon.
5. Demander à un joueur chevronné de la classe de faire des frappes de balle en employant des techniques diverses, faire des enregistrements vidéos et décrire les phénomènes observés lorsque le ballon touche le sol.
6. Donner une réponse concluante à la question : pourquoi les gardiens de but ont-ils plus de difficultés à maîtriser le ballon lorsqu'il rebondit sur le sol ?
7. Une fois les autres activités terminées, faire un match de football dédié aux sciences ! Naturellement, l'issue de ce match sera bénéfique à tous, quel que soit le score final !

RESSOURCES

- [1] www.science-on-stage.de/iStage3_materials
 [2] www.physlets.org/tracker
 [3] www.science-on-stage.de/iStage1-download



ANDERS FLORÉN · PHILIPPE JEANJACQUOT · DIONYSIS KONSTANTINOU · ANDREAS MEIER · CORINA TOMA · ZBIGNIEW TRZMIEL

UN BALLON QUI A LA BANANE !



 Effet Magnus, dynamique des fluides

 Physique, mathématiques

 16 – 19 ans

1 | SYNOPSIS

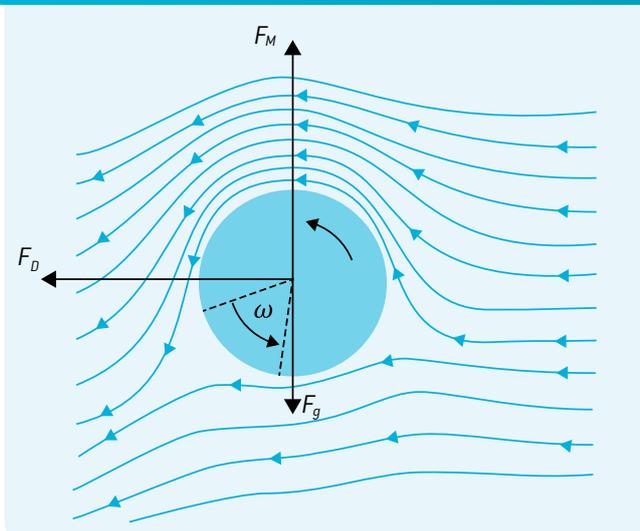
En vol, un ballon vrille en raison de l'effet Magnus, une force qui s'exerce perpendiculairement à la direction et à l'axe de rotation du ballon. Nous présentons ici quelques expériences pratiques, simulations et méthodes de calcul de la trajectoire du ballon.

2 | INTRODUCTION THÉORIQUE

En juin 1997, Roberto Carlos a marqué un but étonnant sur un coup franc botté à 35 m, et le public n'en revient pas encore.^[1] Comment expliquer le comportement du ballon, qui part dans une direction puis revient en vrille vers le but, comme par magie ? Cela s'explique par le fait que le ballon est en rotation dans l'air et qu'il subit l'effet Magnus. Pour voir une présentation gratuite du coup franc par l'expert en la matière lui-même, Roberto, nous recommandons vivement la vidéo qui lui est consacrée sur la page de UEFA Training Ground.^[2] Et pour une présentation gratuite de l'effet Magnus, poursuivez votre lecture...

Pour analyser la trajectoire d'un ballon, il faut mesurer trois forces qui s'exercent sur le ballon : la force gravitationnelle F_g , l'effet Magnus F_M et la force de traînée F_D .

FIG. 1 Les forces^[3]



Le principe de la gravitation est exprimé par la seconde loi de Newton, $F_g = mg$, m étant la masse de la balle et g l'accélération gravitationnelle.

L'effet Magnus F_M résulte de l'application de pressions différentes sur les côtés opposés du ballon. Les modifications de la pression s'expliquent par le principe de Bernoulli. Pour un point donné d'une surface qui se meut dans un fluide à la vitesse v , la pression totale p est égale à la pression statique environnante p_0 plus la pression dynamique q (Éq 1), ρ étant la masse volumique du

fluide. Dans notre cas, il s'agit de la masse volumique de l'air. Mais lorsqu'un ballon ou un cylindre de rayon R est en rotation (avec une vitesse angulaire de ω en radians par seconde), un point de la surface du ballon est soumis à une plus grande turbulence de l'air ($v + \omega R$) que le point opposé sur l'autre côté ($v - \omega R$). Ainsi, nous pouvons déduire la différence de pression $\Delta p = 2\rho\omega v R$ de Éq 1.

$$p = q + p_0 = \frac{\rho v^2}{2} + p_0 \quad (\text{Éq 1})$$

$$\begin{aligned} \Delta p &= \left(\frac{\rho (v + \omega R)^2}{2} + p_0 \right) - \left(\frac{\rho (v - \omega R)^2}{2} + p_0 \right) \\ &= \frac{\rho [(v + \omega R)^2 - (v - \omega R)^2]}{2} = 2\rho\omega v R \end{aligned}$$

$$F_M = \Delta p A = (2\rho\omega v R) A$$

$$\text{Pour un cylindre : } F_M = 4\rho\omega v R^2 h. \quad (\text{Éq 2})$$

$$\text{Pour une sphère : } F_M = 2\rho\omega v \pi R^3. \quad (\text{Éq 3})$$

La pression exercée sur la surface constitue F_M . Sans approfondir les aspects mathématiques plus complexes, nous nous intéresserons aux forces appliquées perpendiculairement au mouvement du fluide. Toute force appliquée dans une direction autre que perpendiculaire au mouvement du fluide est annulée par une autre force opposée symétrique. C'est pourquoi nous étudierons seulement la coupe transversale A de l'objet. Pour un ballon, A sera simplement un cercle de rayon R (utilisé dans Éq 3) ; pour un cylindre, A sera un rectangle de hauteur $2R$ et de largeur h (utilisé dans Éq 2). En termes de grandeurs vectorielles, l'effet Magnus \vec{F}_M est proportionnel au produit vectoriel de la vitesse directionnelle et de la vitesse angulaire.

Enfin, il conviendra de calculer la force de traînée F_D . La force de traînée est complexe, car l'écoulement d'air peut être laminaire ou turbulent, ce qui dépend en grande partie de la forme de l'objet et de la nature du fluide dans lequel il se déplace. Pour nos expériences, il suffira de postuler que l'écoulement du fluide est laminaire (comme dans la FIG. 1) et d'utiliser l'équation de la traînée, selon laquelle la force est dirigée dans la direction opposée à v et proportionnelle à la vitesse : $F_D = \beta v$. β est une constante qui dépend des propriétés du fluide et des dimensions de l'objet ; pour un ballon de football en mouvement dans l'air, elle est exprimée par la formule $\beta = 0,142 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ [4].

3 | TÂCHES DES ÉLÈVES

Ici, nous présentons trois expériences différentes pour illustrer l'effet Magnus. Toutes ces expériences peuvent être réalisées à titre de démonstrations, sinon, on peut les enregistrer et utiliser nos modèles pour analyser les trajectoires. Dans ce cas, enregistrez avec une caméra fixe placée à la même hauteur que les objets et perpendiculairement à leur trajectoire, et à quelques mètres de ceux-ci, afin de minimiser la distorsion angulaire. Le film pourra ensuite être analysé à l'aide d'une application de cap-

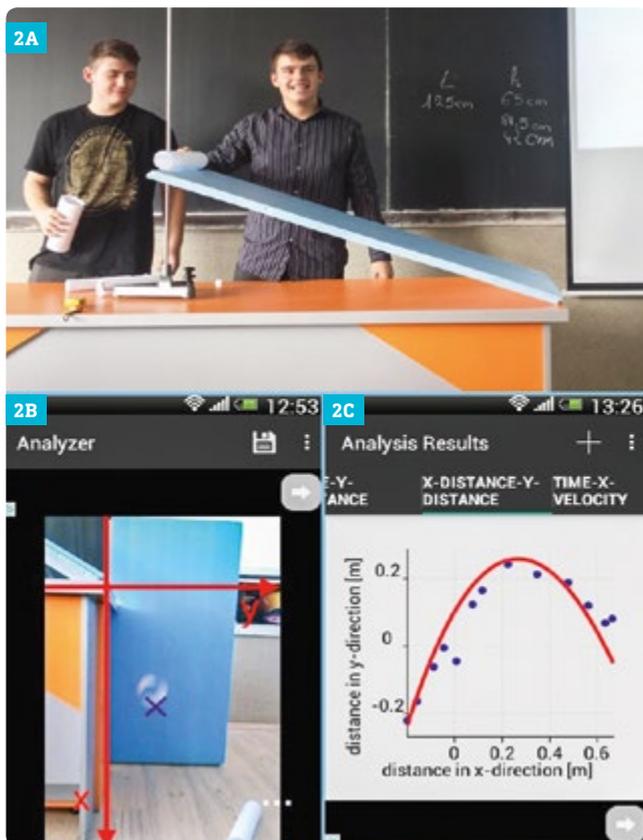


FIG 2 Cylindre lâché sur une pente

ture de mouvement. Nous vous recommandons l'application Tracker^[5]. Vous pouvez trouver des instructions détaillées sur l'utilisation de Tracker dans notre premier livre iStage^[6]. Il existe une excellente application nommée VidAnalysis^[7], qui permet d'enregistrer la trajectoire et d'effectuer directement l'analyse via un appareil Android (FIG. 2C). Les données peuvent également être exportées pour une analyse ultérieure. Dans le cas présent, nous utilisons le logiciel libre GeoGebra^[8].

3 | 1 Expériences avec un cylindre

Construire plusieurs cylindres avec des feuilles de papier A4 ou A3 et de la colle. Installez une planche inclinée et lâchez les cylindres le long de la pente pour provoquer la chute libre des objets dans un mouvement circulaire (FIG. 2A).

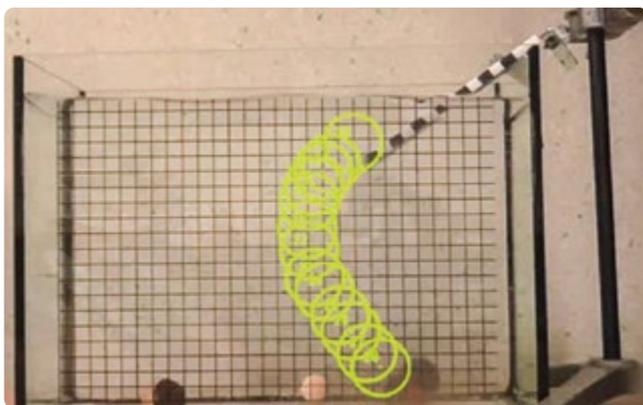


FIG. 3 L'effet Magnus dans l'eau

Les élèves peuvent observer ce qui se produit s'ils modifient la pente de la planche, le rayon ou la hauteur du cylindre. Ils peuvent déterminer expérimentalement les facteurs qui auront un effet visible plus important et les rapporter à l'ÉQ 2, ou bien approfondir leur étude en extrayant les données et en procédant à leur analyse (Modèle II), comme indiqué ci-après.

L'effet Magnus (FIG. 3) est encore plus étonnant dans l'eau en raison de la plus haute densité du fluide. Le cylindre doit avoir une plus haute densité que l'eau et une surface présentant des aspérités pour augmenter le frottement. Nous avons utilisé une tige pleine traitée au téflon, recouverte de ruban auto-agrippant adhésif. Pour ajuster le poids du cylindre, vous pouvez coller des pièces de monnaie à ses extrémités.

Une autre installation plus spectaculaire mais plus difficile consiste à coller ou à scotcher ensemble, par la base, deux tasses en polystyrène, de manière à obtenir un cylindre rétréci en son milieu.^[9] Enroulez une ficelle autour du milieu et lancez le cylindre en l'air en tirant sur la ficelle (FIG. 4). Un lien vers la vidéo correspondante est également disponible sur notre page GeoGebra^[10]. Cet exercice nécessite un peu de pratique, mais le résultat est spectaculaire. Cette expérience est moins facile à reproduire que les autres expériences avec un cylindre, car la trajectoire suivie dépend de la position angulaire et de la force avec laquelle on tire sur la ficelle. Néanmoins, vous pouvez analyser les trajectoires réussies. Dans la FIG. 4, les tasses jetées en l'air décrivent un mouvement circulaire. Si l'effet Magnus est sensiblement plus fort que la force de gravitation, F_M agit comme une force centripète. Cette hypothèse sera utilisée ultérieurement pour l'analyse des données.

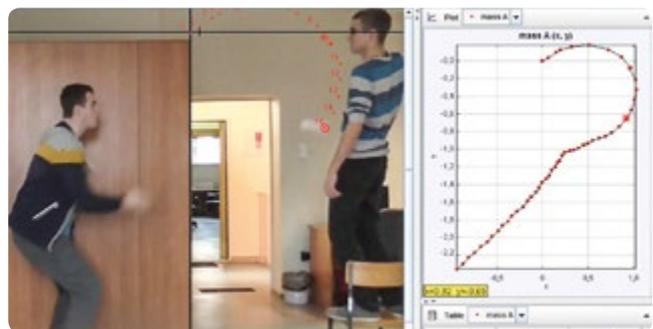


FIG. 4 Tasses jetées en l'air

3 | 2 Analyse des données

Nous avons développé différents modèles mathématiques pour analyser les trajectoires. Ces modèles sont directement accessibles en ligne, sur notre page iStage 3 GeoGebra^[10]. Il est vivement conseillé de les consulter avant de poursuivre la lecture de ce texte. Ils s'afficheront directement dans votre navigateur ; cliquez simplement sur le lien correspondant.

Nous avons basé tous nos calculs sur le postulat selon lequel le mouvement circulaire est constant lors du déplacement de l'objet. Nous avons ensuite développé deux modèles simplifiés, sur la base d'hypothèses différentes :

Modèle I : Comme dans le cas des gobelets en carton lancés en l'air qui suivent une trajectoire en forme de point d'interrogation (FIG. 4), F_M agit comme une force centripète, et la trajectoire obtenue de l'objet correspond à une courbe circulaire de rayon r . Cette hypothèse est également valide dans le cas d'un tir au but, où la vitesse totale de la balle reste sensiblement la même. Une partie de l'énergie est perdue du fait de la turbulence de l'air, aussi devons-nous introduire une constante C_s qui corresponde à cette perte.

Nous aurons ainsi :

$$F_M = C_s 2\rho\omega v R A = \frac{mv^2}{r}$$

Pour une sphère : $r = \frac{mv}{2C_s \pi \rho \omega R^3}$. (ÉQ 4)

Pour un cylindre : $r = \frac{mv}{4C_s \rho \omega h R^2}$. (ÉQ 5)

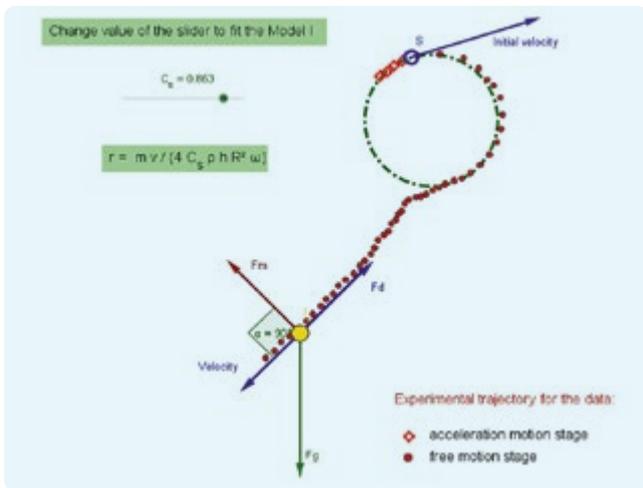


FIG. 5 Analyse de l'expérience des tasses jetées en l'air

Vous pouvez voir le tracé de la FIG. 4 dans notre modèle GeoGebra (tasses jetées en l'air), et modifier le centre du cercle et C_s . Jouez avec les différents paramètres pour trouver la valeur la plus adéquate ; le modèle permettra de calculer r selon l'ÉQ 5. Pour nos données, la valeur la plus adéquate est $C_s = 0,86$.

Modèle II : Afin de simplifier les calculs pour l'expérience avec le cylindre en papier (FIG. 2), on pourra postuler que l'effet Magnus s'exerce surtout perpendiculairement à la direction initiale du mouvement, et que les cylindres ont atteint une vitesse maximum lorsqu'ils tombent. Sur la base de ces hypothèses, F_D et F_g s'annulent, et l'effet Magnus peut être considéré comme une accélération a dans la direction y , de sorte que la trajectoire obtenue prend la forme d'une parabole :

$$y = \frac{a}{2v^2} x^2 \Rightarrow y = C_s \frac{\rho \omega R A}{mv} x^2$$

Pour une sphère : $y = C_s \frac{\pi \rho \omega R^3}{mv} x^2$. (ÉQ 6)

Pour un cylindre : $y = C_s \frac{2\rho \omega h R^2}{mv} x^2$. (ÉQ 7)

Il s'agit d'une simplification, mais nous obtiendrons la même valeur C_s que pour notre autre modèle.

Sur notre page GeoGebra (FIG. 6), nous avons reproduit, à travers une mise en scène, le fameux coup franc de Roberto Carlos. Vous pouvez jouer avec presque tous les paramètres pour modifier l'installation (distance, angle de tir, taille du but, constante C_s , vitesse, rotation, position du mur de quatre joueurs, etc.). L'analyse indiquera les trajectoires obtenues pour les modèles I et II, selon les ÉQ 4 et ÉQ 6, puisqu'il s'agit d'un ballon, et non plus d'un cylindre. Mettez vos élèves au défi de trouver les valeurs les plus adéquates pour une configuration donnée, ou demandez-leur de déterminer les condi-

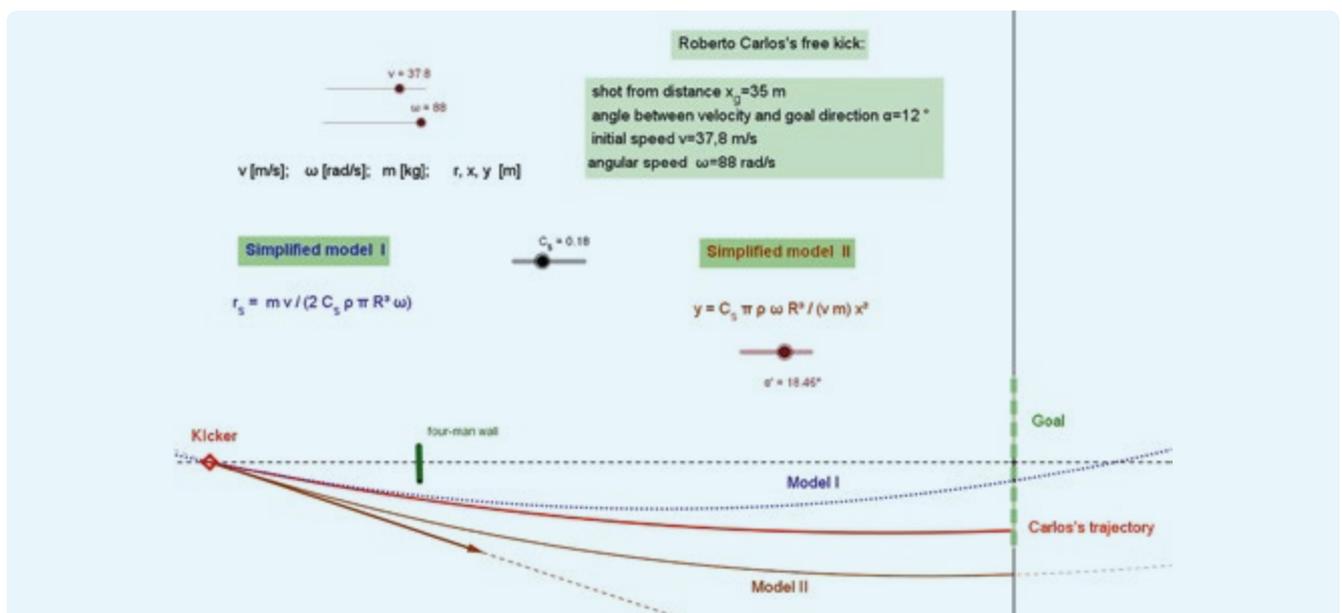


FIG. 6 Analyse du coup franc

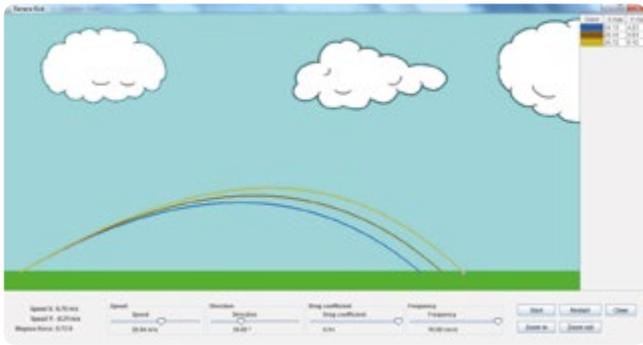


FIG. 7 2D simulation (de Cristian Militaru)

tions dans lesquelles les modèles produisent différentes trajectoires, puis demandez-leur d'expliquer pourquoi. (Vous constaterez que les modèles produisent des résultats différents lorsque l'on imprime un forte rotation au ballon à très basse vitesse).

3 | 3 Simulations

Simulation en 2D : Après quelques expériences pratiques, les élèves pourront simuler l'effet Magnus. Téléchargez le programme Java [11]. Dans cet exercice de simulation, les élèves peuvent modifier la vitesse initiale, l'angle de tir, le coefficient de traînée et la fréquence angulaire. Le sens de rotation et les forces exercées sur le ballon sont représentés dans la FIG. 1. La FIG. 7 représente trois exemples de trajectoires à 30° , avec une fréquence de 0, 5, et $10 \frac{rev}{s}$. Vous pouvez constater que les valeurs de x_{max} et y_{max} augmentent si la fréquence augmente.

Simulation en 3D : Nous avons une nouvelle fois reproduit la trajectoire du coup franc de Roberto Carlos (FIG. 8). Maintenant, vous pouvez essayer vous aussi, en téléchargeant le programme Java concerné [11]. Ultérieurement, vous pourrez essayer une version différente [11], sans le tir, mais avec la possibilité de modifier librement les paramètres, pour voir comment ils modifient la trajectoire.

En 3 D, la simulation devient vite plus complexe. Avec le modèle bidimensionnel, le ballon peut seulement être brossé ou chopé, donc l'effet Magnus s'exerce toujours sur le même plan que la trajectoire. Dans le modèle tridimensionnel, la trajectoire du ballon se courbe sous l'effet Magnus, mais le moment angulaire de rotation est conservé, car le ballon se comporte comme un gyros-

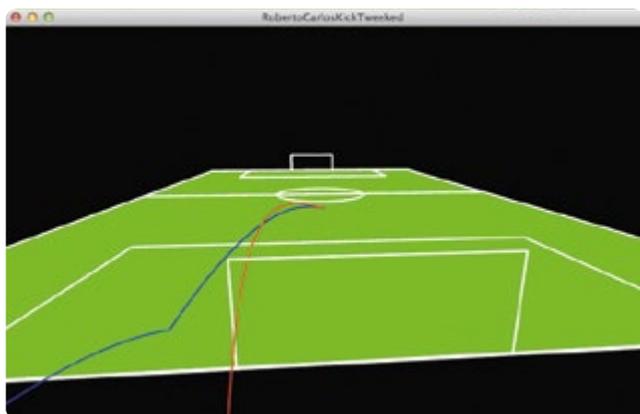


FIG. 8 3D simulation

cope. Ainsi, l'angle entre v et ω sera différent selon les points de la trajectoire, ce qui imprimera au ballon une trajectoire plus complexe. À la différence de GeoGebra, ce programme calcule numériquement toutes les forces présentes dans chaque image, sur la base des valeurs de l'image précédente. Le programme est écrit en langage Processing [12], une version simplifiée de Java.

4 | CONCLUSION

Sur le terrain de football, la trajectoire du ballon est complexe et dépend de toute une série de facteurs. Pour les étudier en classe, les élèves doivent les décomposer en éléments analysables par le biais de modèles et de simplifications. Ces expériences, modèles et simulations nous permettent de mieux comprendre les conclusions obtenues par la méthode scientifique : Si nous supposons que le jeu se joue dans l'eau, ou que le ballon de football peut être remplacé par deux tasses en papier, nous pouvons expliquer en grande partie comment Roberto Carlo a réalisé son tir courbé.

5 | POSSIBILITÉS DE COLLABORATION

Sur notre plate-forme iStage 3 GeoGebra, [10] vous trouverez des informations sur la procédure à suivre pour obtenir une copie de vos fichiers GeoGebra et les utiliser. Nous vous proposons une compétition : obtenir le plus grand effet Magnus possible dans l'expérience des tasses jetées en l'air. Cela équivaut à trouver la plus grande valeur possible pour la constante C_s , c'est-à-dire la valeur la plus proche de 1. Vous pouvez partager vos analyses, résultats et modèles [11].

RÉFÉRENCES :

- [1] www.theguardian.com/football/2015/may/18/roberto-carloss-free-kick-against-france-recreated-sensible-soccer-style (08/03/2016)
- [2] www.uefa.com/trainingground/skills/video/videoid%3D761187.html (08/03/2016)
- [3] L'image originale de la FIG. 1 est issue du site https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Magnus_effect.svg (08/03/2016)
- [4] The Science of Soccer; John Wesson. CRC press, 2002. ISBN 978-0750308137
- [5] www.physlets.org/tracker
- [6] iStage: Teaching Materials for ICT in Natural Sciences, section "From Bicycle to Space", pp. 45-52; www.science-on-stage.de/iStage1_downloads
- [7] VidAnalysis app <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vidanalysis.free&hl=en> (08/03/2016)
- [8] www.geogebra.org/
- [9] Une expérience similaire est décrite par Laura Howes (Science in School, numéro 35, 2016, www.scienceinschool.org/content/sports-spin).
- [10] www.geogebra.org/science+on+stage
- [11] www.science-on-stage.de/iStage3_materials
- [12] <https://processing.org>

ANALYSE NUMÉRIQUE

Depuis quelques années, le terme « big data » est très usité dans le monde de l'informatique. Le concept de « données massives » désigne l'analyse d'énormes quantités de données qui ne peuvent plus être traitées par des méthodes d'évaluation classiques. Les grandes sociétés de génie logiciel proposent des solutions de gestion et d'analyse de ces volumineuses bases de données, qui, pour la plupart, sont générées automatiquement.

Même le domaine du football génère des quantités de données astronomiques. Tous les matchs des meilleures divisions sont filmés sous une multitude d'angles et selon divers points de vue. Désormais, le jeu des sportifs et leurs interactions avec les autres joueurs peuvent faire l'objet d'un traitement automatique d'évaluation et de notation. L'utilisation de multiples caméras et des données générées permettent aux journalistes et commentateurs de télévision de produire et d'analyser des statistiques relatives aux temps de possession du ballon, performances et endurance de chaque joueur (par exemple, distance parcourue). Cependant, les entraîneurs sont peu enclins à dévoiler au public comment ils exploitent ces données pour optimiser leurs stratégies et tactiques de jeu.

À travers le module « Big data dans un match », les élèves apprennent à collecter des données sur la position d'un joueur particulier lors d'un match. Pour ce faire, ils utilisent un smartphone avec GPS intégré, capable de géolocaliser en continu la position d'un joueur. Ils apprennent à écrire le programme correspondant pour leur smartphone.

Le module « Penalty à suspens », créé par les auteurs du module « Analyse numérique », est consacré aux épreuves de tirs au but qui ont lieu en cas de match nul après prolongations. Par exemple, est-ce que l'ordre dans lequel les joueurs tirent au but est important ? Vaut-il mieux faire tirer les meilleurs joueurs en premier ou les moins forts ? Nous avons développé un programme logiciel permettant de tester diverses hypothèses et configurations.

On parie des centaines de millions d'euros sur le football. Or, les auteurs du module « La bourse du football » sont arrivés à la



conclusion selon laquelle les pronostics de résultats basés sur les résultats antérieurs sont incertains, voire inutiles. D'autre part, nous avons observé que les masses de données footballistiques disponibles sur Internet constituent une excellente ressource pour apprendre comment utiliser un tableur. En traitant ces données à l'aide de méthodes de calcul des probabilités, les élèves peuvent examiner de nombreuses questions connexes. Cependant, ils devront absolument se garder d'entrer dans la sphère des paris sportifs pour gagner de l'argent.

BERNARD SCHRIEK (RET.)

Marien-Gymnasium
Werl, Allemagne
Coordinateur

PERE COMPTE · STEPHEN KIMBROUGH · MAEVE LISTON · MARCO NICOLINI

BIG DATA DANS UN MATCH



Technologie (App Inventor ; dweet.io ; freeboard.io ; programmation, données massives)

Technologies de l'information et de la communication

Cette étude est recommandée pour les élèves de plus de 15 ans.

1 | SYNOPSIS

Depuis 2015, la FIFA autorise l'utilisation de systèmes de localisation pendant les matchs officiels, qui permettent de collecter des données de localisation sur tous les joueurs présents sur le terrain. En dehors du terrain, ces données peuvent être étudiées et analysées à des fins d'information des dirigeants, entraîneurs et joueurs, en ce qui concerne les performances des joueurs.

Ces systèmes interviennent également lors des séances d'entraînement et tests de performances physiques, et fournissent des données en temps réel. Ces dispositifs portables (par exemple, montre ou puce intégrée dans les vêtements du joueur) permettent de collecter des données en quantités relativement importantes, de sorte que ces ensembles de données, une fois constitués, sont considérés comme des données massives.

Ce module permet aux élèves de transmettre, via un appareil mobile, des données massives en temps réel.

2 | INTRODUCTION THÉORIQUE

Les données GPS collectées en temps réel depuis le terrain de football, au moyen d'outils numériques, jouent un rôle de plus en plus important à l'égard de l'évolution des performances d'un joueur, de la planification de l'entraînement, de la prévention des blessures et du développement des stratégies de football.

Pour un seul match de football, environ 1,5 million positions de joueurs peuvent être capturées par des caméras et des capteurs. Ces données GPS sont exploitables pour mesurer et calculer la vitesse d'un joueur (allure), sa capacité à accélérer et à changer de direction.

L'analyse de ces données peut également renseigner l'entraîneur sur la capacité d'un joueur à regagner le terrain après une blessure, ou sur le risque de blessure pour un joueur particulier. Les capteurs intégrés dans les vêtements des joueurs permettent de capturer instantanément diverses données : température corporelle (création de courbes de température sur le terrain), rythme cardiaque, taux d'oxygène et taux d'acide lactique dans le sang.

Différentes applications logicielles sont nécessaires pour optimiser le stockage, le traitement, l'analyse et la visualisation d'aussi grandes quantités de données.

3 | TÂCHES DES ÉLÈVES

Ce module permet aux élèves d'envoyer des données massives en temps réel, via leur smartphone. Ils joueront le rôle de développeurs d'applications et concevront et réaliseront leurs propres applications à l'aide du logiciel App Inventor^[1]. Les données en temps réel seront collectées via cette application, puis transférées vers un site web de partage de données en ligne (dweet.io), connecté à un site web de partition d'écran (freeboard.io). Tous les programmes ci-dessus sont en accès libre et peuvent être utilisés à distance via le « cloud ». Les élèves apprendront à publier les données qu'ils ont collectées et à les partager par le biais du « cloud ».

3 | 1 App Inventor

MIT App Inventor est un programme innovant et facile à utiliser, pour la création et le développement d'applications. Très convivial

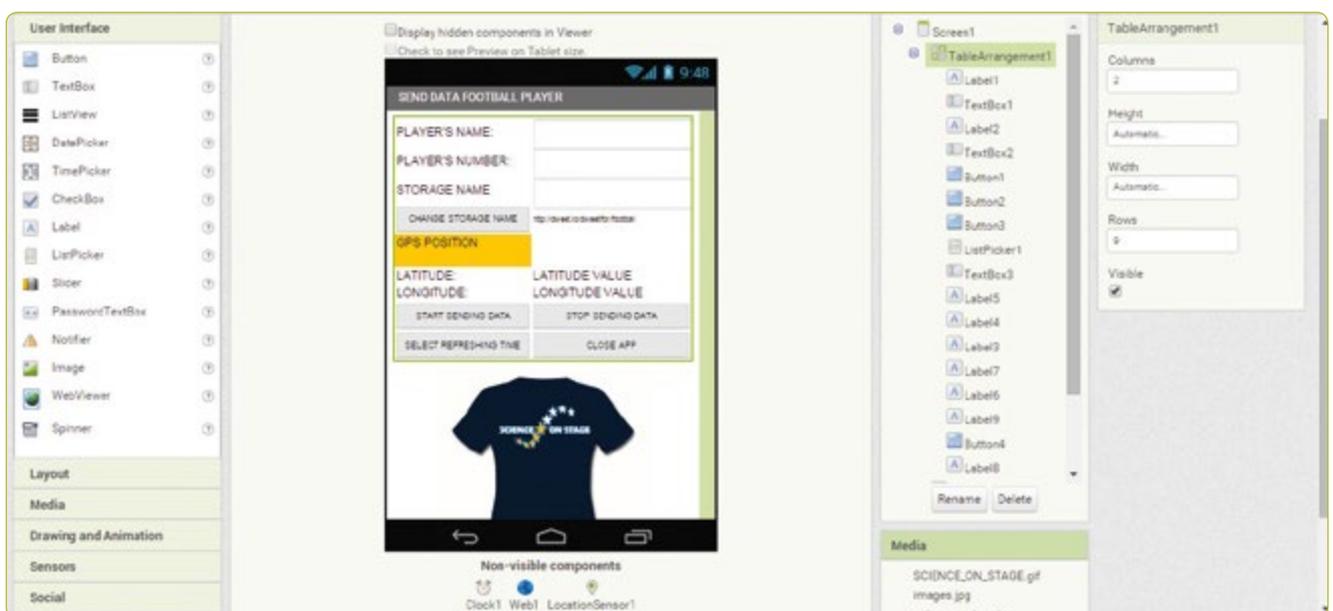


FIG. 1 Capture d'écran de App Inventor

pour les élèves, il convient parfaitement aux programmeurs en herbe. Remarque : vous devez créer un compte pour pouvoir utiliser App Inventor.

Voici un guide avec toutes les étapes permettant de développer une application capable de collecter des données GPS en temps réel, concernant les élèves qui jouent au football sur le terrain (FIG. 1).

3|1|1 Création d'écran dans App Inventor

Ouvrir App Inventor, cliquez sur *new project* et saisissez le nom de votre projet, par exemple, *Send Data Player*. Vous serez alors dirigé automatiquement vers la section designer.

Dans la partie droite de votre écran figure une liste de fonctionnalités permettant de créer le contenu d'écran.

FIG. 1 Conception réalisée selon la procédure suivante :

- **Screen1.** AlignHorizontal: CENTER; AppName: SEND DATA PLAYER; Icon: SCIENCE_ON_STAGE.GIF; Title: SEND DATA FOOTBALL PLAYER
- **TableArrangement1.** Columns: 2; Rows: 9
- **Label1.**Text. PLAYER'S NAME:
- **Label2.**Text. PLAYER'S NUMBER:
- **TextBox1.** Hint: Introduce your name
- **TextBox2.** Hint: Introduce your number; NumbersOnly
- **TextBox3.** Hint: Introduce your storage name
- **Label3.**BackgroundColor: Orange; Text: GPS POSITION (voir FIG. 2)
- **Label4.**Text. LATITUDE:
- **Label5.**Text. LONGITUDE:
- **Label6.**Text. LATITUDE VALUE:

- **Label7.**Text. LONGITUDE VALUE:
- **Label8.** FontSize:9; Text.http://dweet.io/dweet/for/football
- **Button1.** FontSize:11; Text: START SENDING DATA
- **Button2.** FontSize:11; Text: STOP SENDING DATA
- **Button3.** FontSize:11; Text: CLOSE APP
- **Button4.** FontSize:11; Text: STORAGE NAME
- **Label9.**Text. STORAGE NAME:
- **ListPicker1.** FontSize:11; Text: SELECT REFRESHING TIME (SECONDS)
- **Image1.** Picture: SCIENCE_ON_STAGE.GIF
- **Clock1.**TimerEnabled: NO; Timer Interval: 5000 (every 5 seconds)
- **Web1.** Url: http://dweet.io/dweet/for/thing (p.ex. http://dweet.io/dweet/for/football ; « thing » étant, dans ce cas, « football », mais vous pouvez indiquer n'importe quel autre nom du choix de la classe)
- **LocationSensor1.** Time Interval: 1,000 (every 1 second)

3|1|2 Programmation de blocs dans App Inventor

Cliquez sur l'onglet *Blocks* situé dans la barre de menus (FIG. 1).



FIG. 3

Cliquez sur *Button1* pour activer l'horloge de transmission de données et désactiver la fonction de modification du nom et du numéro du joueur.



FIG. 2 Composants de TableArrangement1

Cliquez sur *Button2* pour désactiver l'horloge de transmission de données et activer la fonction de modification du nom et du numéro du joueur.

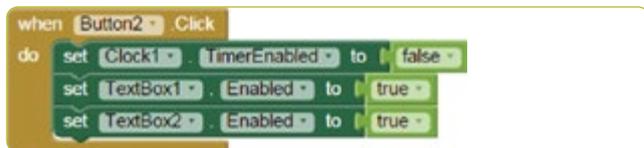


FIG. 4

Cliquez sur *Button3* pour fermer l'application.



FIG. 5

Cliquez sur *Button4* pour modifier l'URL du fichier dans lequel vous souhaitez publier les données sur *dweet.io*.

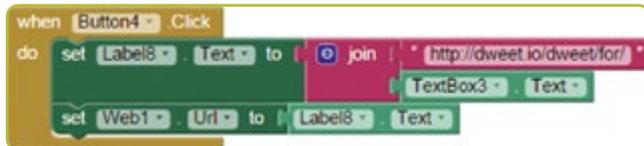


FIG. 6

Lorsque le capteur GPS détecte un changement de latitude ou de longitude, les données sont enregistrées dans *Labels 6* et *7*.



FIG. 7

Les données enregistrées, avec le nom et le numéro du joueur et sa position en termes de latitude et de longitude, sont transmises à intervalles réguliers, et, par défaut, toutes les cinq secondes (FIG. 8).

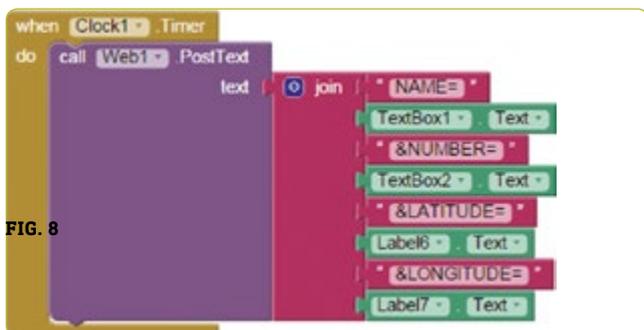


FIG. 8

L'onglet *ListPicker1* permet d'actualiser les données temporelles toutes les 1 à 20 secondes (FIG. 9).

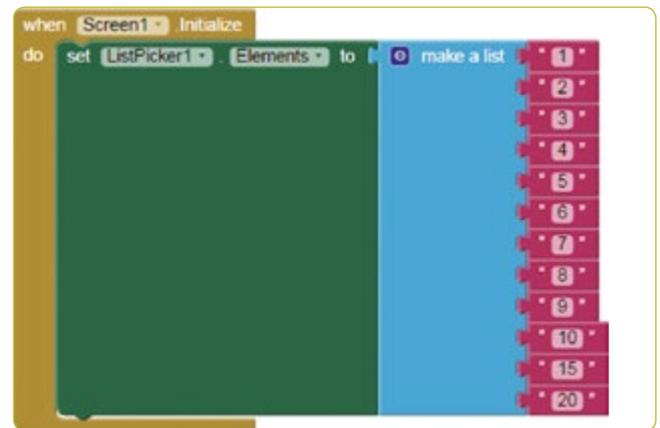


FIG. 9

La zone *Timer Interval* est définie en millisecondes. (FIG. 10).

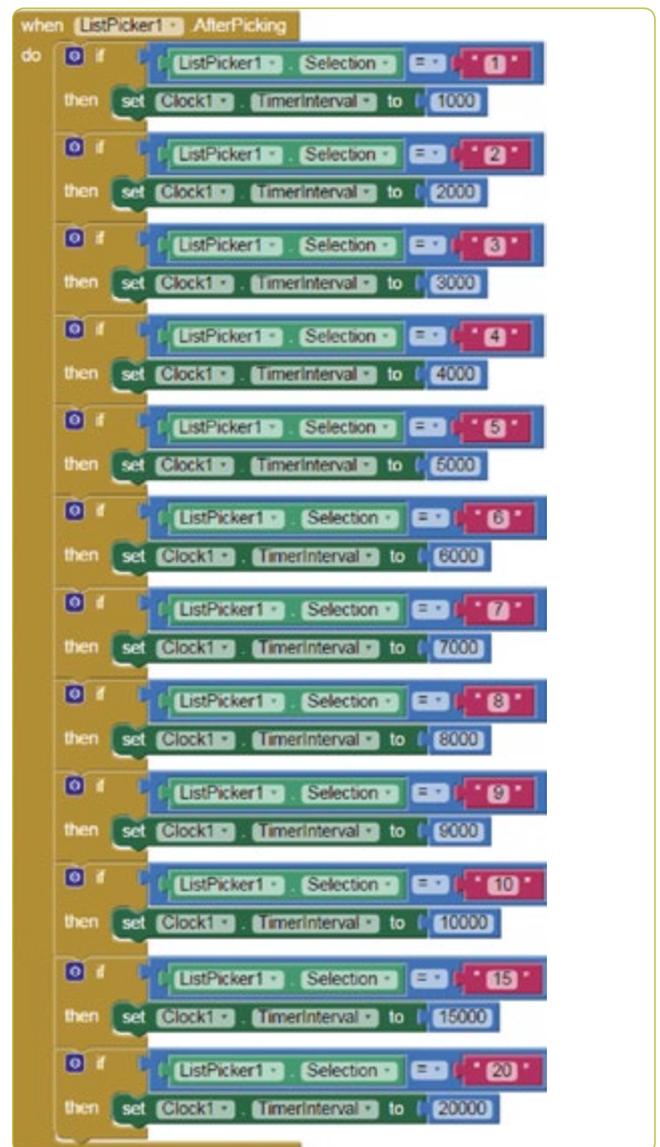


FIG. 10

3 | 2 Stockage de données sur dweet.io

dweet.io permet de publier des données issues de capteurs (FIG. 11 et 12). Ce réseau est plus connu sous le nom d'« Internet des objets (IoT) ». Dweet.io attribue une URL unique à chaque *objet*.

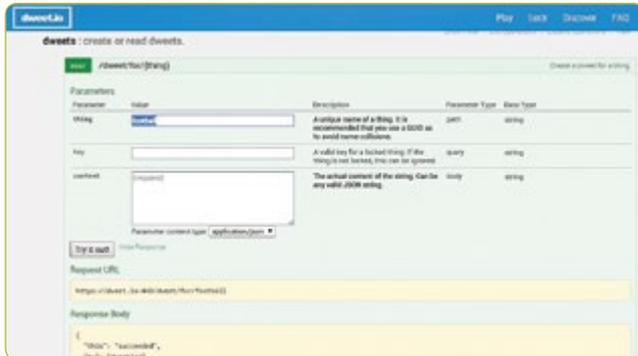


FIG. 11

- Sélectionnez *PLAY*
- Cliquez sur l'onglet *POST*.
- Saisissez le nom de l'emplacement de stockage de votre choix dans la zone *thing*. Le nom de l'emplacement de stockage défini dans l'application est *football*, pour l'exemple donné dans la présente ressource. Par conséquent, il doit également être nommé *football* dans dweet.
- Cliquez sur *Try it out!*

Utilisation de l'onglet *GET*.

Pour visualiser les données enregistrées, allez sur : `get/tweets/for/{thing}`, saisissez le *STORAGE NAME* choisi (par défaut *football*), puis cliquez sur *Try it out*.

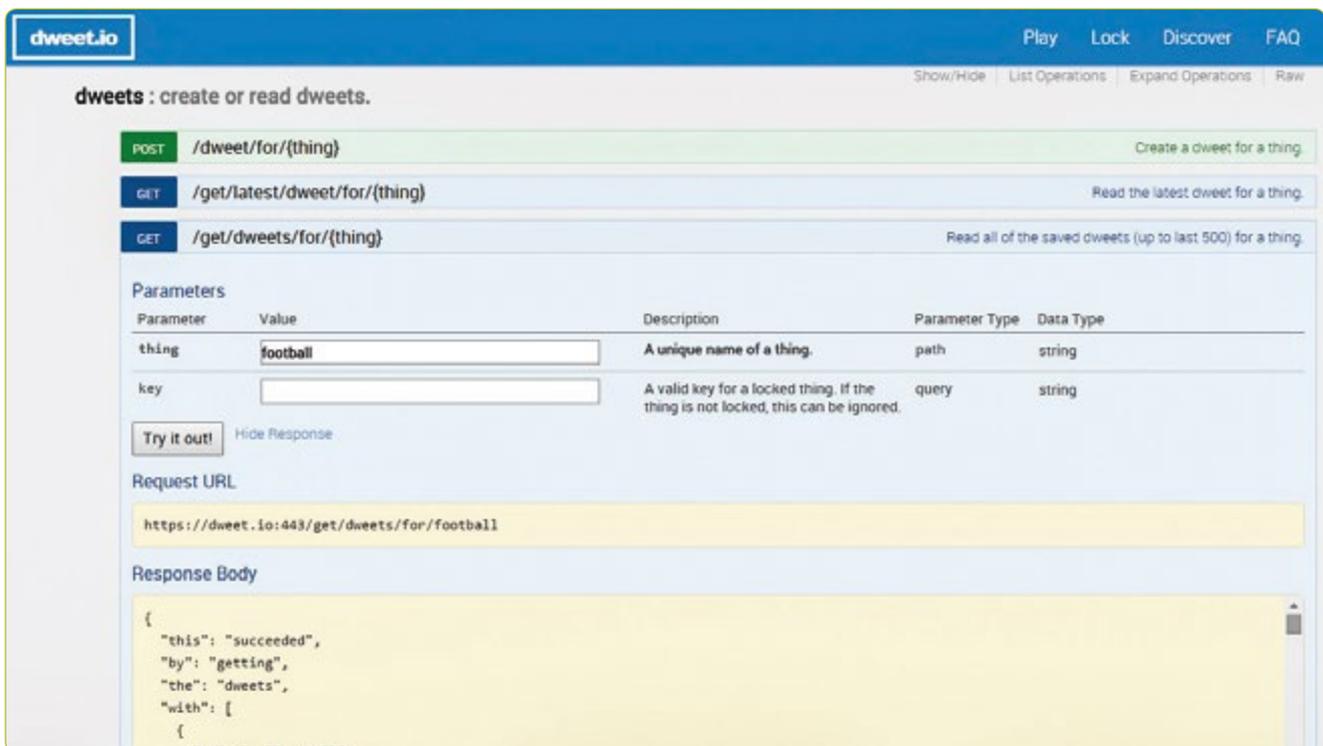


FIG. 12

3 | 3 Visualisation des données sur freeboard.io

Freeboard est un générateur de tableau de bord en temps réel, libre, permettant de se connecter à « l'Internet des objets ».

- Cliquez sur *Start Now*
- Saisissez un nom, puis cliquez sur *Create New*
- Cliquez sur l'onglet *Add Datasources*
- Cliquez sur *Select a Type*, puis sélectionnez *Dweet.io*
- Saisissez un nom *Name: football*
- Saisissez un nom d'objet *Thing Name: football*
- Cliquez sur *Save*
- Cliquez sur l'onglet *Add Pane*
- Cliquez sur le symbole +
- Cliquez sur *Select Type* et sélectionnez *Text*
- Title: *Player*
- Cliquez sur *+Datasource : Football and Name*
- Cliquez sur *Save*
- Cliquez sur l'onglet *Add Pane* et sélectionnez *Pointer*
- Cliquez sur *+Datasource : Football and Number*
- Cliquez sur *Save*
- Cliquez sur l'onglet *Add Pane*
- Cliquez sur le symbole +
- Cliquez sur *Select Google Map*
- Cliquez sur *+Datasource : Football and Latitude*
- Cliquez sur *Save*
- Cliquez sur l'onglet *Add Pane*
- Cliquez sur le symbole +
- Cliquez sur *Select Google Map*
- Cliquez sur *+Datasource : Football and Longitude*
- Cliquez sur *Save* (FIG. 13)

4 | CONCLUSION

À travers ce module, les élèves sont encouragés à développer leur propre application de transmission de données en temps réel. Ils ont ainsi l'occasion de capturer des « données réelles » sur le terrain, via leur smartphone, un appareil que la plupart des élèves ont dans leur poche.

Ils peuvent constater qu'il suffit d'avoir un smartphone pour collecter les données nécessaires et élargir la gamme de paramètres à analyser simultanément.

Il existe de multiples options d'analyse de données. Par exemple, on peut tracer et analyser les positions, sur le terrain, des joueurs d'une équipe complète, en procédant comme suit :

- Créez un fichier Excel comportant les valeurs de latitude et de longitude correspondant à la position de chaque joueur.
- Allez sur le site www.earthpoint.us, puis sélectionnez *Excel to Google Earth* ; sélectionnez votre fichier Excel et cliquez sur *View on Google Earth*.
- Dans Google Earth : vérifiez que le positionnement des joueurs est correctement représenté par rapport à leur géolocalisation.

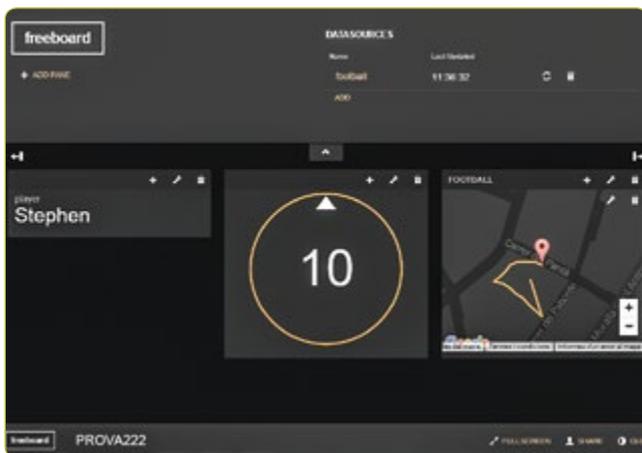


FIG. 13



FIG. 14 Élève portant un dossard pour permettre l'enregistrement des données

Autres possibilités de développement

- Déroulement du match : les élèves peuvent organiser ces fichiers chronologiquement, pour les visionner comme un film et analyser les mouvements et actions de l'équipe pendant une période définie du match.
- Surface employée par une équipe : après affichage, sur Google Earth, du positionnement des joueurs, les élèves peuvent se servir de l'utilitaire *Polygon Area*, disponible dans cette même application. En suivant des instructions simples, ils pourront calculer la surface couverte par la position des joueurs, afin de déterminer s'ils jouaient comme des « électrons libres » ou si leur jeu était bien coordonné.

5 | POSSIBILITÉS DE COLLABORATION

Les élèves peuvent monter des projets en partenariat avec d'autres écoles. Par exemple, une école pourra se charger des tâches de mesure en temps réel, tandis qu'une autre procédera à l'analyse des données. Cette méthodologie peut également être appliquée à l'étude d'autre sports.

RESSOURCES

- ^[1] MIT App inventor <http://ai2.appinventor.mit.edu/>
- <http://usuaris.tinet.cat/pcompte/football/> BIG DATA: Sending Data in Real Time
- www.realtracksystems.com/ WIMU Real track systems
- <http://go.sap.com/solution/industry/sports-entertainment/team-management/sports-one.html> SAP Sports One

STEPHEN KIMBROUGH · DAMJAN ŠTRUS

PENALTY À SUSPENS



 Tirs au but, analyse combinatoire, théorie des jeux

 Mathématiques, informatique, physique

 14 – 18 ans

1 | SYNOPSIS

Dans le cadre de cette étude, il est demandé aux élèves de calculer la probabilité de réussite d'un penalty, en prenant en compte l'ensemble des paramètres internes et externes (géométrie, temps de réaction, choix du côté de but vers lequel le gardien plonge).

Les élèves doivent également déterminer l'alignement optimal pour une épreuve de tirs au but, ainsi qu'une alternative équitable.

2 | INTRODUCTION THÉORIQUE

L'épreuve de tirs au but fut ajoutée aux règles de la Coupe du monde de football de la FIFA dans les années 70.

Elle intervient lorsque les équipes ne sont toujours pas départagées à l'issue de la prolongation, c'est-à-dire la période de jeu supplémentaire utilisée dans le cas où les scores sont à égalité après la durée normale du match. Avant l'introduction de cette nouvelle règle, l'équipe gagnante était tirée au sort, avec une pièce de monnaie.

L'épreuve de tirs au but compte parmi les moments les plus sensationnels d'un match.

À travers ce module, nous analyserons comment optimiser les résultats de cette épreuve pour une équipe donnée.

Il se divise en deux parties. Dans la première partie, les élèves calculent la probabilité de marquer un but d'un seul coup de pied. Dans la seconde, ils découvrent comment les tirs au but peuvent être optimisés.

3 | TÂCHES DES ÉLÈVES

3 | 1 Penalty simple

Pour déterminer la probabilité de marquer un but, il convient de décomposer le tir en deux ensembles de mouvements distincts ; ceux du gardien de but et ceux du tireur de penalty.

Nous déterminons d'abord les probabilités relatives au gardien de but, sur la base des règles de trigonométrie.

Le but consiste dans un rectangle d'une largeur de 7,32 m et d'une hauteur de 2,44 m. Un gardien de but a une taille moyenne d'environ 2 m, avec un rayon d'action des bras d'environ 2 m. Les élèves peuvent ensuite comparer la surface couverte par le gardien de but et celle couverte par le but. Cela permet de calculer la probabilité que le gardien de but arrête le ballon.

Le second facteur à prendre en compte est le temps de réaction du gardien et le laps de temps nécessaire pour qu'il atteigne le ballon.

Les élèves essaieront de déterminer quels sont les points cibles les plus favorables pour le tir. Réponse : les angles supérieurs du but. Puis, ils utiliseront les règles de trigonométrie pour calculer la distance jusqu'à ces points. Le temps de déplacement du ballon peut être calculé ($t = \frac{s}{v}$), et l'on pose l'hypothèse que la vitesse moyenne du ballon est de 100 km/h.

Le gardien de but dispose de ce laps de temps pour réagir et se lancer vers le coin concerné.

Les élèves mesureront leur propre temps de réaction par le biais de l'expérience de la règle lâchée puis attrapée au vol (voir p. 30). En utilisant la mesure de la distance parcourue par la règle, le temps de réaction peut être calculé selon la formule :

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

g : accélération de la pesanteur ; $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$

t : temps [s]

h : distance parcourue [m]

Si l'on soustrait le temps de réaction, le gardien de but dispose du temps restant pour parcourir la distance jusqu'au ballon. Cette distance est déjà connue, de sorte que la vitesse initiale du gardien doit correspondre à $v = \frac{x}{t}$ pour qu'il puisse atteindre le ballon. La vitesse moyenne d'un athlète lors d'un saut est d'environ 16 km/h.

En comparant ces deux vitesses, les élèves peuvent constater que le gardien de but ne pourrait vraisemblablement jamais atteindre le ballon. On peut en déduire que le gardien ne peut s'accorder un temps de réaction et doit choisir vers quel coin plonger avant que le penalty soit tiré.

Les élèves divisent le but en deux parties et calculent la probabilité pour que le ballon ne rentre pas dans la moitié du but. On pourra refaire ce calcul après avoir divisé le but en trois parties.

Il est difficile, pour le tireur de penalty, d'estimer les probabilités de marquer, mais on peut dire qu'un joueur qui tire du pied gauche négocie en général mieux un tir vers le coin droit, et vice-versa.

Les élèves pourront accumuler des données en faisant des séries de 10, 20 tirs dans un but vide, et en calculant la précision de leurs tirs.

Les élèves devront ensuite écrire un programme ou utiliser le code source indiqué à l'annexe ^[1] pour simuler un tir au but. Ils saisiront d'abord leurs données de probabilités. Tant pour le gardien de but que pour le tireur, la direction du ballon est aléatoire. En vertu de la loi des grands nombres, la probabilité de marquer un tir au but



FIG. 1 Vue du tireur au but

peut être déterminée par l'augmentation des tirs au but. Sur ce fondement, les élèves peuvent approfondir la question de savoir si le changement de stratégie de tir peut influencer sur la précision du tir. Les élèves peuvent rivaliser en utilisant leurs codes respectifs.

3 | 2 Épreuve de tirs au but

Les tirs au but s'opèrent toujours selon le même mode. Cinq joueurs de chaque équipe sont désignés pour tirer au but dans un

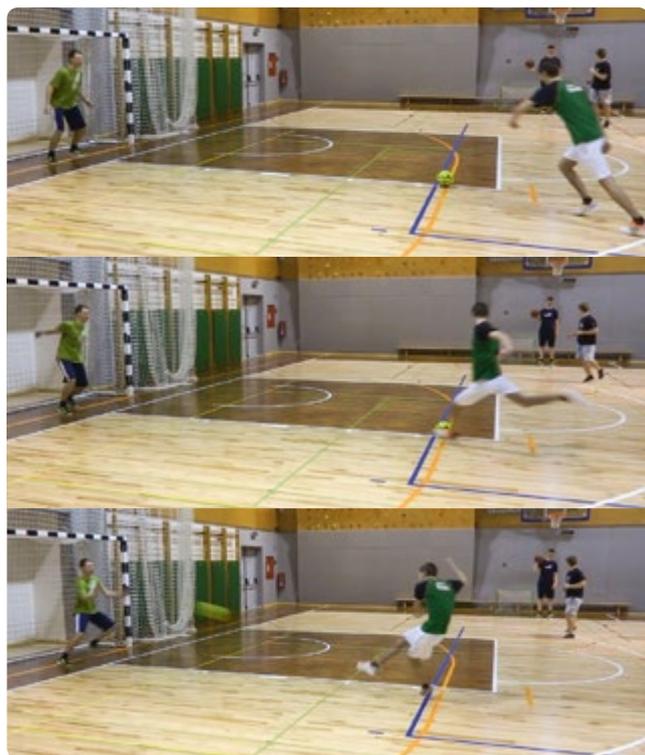


FIG. 3 Séquence des mouvements intervenant lors d'un tir au but



FIG. 2 Vue du gardien

ordre défini. On décide par tirage au sort, avec une pièce de monnaie, quelle équipe choisit celle qui commencera les tirs au but la première. Puis, les équipes tirent un penalty chacune à son tour.

Les élèves reçoivent une liste de joueurs avec une estimation moyenne de leurs chances de marquer un but. Ils sélectionnent cinq joueurs et déterminent un alignement pour le tir. Deux élèves parmi eux entrent en compétition pour jouer à un jeu programmé dans Scratch 2 [2]. Ils devront ensuite démontrer que leur alignement est le plus efficace. Sachant que la moyenne des chances de marquer un but est exprimée selon la formule

$$p = \frac{(p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5)}{5}$$
, il résulte que tous les alignements sont équivalents.

Le problème qui se pose dans des conditions de jeu réelles, par rapport aux simulations numériques, c'est que la pression sur chaque tireur de penalty monte à mesure que cette épreuve se déroule. Ce facteur peut être défini sur une valeur de 5% environ. La moyenne des chances de marquer un but est donc exprimée selon l'équation suivante :

$$p = \frac{(p_1 + 0,95p_2 + 0,90p_3 + 0,85p_4 + 0,80p_5)}{5}$$

Puisque nous avons $5! = 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 120$ alignements possibles, il conviendra de trouver une méthode pour optimiser le résultat. Les élèves pourront essayer de trouver une solution adaptée. On notera cependant que l'ordre du plus faible au plus fort reste la solution la plus efficace.

Sachant cela, les élèves pourront modifier le programme de Scratch 2 en l'adaptant à leurs besoins. [2]

Un autre facteur d'importance est l'effet psychologique qui intervient lorsque l'équipe qui tire la première marque un but. Cette situation soumet le tireur de but suivant à une pression encore plus grande.

Ensuite, on pourra comparer deux équipes de force égale, en adaptant le programme et en répétant les simulations plusieurs fois. On peut conclure que l'équipe qui commence à le plus grand nombre de chances de s'imposer dans l'épreuve des tirs au but.

Les élèves engageront ensuite une discussion pour déterminer une règle équitable pour les tirs au but. Ils testeront cette règle à travers le programme ci-dessus et détermineront si cinq tirs suffisent pour obtenir un résultat satisfaisant.

La séquence de tirs la plus favorable pour les équipes A et B, de huit joueurs chacune, serait AB, BA, BA, AB. Il s'agit de la suite de Thue-Morse. La séquence de tirs devra être modifiée, et la séquence obtenue sera à son tour soumise à modification.

4 | CONCLUSION

À travers ce module, les élèves apprennent à modéliser un scénario concret et à l'analyser mathématiquement. Ils sont également amenés à mettre en oeuvre leur aptitude à la programmation, en vue de résoudre des problèmes découlant de situations complexes et de créer leur propre programme de simulation d'un tir au but.

5 | POSSIBILITÉS DE COLLABORATION

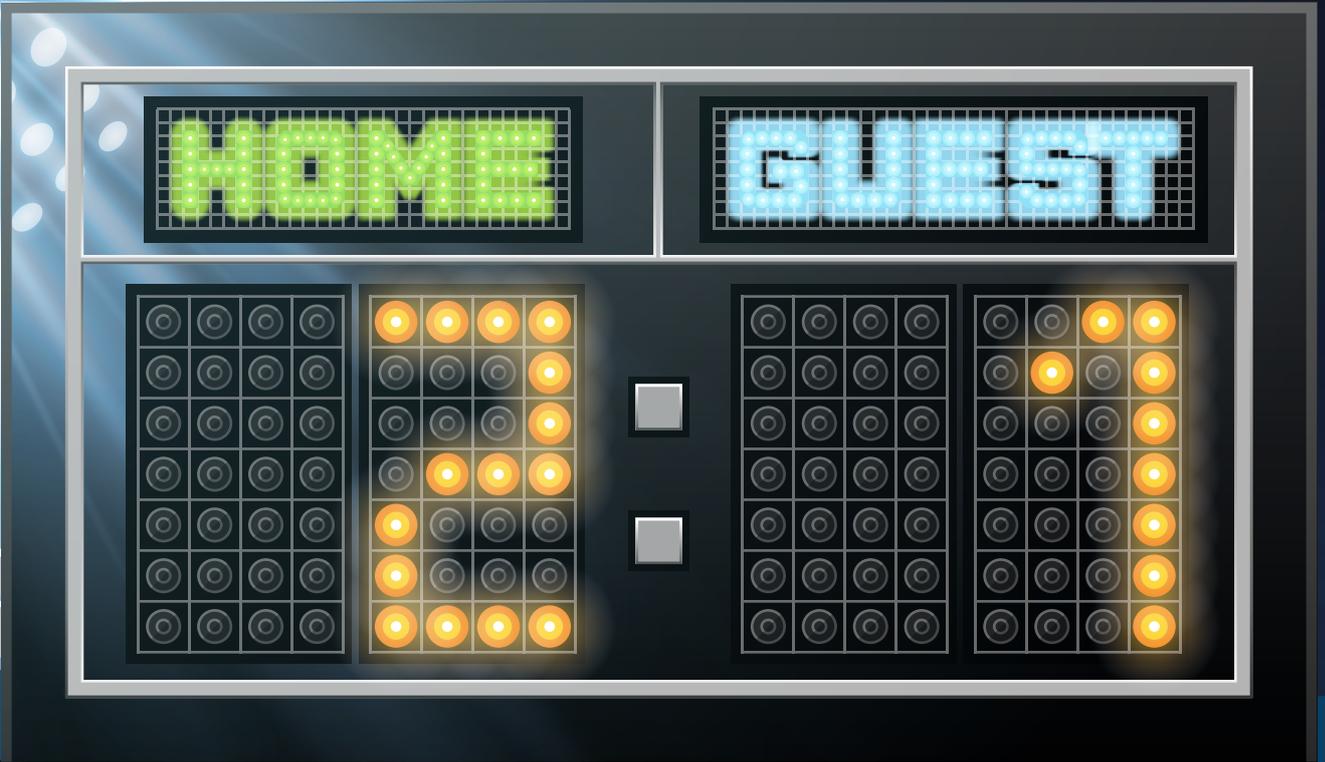
Les élèves pourront organiser une compétition au sein de leur classe ou avec une autre école, afin de mesurer l'efficacité de leurs différentes stratégies de tir au but (voir la section 3.1).

On pourrait également exploiter l'idée suivante : essayer d'« améliorer » les règles du football en modifiant la taille et la forme des buts ? Comment se solderait un tir au but si les buts étaient circulaires ou triangulaires ?

RÉFÉRENCES

^[1] www.science-on-stage.de/iStage3_materials

^[2] <https://scratch.mit.edu/scratch2download/>



STEPHEN KIMBROUGH · MARCO NICOLINI · DAMJAN ŠTRUS

LA BOURSE DU FOOTBALL



📄 Feuille de calcul, statistiques liées aux buts marqués, moyennes, diagrammes, fréquence relative, hasard, probabilité, quota

📊 Mathématiques, statistiques, TIC

👥 15 – 19 ans

1 | SYNOPSIS

Ce module permet aux élèves de manipuler, de comprendre et d'interroger les données réelles concernant le football, qui sont disponibles gratuitement sur Internet^[1] ou dans la presse.

2 | INTRODUCTION THÉORIQUE

Le football est le sport le plus populaire de la planète, avec un succès mondial qui transcende les différences nationales, culturelles, socio-économiques, et de genres. Avec une audience de plus en plus étendue autour du globe, le football continue d'exercer un attrait croissant sur le public, au point qu'il constitue désormais l'une des plus puissantes économies du sport dans le monde entier.

Le marché du football européen se chiffre à 19,4 € milliards d'euros^[2]. Un grand nombre de personnes dans le monde en vivent, notamment les joueurs, entraîneurs, arbitres, agences de publicité, médias, et surtout, les agences de paris. Le secteur des paris sportifs génère entre 606 € et 870 € milliards par an. Le travail des preneurs de paris consiste à établir des pronostics sur les chances de gagner ou de perdre d'une équipe et de calculer les cotes de paris. Pour réussir, un preneur de paris doit posséder de très fortes aptitudes aux mathématiques, afin de pouvoir analyser des ensembles de données complexes, en prenant en compte divers facteurs combinatoires et diverses variables complexes.

3 | TÂCHES DES ÉLÈVES

La plus importante compétence à acquérir pour les élèves est de savoir créer et développer une base de données à l'aide de feuilles de calcul. On trouve tous types de données de football sur Inter-

net, notamment les dates des matchs, scores obtenus localement et à l'étranger, scores complets et scores à la mi-temps, nombre de tirs, corners, fautes, hors-jeu, cartons jaunes et rouges, et, évidemment, cotes de paris. Les élèves pourront sélectionner les ensembles de données voulus à partir de ces sources et les importer dans leurs feuilles de calcul.

3 | 1 Saisie des données

Demandez d'abord aux élèves de créer une feuille de calcul comportant les résultats des matchs. Un exemple de feuille de calcul est représenté en **FIG. 1**. Cet exemple est basé sur la saison 2014/15 de la Bundesliga 1 d'Allemagne.

Les noms des équipes figurent dans la colonne de gauche (équipe locale) et sur la ligne supérieure, (équipe visiteuse) par ordre alphabétique.

Les résultats de chaque match sont inclus dans les deux cellules correspondantes : la cellule de gauche indique le nombre de buts marqués par l'équipe locale, et la cellule de droite, le score réalisé par l'équipe visiteuse. Par exemple, le match disputé par le Bayern de Munich, chez lui, contre l'équipe d'Augsbourg s'est soldé par un score de 0 à 1. Lorsque l'équipe d'Augsbourg a reçu le Bayern de Munich, le score obtenu était de 0 à 4.

3 | 2 Calculs

Demandez aux élèves de :

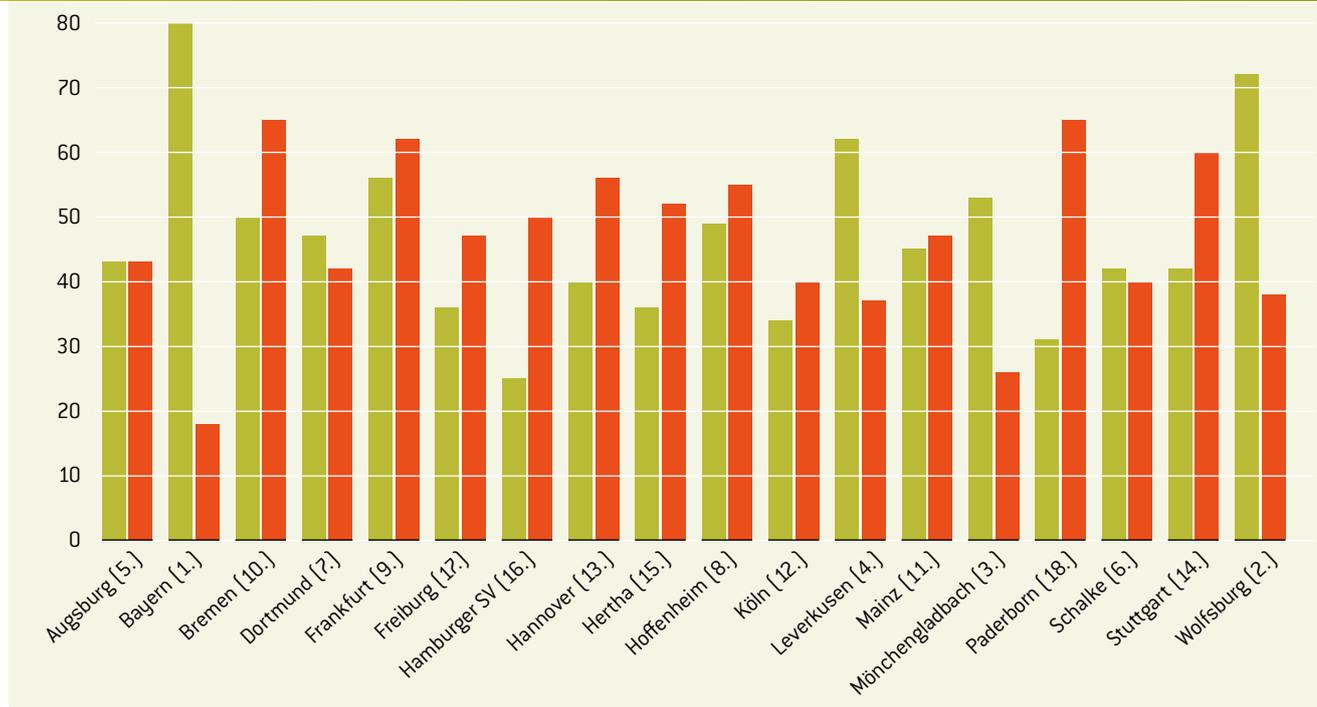
1. Développer une formule permettant de calculer le nombre de matchs disputés pendant la saison du Bundesliga 1 (Indication : 18 équipes étaient en lice).

Solution : Chaque équipe était opposée à 17 adversaires qui ont joué sur leur terrain et sur celui des équipes adverses, si bien que chaque équipe a joué $2 \cdot 17 = 34$ matchs (le Bundesliga 1 compte 34 manches). Puisqu'il y avait 18 équipes, chaque manche comportait neuf matchs. Donc, 306 matchs au total ont été disputés pendant la saison.

FIG. 1 Feuille de calcul comportant des résultats de matchs ; la Bundesliga 1 d'Allemagne, saison 2014/15

	équipe visiteuse équipe locale	Augsburg	Bayern	Bremen	Dortmund	Frankfurt	Freiburg	Hamburger SV	Hannover	Hertha	Hoffenheim	Köln	Leverkusen	Mainz	Mönchengladbach	Paderborn	Schalke	Stuttgart	Wolfsburg
1	Augsburg		0 4	4 2	2 3	2 2	2 0	3 1	1 2	1 0	3 1	0 0	2 2	0 2	2 1	3 0	0 0	2 1	1 0
2	Bayern	0 1		6 0	2 1	3 0	2 0	8 0	4 0	1 0	4 0	4 1	1 0	2 0	0 2	4 0	1 1	2 0	2 1
3	Bremen	3 2	0 4		2 1	1 0	1 1	1 0	3 3	2 0	1 1	0 1	2 1	0 0	0 2	4 0	0 3	2 0	3 5
4	Dortmund	0 1	0 1	3 2		2 0	3 1	0 1	0 1	2 0	1 0	0 0	0 2	4 2	1 0	3 0	3 0	2 2	2 2
5	Frankfurt	0 1	0 4	5 2	2 0		1 0	2 1	2 2	4 4	3 1	3 2	2 1	2 2	0 0	4 0	1 0	4 5	1 1
6	Freiburg	2 0	2 1	0 1	0 3	4 1		0 0	2 2	2 2	1 1	1 0	0 0	2 3	0 0	1 2	2 0	1 4	1 2
7	Hamburger SV	3 2	0 0	2 0	0 0	1 2	1 1		2 1	0 1	1 1	0 2	1 0	2 1	1 1	0 3	2 0	0 1	0 2
8	Hannover	2 0	1 3	1 1	2 3	1 0	2 1	2 0		1 1	1 2	1 0	1 3	1 1	0 3	1 2	2 1	1 1	1 3
9	Hertha	1 0	0 1	2 2	1 0	0 0	0 2	3 0	0 2		0 5	0 0	0 1	1 3	1 2	2 0	2 2	3 2	1 0
10	Hoffenheim	2 0	0 2	1 2	1 1	3 2	3 3	3 0	4 3	2 1		3 4	0 1	2 0	1 4	1 0	2 1	2 1	1 1
11	Köln	1 2	0 2	1 1	2 1	4 2	0 1	0 0	1 1	1 2	3 2		1 1	0 0	0 0	0 2	0 0	0 2	2 2
12	Leverkusen	1 0	2 0	3 3	0 0	1 1	1 0	4 0	4 0	4 2	2 0	5 1		0 0	1 1	2 2	1 0	4 0	4 5
13	Mainz	2 1	1 2	1 2	2 0	3 1	2 2	1 2	0 0	0 2	0 0	2 0	2 3		2 2	5 0	2 0	1 1	1 1
14	Mönchengladb.	1 3	0 0	4 1	3 1	1 3	1 0	1 0	2 0	3 2	3 1	1 0	3 0	1 1		2 0	4 1	1 1	1 0
15	Paderborn	2 1	0 6	2 2	2 2	3 1	1 1	1 0	3 2	0 3	1 0	0 0	0 3	2 2	1 2		1 2	1 2	1 3
16	Schalke	1 0	1 1	1 2	2 1	2 2	0 0	0 0	1 0	2 0	3 1	1 2	0 1	4 1	1 0	1 0		3 2	3 2
17	Stuttgart	0 1	0 2	3 2	2 3	3 1	2 2	2 1	1 0	0 0	0 2	0 2	3 3	2 0	0 1	0 0	0 4		0 4
18	Wolfsburg	1 0	4 1	2 1	2 1	2 2	3 0	2 0	2 2	2 1	3 0	2 1	4 1	3 0	1 0	1 1	1 1	1 3	1 1

FIG. 2 Graphique représentant les scores (buts marqués en vert et buts encaissés en rouge) de chaque équipe – Bundesliga 1 Allemagne, saison 2014/15



2. Calculez les statistiques de scores (buts marqués et encaissés) pour chaque équipe, pour toute la saison.

FIG. 2 Nombre total de buts marqués par chaque équipe (score en vert) et nombre total de buts encaissés par chaque équipe (score en rouge). Les élèves pourront ensuite comparer les résultats de leur feuille de calcul avec les données réelles des bases de données en ligne, afin de vérifier leurs calculs.

3. Calculez le nombre moyen de buts marqués par match pour l'ensemble de la saison.

Solution : 2,75

4. Calculez la moyenne de buts marqués et encaissés par chaque équipe par match. Les élèves dessineront un diagramme représentant les buts marqués et encaissés par chaque équipe pour chaque match. Demandez aux élèves de rapporter le diagramme au classement de chaque équipe dans le tableau final, et donnez-leur un moment pour établir la relation entre le tracé du diagramme et le classement (en **FIG. 2**).

5. Calculez la fréquence relative $p(n)$ du nombre de buts par match. Les élèves peuvent compter le nombre de matchs pour lesquels chaque équipe a marqué 0, 1, 2, 3 buts, etc. Ils créent une feuille de calcul pour chaque équipe et dessinent un diagramme figurant les fréquences relatives par rapport au nombre de buts marqués par match, pour l'ensemble des équipes. **FIG. 3** montre que le Bayern a joué un nombre total

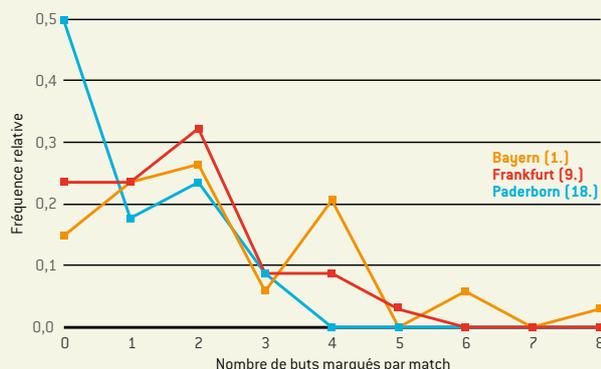
de 34 matchs, n'a pas marqué de buts au cours de cinq matchs, a marqué un but à l'issue de huit matchs, deux buts à l'issue de neuf matchs, etc. Incitez les élèves à utiliser les formules du tableur pour créer l'exemple de table de **FIG. 3**.

Le total de la deuxième colonne correspond au nombre de matchs joués par une équipe pendant la saison, le total de la troisième colonne est 1.

FIG. 3 Fréquences relatives $p(n)$ pour trois équipes

n	Fréquence relative					
	Bayern (1.)		Frankfurt (9.)		Paderborn (18.)	
	$N \cdot p(n)$	$p(n)$	$N \cdot p(n)$	$p(n)$	$N \cdot p(n)$	$p(n)$
0	5	0,15	8	0,24	17	0,50
1	8	0,24	8	0,24	6	0,18
2	9	0,26	11	0,32	8	0,24
3	2	0,06	3	0,09	3	0,09
4	7	0,21	3	0,09	0	0,00
5	0	0,00	1	0,03	0	0,00
6	2	0,06	0	0,00	0	0,00
7	0	0,00	0	0,00	0	0,00
8	1	0,03	0	0,00	0	0,00
	34	1	34	1	34	1

FIG. 4 Fréquence relative des buts par match pour trois équipes



6. Déterminez quels chiffres (calculés préalablement) on obtient si l'on multiplie le nombre de buts n par la fréquence relative correspondante $p(n)$, pour chaque ligne du tableau. Puis réduisez tous les produits :

$$\sum_{n=0}^{\infty} n \cdot p(n).$$

Solution : Les élèves obtiennent la moyenne de buts \bar{n} que chaque équipe a marqués par saison.

7. Utiliser la moyenne de buts pour calculer le nombre de « coïncidences » dans les scores de matchs. La coïncidence est une variabilité relativement efficace, et selon la loi de Poisson, elle est équivalente à $\sqrt{\frac{1}{\bar{n}}}$.

L'issue de chaque match est d'autant plus difficile à prévoir que le taux de coïncidence est élevé. Il s'agit seulement d'une estimation approximative ; toutefois on peut soutenir que le football relève de phénomènes de coïncidence. Le taux de coïncidence dans les paris réels peut atteindre 100 %. En même temps, le taux de coïncidence est plus élevé lorsque l'équipe est moins bien classée.

8. Tracez une courbe représentant l'évolution du classement de chaque équipe dans le tableau au cours de la saison (pour chacune des 34 manches). Discutez avec les élèves des causes éventuelles de ces changements dans le tableau.

3 | 3 Probabilités

9. Les élèves ont déjà calculé la moyenne des buts marqués par chaque équipe par match. Supposons que r_1 soit la moyenne de buts marqués par la première équipe par match, et r_2 , la moyenne de buts marqués par la deuxième équipe par match. R est défini comme le quotient $R = \frac{r_1}{r_2}$.

La probabilité que la première équipe marque le but suivant est calculée selon la formule $p_1 = \frac{R}{R+1}$, et la probabilité que la deuxième équipe marque le but suivant est calculée selon la formule

$$p_2 = 1 - p_1 = \frac{1}{R+1}.$$

Évidemment, les moyennes changent après chaque but marqué. Toutefois, nous n'en tiendrons pas compte et utiliserons les moyennes obtenues ci-dessus pour l'ensemble du match. Demandez aux élèves de calculer les probabilités p_1 et p_2 pour chaque équipe, sur la base des données collectées sur 33 manches, afin de comparer les résultats théoriques avec les scores réels obtenus à la 34^e manche de la saison 2014/15 du Bundesliga 1.

- Si, à un moment donné du match, les deux équipes ont marqué n buts, la probabilité que tous les buts aient été marqués par la première équipe correspond à p_1^n , et la probabilité que tous les buts aient été marqués par la deuxième équipe correspond à p_2^n . La probabilité que la première équipe ait marqué k sur n buts correspond à $\binom{n}{k} p_1^k p_2^{n-k}$.

10. La probabilité que l'équipe qui marque r buts par match marquera n buts dans un temps t (entre 0 = début et 1 = fin du match) est égale à $p = \frac{(rt)^n}{n!} e^{-rt}$.

Demandez aux élèves de dessiner la courbe correspondant aux probabilités de marquer n (0, 1, 2, 3 ou 4) buts au cours de 90 minutes de match pour chaque équipe. Utilisez les données collectées sur 33 manches, afin de comparer les résultats théoriques avec les scores réels obtenus à la 34^e manche de la saison 2014/15 du Bundesliga 1.

11. Les élèves pourront également vérifier la probabilité du résultat $n : m$. En théorie, cette probabilité se traduit par l'équation
$$p_{n,m} = \frac{(r_1 t)^n (r_2 t)^m}{n! m!} e^{-(r_1+r_2)t}.$$

Avec cette équation, on pose que le nombre de buts à l'actif d'une équipe est indépendant du nombre de buts marqués par l'autre équipe, ce qui n'est évidemment pas vrai, mais on pourra s'en servir pour formuler une première estimation. Les élèves compareront les résultats théoriques avec les scores réels obtenus à la 34^e manche de la saison 2014/15 du Bundesliga 1 (FIG. 5).

FIG. 5 Résultats de football pour la 34^e manche du Bundesliga 1 – saison 2014/15^[3]

Bayern	Mainz	2 : 0
Dortmund	Bremen	3 : 2
Frankfurt	Leverkusen	2 : 1
Hamburger SV	Schalke	2 : 0
Hannover	Freiburg	2 : 1
Hoffenheim	Hertha	2 : 1
Köln	Wolfsburg	2 : 2
Mönchengladbach	Augsburg	1 : 3
Paderborn	Stuttgart	1 : 2

4 | CONCLUSION

Il est presque certain qu'une analyse continue des divers ensembles de données peut permettre de prévoir les résultats des matchs de football. Cependant, pour prédire avec exactitude les scores de certains matchs, il faut prendre en compte de nombreux autres paramètres, outre le nombre de buts (accidents, condition physique des joueurs, état du terrain, conditions météorologiques, etc.). S'il existait une formule magique, les millionnaires seraient légions ! Et le travail des compilateurs de cotes relèverait davantage d'un art que de la science.

Mais l'objet de ce module n'étant pas les paris de football, ce sera le mot de la fin à ce propos.

5 | POSSIBILITÉS DE COLLABORATION

Les élèves des différents pays pourront collecter tous les résultats de matchs des meilleures ligues nationales de football. Ils calculeront ensuite les statistiques de buts (marqués et encaissés) par chaque équipe et la moyenne de buts marqués par match sur l'ensemble de la saison, et la moyenne de buts par match marqués et encaissés par chaque équipe.

Enfin, ils compareront leurs résultats de calculs et analyseront les résultats de leur ligue nationale. Toutes les équipes sont-elles plus ou moins égales, où existe-t-il une poignée d'équipes très fortes, quelques équipes très faibles, et une majorité d'équipes moyennes ? Les élèves trouveront peut-être même une troisième, une quatrième ou une cinquième catégorie...

RÉFÉRENCES

^[1] www.football-data.co.uk/

^[2] www.soccerex.com/about/what-soccerex/football-industry (08/11/2015)

^[3] www.rezultati.com/nogomet/njemacka/bundesliga-2014-2015/ (12/11/2015)

- ALI JE NOGOMET IGRA NA SREČO, Janez Strnad, Presek, ISSN 0351-6652, year 13 (1985/1986), number 1, pp. 9–15
- Matematika i nogomet (<http://pptfilesearch.com/single/79931/nogomet-i-matematika/>), Franka Miriam Brückler, Osijek, 1.6.2006 (08/03/2016)

LES TI AIDENT À MARQUER DES BUTS

Outil désormais essentiel pour le football, les TI interviennent dans l'entraînement avant les matchs et dans les analyses de mi-temps. Grâce aux techniques d'agrégation et d'analyse de données massives, les entraîneurs peuvent parfaitement harmoniser les mouvements de chaque joueur et ceux de l'équipe dans son ensemble, par rapport à ceux de l'équipe adverse, et automatiser ces réactions. Dans le cas d'outils analytiques tels que *Match Insights*, l'accent est mis sur l'analyse des ressources vidéo. Lors de l'entraînement, les capteurs attachés au corps des joueurs renseignent non seulement sur leur positionnement et leurs mouvements, mais aussi sur la fréquence de leur poul. Les statistiques sur les joueurs ou sur les équipes permettent de modéliser leurs performances et de faire des analyses comparatives. Les entraîneurs utilisent ces informations pour élaborer des stratégies d'entraînement optimales et des tactiques pour les futurs matchs.

ANALYSE VIDÉO (MATCH INSIGHTS)



TABLEAUX STRATÉGIQUES

Ces tableaux indiquent les schémas de déplacement des joueurs, notamment sur la ligne arrière, les approches, et les distances parcourues par les joueurs. Ces modèles indiquent à l'entraîneur, par exemple, dans quelles situations l'équipe adverse passe du marquage individuel à la défense d'une zone en vue d'optimiser les occasions de marquer.



CARTOGRAPHIE DES PERFORMANCES

Ces graphiques représentent les performances individuelles des joueurs, en indiquant leurs trajectoires et la surface de terrain dans laquelle ils évoluent. Cela permet à l'entraîneur de déterminer s'ils sont plus efficaces en attaque ou en défense. Et celui-ci peut ainsi exploiter pleinement le potentiel de ses joueurs et leur attribuer un rôle adéquat au sein du jeu.

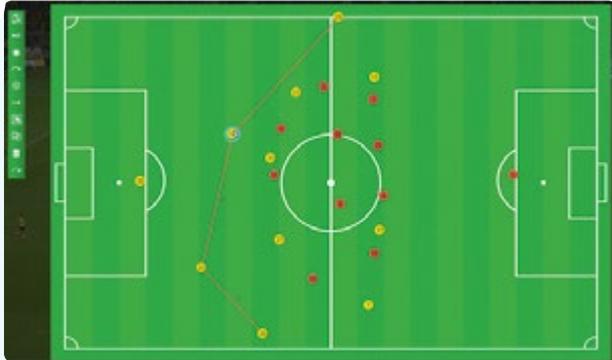


STATISTIQUES RELATIVES AUX JOUEURS

Les performances d'un joueur sont enregistrées pendant toute la durée du match. L'entraîneur a accès instantanément à des informations telles que : nombre de tirs vers le but, distance parcourue, nombre de passes, performances individuelles par rapport à l'ensemble des performances de l'équipe. Sont également enregistrés les risques d'accident pour un joueur.

UTILISATION RECOMMANDÉE POUR LE DÉPLOIEMENT ET L'ENTRAÎNEMENT DES JOUEURS

ANALYSE DES ACTIONS ET COMPARAISON DES ÉQUIPES



L'entraîneur compare les dix derniers matchs de deux équipes, par exemple dans des situations réelles ou possibles de marquage de buts. La comparaison peut souligner une faiblesse de l'équipe adverse dans des situations standard, ou montrer que celle-ci a plutôt tendance à inscrire des buts à la fin du match. Dans ce cas, l'entraîneur peut commander aux joueurs de créer des situations standard et de ralentir le rythme du jeu vers la fin du match.

UTILISATION RECOMMANDÉE POUR LES TACTIQUES D'ÉQUIPE

PERCEPTION ET TECHNIQUE DE TIR

Les grands clubs utilisent déjà des applications IT pendant les séances d'entraînement spéciales.



LE FOOTBONAUT

Il s'agit d'un cube, une sorte de cage dont les robots propulsent des ballons vers les joueurs. Il permet de travailler la technique et la coordination à l'égard du jeu à une touche de balle, du contrôle du ballon et de la précision de tir.

L'HELIX

Il s'agit d'un outil de simulation sur le terrain pour l'entraînement psychologique, visant à améliorer la compréhension du jeu à distance et lors des actions rapides.

ENTRAÎNEMENT COMPORTEMENTAL INDIVIDUEL



En dehors des séances d'entraînement courantes, les joueurs s'entre-tiennent avec les entraîneurs et spécialistes de l'analyse vidéo, en vue d'améliorer leurs performances et de se préparer au prochain match.



Illustrations fournies gracieusement par SAP /
SAP Sports One Software

Réalisé avec l'aimable collaboration de Jens Wittkopf,
Products & Innovation, Sports and Entertainment, SAP SE

RESSOURCES ET MATÉRIEL PÉDAGOGIQUE COMPLÉMENTAIRES



Les auteurs ont créé des ressources et du matériel pédagogique complémentaires pour les différents modules d'enseignement.

Ils sont téléchargeables gratuitement sur le site : www.science-on-stage.de/iStage3_materials

PROJETS-ÉVÉNEMENTS POUR iSTAGE 3 – LE FOOTBALL DANS L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES

Recherche de thèmes dans le cadre de la consultation finale sur le projet *iStage 2 – Smartphones in Science Teaching*, à Berlin, Allemagne.

▼ 5 décembre 2014

Premier atelier à Berlin, Allemagne

▼ 24 – 26 avril 2015

Présentation de la publication à la Représentation du Land de Hesse auprès de l'Union Européenne, à Bruxelles.

▼ 2 juin 2016

▲ 3 février 2015

Rencontre des coordinateurs à Dortmund, Allemagne.

▲ 6 – 8 novembre 2015

Second atelier à Berlin, Allemagne.

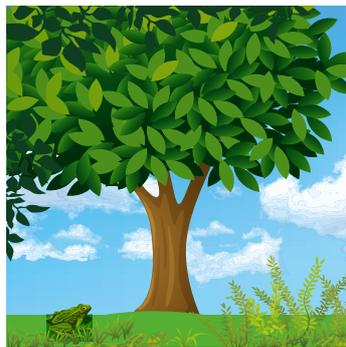
▲ Actions de suivi au cours des années 2016 et 2017

Formations d'enseignants dans divers pays de l'Europe

CARTES À JOUER

Voir le module d'enseignement « Bilan carbone d'un championnat » p. 12.

Téléchargeable à l'adresse www.science-on-stage.de/iStage3_materials





SCIENCE ON STAGE EUROPE

SCIENCE ON STAGE – LE RÉSEAU PÉDAGOGIQUE EUROPÉEN DES PROFESSEURS DE SCIENCES

- ... est un réseau dédié à l'enseignement de la science, de la technologie, de l'ingénierie et des mathématiques pour tous niveaux scolaires.
- ... offre une plate-forme européenne d'échanges pédagogiques.
- ... valorise l'enseignement de la science et de la technologie dans les écoles et auprès du public.

Le sponsor principal de Science on Stage Deutschland e. V. est la Fédération des Associations d'Employeurs Allemands dans l'Industries métaux et électriques (GESAMTMETALL), avec son initiative think ING.

Rejoignez-nous – trouvez votre pays sur
WWW.SCIENCE-ON-STAGE.EU

 www.facebook.com/scienceonstageeurope

 www.twitter.com/ScienceOnStage

Abonnez-vous à notre bulletin d'information :

 www.science-on-stage.eu/newsletter

AUTRE RESSOURCES



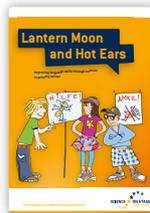
iStage – Matériel pédagogique pour l'enseignement des TICE (technologies de l'information et de la communication pour l'enseignement) dans le domaine des sciences naturelles

- Biologie et santé
- Notre environnement
- Du vélo à l'espace



iStage 2 – Smartphones in Science Teaching

- Matériel pédagogique pour l'utilisation de smartphones dans l'enseignement des sciences



Lantern Moon and Hot Ears

- Perfectionnement des aptitudes langagières à travers les sciences dans l'enseignement primaire
- Expériences, feuilles de calcul, textes, etc.



Téléchargement gratuit sur
www.science-on-stage.de/materials



SPONSOR PRINCIPAL DE SCIENCE
ON STAGE DEUTSCHLAND E. V.

think
ING.

Die Initiative für
Ingenieurnachwuchs

Proudly supported by

