ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Dossier de presse

SCIENCES 2024

LANCEMENT DE

SCIENCES 2024

LE 4 SEPTEMBRE 2018

Table des matières

3
Présentation du projet

5
Chiffres clés

7
Interview de Christophe Clanet

11
Les chercheurs sur la piste de ski

13
Bioperformance : les scientifiques décryptent le swing de golf

14
Des étudiants au service du handisport

16
Protéger contre les blessures

18
Du regard du physicien à l'innovation

Sciences^{2024}

SCIENCES^{2024} : SPORTIFS ET SCIENTIFIQUES JOUENT COLLECTIF POUR LES JO DE 2024

Le projet Sciences^{2024} vise à aider les sportifs français de haut niveau à améliorer leurs performances en vue des Jeux Olympiques et Paralympiques de 2024, en mettant à leur disposition la recherche menée par les scientifiques et les étudiants de 11 grandes écoles, et du CNRS.

UN PROJET À RETENTISSEMENT NATIONAL ET MONDIAL

En 2024, pour la première fois depuis 100 ans, les Jeux Olympiques d'été se dérouleront en France. À cette occasion, Laura Flessel, ministre des Sports, a fixé l'objectif de doubler le nombre de médailles remportées aux dernières olympiades, et d'obtenir 15 médailles d'or pour les Jeux Paralympiques. Pour relever ce challenge, Claude Onesta, ancien entraîneur de l'équipe de France de handball, s'est vu confier une mission pour améliorer la haute performance sportive : « Performance 2024 ».

C'est dans ce cadre, et pour contribuer à cette mission, que Christophe Clanet, directeur de recherche CNRS, directeur du Laboratoire d'hydrodynamique (LadHyX, École polytechnique/CNRS) et porteur de l'initiative « *Physique du sport et du handisport* » à l'École polytechnique, a réuni 11 établissements d'enseignement et de recherche ainsi que le CNRS pour créer Sciences^{2024}.

SCIENCES2024

Pour la première fois, les sciences fondamentales s'organisent collectivement pour aider les sportifs français dans leur quête de titres. À l'heure où les premières places se jouent à quelques millièmes près, tous les facteurs se doivent d'être optimisés.

Sciences2024 permet aux équipes de France de répondre aux problèmes qu'elles ont identifiés et d'analyser les disciplines et domaines où la science peut contribuer à l'amélioration de la performance. Cette initiative ambitionne de développer des « produits scientifiques » innovants dans les sciences telles que la physique, les mathématiques et l'ingénierie du sport, à destination des sportifs de haut niveau.

LA DÉMARCHE

Grâce à un soutien de l'armée, premier employeur des sportifs de haut niveau, les chercheurs et les étudiants vont à la rencontre des fédérations sportives sur le terrain, lors de « journées d'extraction ». Cette démarche vise à faire émerger des problématiques pertinentes pour qu'elles soient ensuite étudiées dans les laboratoires afin d'apporter des réponses concrètes aux athlètes dans leur recherche de performance.

LES OBJECTIFS AU-DELÀ DES JEUX DE 2024

Les retombées de Sciences2024 ne se limiteront pas aux Jeux Olympiques et Paralympiques de Paris.
Au-delà de cette échéance, l'initiative vise à renforcer les liens entre la recherche et le monde sportif, mais aussi à développer l'innovation dans le secteur des sciences associées au sport telles que la biomécanique, la biométrie, le big data, les capteurs et mesures ou encore la réalité virtuelle, les textiles et les nouveaux matériaux.

Les chiffres clés

- 12 partenaires : École polytechnique, CNRS, ENS Paris, ENS de Lyon, ENS Rennes, École Centrale de Lyon, INSA Lyon, Arts et Métiers, ENSTA ParisTech, ESPCI Paris, École Navale et l'École des Ponts ParisTech

- **56 DISCIPLINES SPORTIVES**
- **400 PROJETS ÉTUDIANTS**
- **100 PROJETS DE RECHERCHE**
- **50 CHERCHEURS RÉFÉRENTS**
- **50 DOCTORANTS**
- **50 POST DOCTORANTS**
- **3 MINISTÈRES ASSOCIÉS :**

Ministère des Sports – Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation – Ministère des Armées

Ils soutiennent

Laura Flessel, ministre des Sports et ancienne championne du monde et championne olympique d'escrime :

« SCIENCES2024 CONTRIBUE À FÉDÉRER L'EXCELLENCE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE FRANÇAISE, AU SERVICE DE NOS ATHLÈTES. J'ADRESSE MON PLEIN SOUTIEN ET CELUI DU MINISTÈRE DES SPORTS AUX CHERCHEURS, AUX ÉTUDIANTS ET AUX SPORTIFS MOBILISÉS POUR OPTIMISER LES CHANCES DE MÉDAILLES DE LA FRANCE AUX JO 2024 ».

Roxana Maracineanu, première française championne du monde de natation sur 200 mètres :

« ON DIT SOUVENT QUE SI ON A TOUT DONNÉ LE JOUR J, ON N'A RIEN À REGRETTER. MAIS QUOI DE PLUS FRUSTRANT POUR UN SPORTIF ET SON ENTRAÎNEUR QUE DE TOUT DONNER ET DE RÉALISER AU BOUT DU COMPTE QUE LES ADVERSAIRES AVAIENT TOUT DE MÊME UNE LONGUEUR D'AVANCE. SCIENCES2024 NOUS PROPOSE CETTE LONGUEUR D'AVANCE : UNE COLLABORATION UNIQUE DANS L'HISTOIRE DU SPORT, QUI PORTE SUR LE SAVOIR ET LA TECHNIQUE MAIS QUI REPOSE AUSSI SUR UN RÉEL ENTHOUSIASME À S'ENGAGER À NOS CÔTÉS POUR CETTE AVENTURE OÙ IL EST QUESTION DE PERFORMANCE ET DE HAUT NIVEAU. »

Martin Fourcade, champion du monde et champion olympique de biathlon :

« J'APPORTE MON SOUTIEN AU PROJET SCIENCES2024 : JE TROUVE FORMIDABLE QUE LES UNIVERSITÉS, LES GRANDES ÉCOLES ET LES ÉTUDIANTS PUISSENT METTRE LEURS EXPERTISES ET LEURS CONNAISSANCES AU SERVICE DU SPORT DE HAUT NIVEAU. LORS DES JOP, CELA SE JOUE PARFOIS SUR DES CENTIÈMES ET DES DIXIÈMES DE SECONDES, ET LES DÉTAILS FONT LA DIFFÉRENCE. »

le projet

Interview de Christophe Clanet,

DIRECTEUR DE RECHERCHE CNRS, DIRECTEUR DU LABORATOIRE D'HYDRODYNAMIQUE (LADHYX) ET PORTEUR DE L'INITIATIVE « PHYSIQUE DU SPORT ET DU HANDISPORT » À L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

PRÉSENTEZ-NOUS SCIENCES^{2024}...

Sciences^{2024} est un programme de recherche collectif dédié à l'accompagnement des athlètes français dans leur quête de titres aux Jeux Olympiques et Paralympiques de Paris 2024. À l'origine du projet, une discussion avec Frank Pacard, directeur de l'enseignement et de la recherche de l'École polytechnique à l'issue de l'attribution des JOP 2024 à la France. Il y a 40 disciplines Olympiques et 20 disciplines Paralympiques. Si nous voulions nous impliquer dans les Jeux, nous devions donc être capables de traiter quelques centaines de sujets dans les six ans à venir. L'X ne pouvant mener seule un tel projet, nous avons décidé d'ouvrir ce programme de recherche à des partenaires académiques et militaires pour travailler ensemble sur cette ambition scientifique et sportive.

QU'EST-CE QUE LA SCIENCE PEUT APPORTER AUX SPORTIFS ?

Pour répondre concrètement à votre question, je vais prendre deux exemples : en aviron, les rameurs doivent ramer de façon synchrone. Actuellement, c'est l'œil de l'entraîneur qui les corrige si les corps ou les rames ne sont pas à l'unisson. Ce que demandent les entraîneurs, c'est que la science leur donne un outil de mesure de leur synchronicité. Cette quantification leur permettra de mesurer leurs progrès au cours du temps.

Le second exemple est de nature différente : en course fauteuil, la question porte sur le choix des pneus : trop larges ils entraînent trop de friction. Trop fins, ils s'enfoncent dans le tartan de la piste et la friction est aussi importante. Entre ces deux limites il existe un optimum. Ce que demandent les athlètes, c'est que la science détermine cet optimum et leur donne ensuite une règle pour le trouver sur chacune des pistes sur lesquelles ils courent.

Ces deux exemples montrent que la réponse des sciences ne sera pas unique mais sera fonction de la question posée par les sportifs.

QUEL EST L'OBJECTIF CONCRET DE CE PROGRAMME ?

L'objectif fixé par la ministre des Sports Laura Flessel est de doubler le nombre de médailles olympiques (de 40 à 80) et d'obtenir 15 médailles d'or aux Jeux Paralympiques. Pour atteindre ce but, tout va compter, y compris la science.

Le premier objectif de Sciences[2024] est de répondre aux questions des sportifs : de façon très concrète, les chercheurs de Sciences[2024] se déplacent sur le terrain et discutent avec les sportifs (entraîneurs et athlètes) pour identifier les sujets sur lesquels les scientifiques peuvent aider. Ces questions sont ensuite traitées dans les laboratoires, et un retour est fait aux sportifs. Ce retour leur permet en général d'optimiser leur entraînement, leur matériel et in fine (avec un peu de chance) leurs performances. Les disciplines académiques mobilisées sont principalement la physique, la mécanique et les mathématiques.

L'objectif final est aussi d'établir des liens durables entre la science et le sport. Avant les JOP de 2024, nous nous concentrerons sur les questions posées par les athlètes. Certains des projets développés dans ce cadre seront prolongés après les JOP, notamment par la création de start-up. Le programme ambitionne également de susciter des vocations scientifiques auprès des jeunes. Cela se fait par une action très concrète : concevoir et distribuer des mallettes pédagogiques pour les collégiens et lycéens afin de faciliter l'apprentissage de la physique et des mathématiques par le sport. Ce projet est porté par notre ambassadrice Roxana Maracineanu et développé avec des professeurs de classe préparatoire.

D'OÙ VIENT CETTE UNION ENTRE LE SPORT ET LES SCIENCES ?

En raison de la place qu'occupent le sport et les sciences dans la formation de nos étudiants, l'École polytechnique a investi depuis huit ans dans la physique du sport et du handisport. Quand Paris a remporté les Jeux, nous étions prêts à relever ce défi collectif. Aujourd'hui Sciences[2024] rassemble 11 grandes écoles, une cinquantaine de chercheurs et une centaine d'étudiants pour travailler sur les nombreux sujets que nous confient les sportifs.

Sciences2024 s'appuie sur une méthodologie qui a fait ses preuves ces dernières années au sein de plusieurs laboratoires des écoles partenaires, en particulier au Laboratoire d'hydrodynamique (LadHyX, École polytechnique/CNRS), au Laboratoire de physique statistique de l'ENS Paris (LPS, CNRS/ENS Paris/ Sorbonne Université/Université Paris Diderot), à l'Institut de biomécanique humaine Georges Charpak des Arts et Métiers, au laboratoire Mouvement sport santé de l'ENS Rennes ou encore à l'INSA Lyon.

Des exemples de projets entrepris ou à venir sont présentés dans la suite de ce dossier.

Les chercheurs sur la piste de ski

AVEC MARTIN FOURCADE, CHAMPION DU MONDE ET CHAMPION OLYMPIQUE DE BIATHLON

Tous les skieurs le savent : le **FART** est une fine couche qui recouvre la semelle du ski afin de permettre une meilleure glisse. À partir d'un certain niveau, la maîtrise du choix du fart est indispensable pour donner toutes les chances de victoire aux athlètes. Mais d'un point de vue scientifique, ce savoir-faire empirique de la glisse reste encore mal compris.

C'était sans compter sur **MARTIN FOURCADE** et ses techniciens « *farteurs* » qui ont proposé aux chercheurs de s'y intéresser. Depuis 2015, les équipes de recherche de Lydéric Bocquet (directeur de recherche CNRS au LPS) et de Christophe Clanet (directeur de recherche CNRS au LadHyX) se sont penchées sur la question afin de comprendre le phénomène de friction qui entre en jeu lors de la pratique du ski.
Le premier objectif de ces travaux a été de reconstruire en laboratoire les conditions d'une piste de ski afin de réaliser des mesures de la friction, des frottements entre la neige et les skis. Après de premiers essais dans un congélateur à l'ENS, une « *station de ski* » a été mise en place au Laboratoire d'hydrodynamique de l'École polytechnique (LadHyX) dans un conteneur frigorifique. Un banc de mesure de 12 mètres ainsi qu'un plateau tournant conçu à l'ENS leur permettent de réaliser des expériences afin d'observer les différents régimes de contact entre les skis et la neige.

En travaillant en collaboration avec les farteurs de Martin Fourcade et avec des skis du champion, les scientifiques ont cherché à reproduire de manière répétable et contrôlée en laboratoire le savoir-faire empirique des farteurs qui sont capables de trouver, avec leur savoir-faire, le revêtement le plus adapté à une neige donnée. Les chercheurs ont également pu réfléchir à de nouveaux produits de fart afin de diminuer l'adhérence entre le ski et la neige. Alors que Martin Fourcade a remporté 3 médailles d'or avec l'équipe de France aux JO 2018, les recherches se poursuivent aux laboratoires dans le but d'améliorer la performance grâce à la compréhension de l'ensemble des phénomènes physiques qui entrent en jeu dans la glisse, le fart, mais aussi la texturation des semelles de skis.

Bioperformance : les scientifiques décryptent le swing de golf

AVEC OLIVIER ROUILLON, MÉDECIN FÉDÉRAL NATIONAL DE LA FÉDÉRATION FRANÇAISE DE GOLF

Le golf est un sport pratiqué à tout âge et dont les bénéfices pour la santé ont été démontrés tant sur le plan physique que sur le plan psychologique. À haut niveau, la maîtrise du swing constitue l'un des paramètres essentiels de la performance. Ce mouvement tridimensionnel reste pourtant très complexe à analyser compte tenu de sa rapidité d'une part - 0,3 secondes pour le mouvement correspondant à la descente du club jusqu'à l'impact avec la balle, 0,4 millisecondes pour l'impact en lui-même - et parce qu'il implique l'ensemble du corps humain d'autre part.

À l'initiative du **docteur Olivier Rouillon**, un programme de recherche a été lancé par le professeur Philippe Rouch à l'Institut de biomécanique humaine Georges Charpak des Arts et Métiers il y a 5 ans, afin de déterminer les facteurs de la performance ainsi que les facteurs permettant de garantir une pratique sportive dans les meilleures conditions en termes de santé.

Aujourd'hui, plus de cinquante joueurs amateurs comme professionnels ont pu participer à ce programme de recherche innovant, allant de la mesure du mouvement en 3D à l'analyse personnalisée du système musculo-squelettique afin de donner à chacun les clefs de la performance. Pour recueillir les informations, le joueur est tout d'abord radiographié afin d'obtenir son squelette en 3D à l'aide du système EOS®. Le participant est ensuite équipé de plus de 90 marqueurs réfléchissants permettant d'enregistrer son mouvement et de le coupler à son squelette personnalisé. Avec la connaissance des appuis au sol et des caractéristiques du vol de la balle obtenue via un radar de vol Trackman®, il est possible de lier la performance et le mouvement du golfeur.

Ces analyses tridimensionnelles personnalisées permettent ainsi aux athlètes d'augmenter leurs performances dans des conditions optimales.

Des étudiants au service du handisport

Des chercheurs et des élèves de Sciences[2024] sont allés à la rencontre de la Fédération française de handisport pour une « mission d'extraction », afin d'identifier des axes d'optimisation de la performance en athlétisme. Ils en ont extrait deux projets qui seront confiés aux étudiants des écoles partenaires de Sciences[2024].

OPTIMISER LES PROTHÈSES POUR LE SAUT EN LONGUEUR

Avec Marie-Amélie le Fur, détentrice de 8 médailles lors des Jeux Paralympiques, dont la médaille d'or en saut en longueur, 12 titres de championnats du monde et 4 titres de championnats d'Europe.
En 1998, l'athlète paralympique de saut en longueur Franck Barré a révolutionné la discipline en étant le premier à prendre appui sur sa prothèse pour sauter. Depuis, tous les athlètes prennent appui sur la « lame », une prothèse dont la forme, la taille et la rigidité varient en fonction des athlètes.

Plusieurs questions ont été soulevées par les athlètes qui proposent aux scientifiques de Sciences[2024] de rationaliser le choix empirique de la lame, en déterminant notamment la rigidité optimale pour sauter le plus loin possible. En effet, l'expérience montre qu'une lame rigide permet de courir plus vite alors qu'une lame souple permet de mieux convertir la vitesse en hauteur lors du saut. De nombreux facteurs pourront intéresser les étudiants, des matériaux utilisés à la forme de la lame, en passant par la position de la fixation ou la composition de la semelle.

MAXIMISER LA VITESSE DES FAUTEUILS DE COURSE

Avec Frank Fairbank, athlète en fauteuil, détenteur de 8 médailles lors des Jeux Paralympiques, 14 titres de champion du monde et 3 titres de champion d'Europe ; et Nicolas Brignone, jeune athlète en fauteuil qui compte déjà 1 titre de champion du monde et 2 titres de champion d'Europe.
Les fauteuils pour la course sont équipés de mains courantes que les athlètes « boxent », frappent avec leurs gants, pour faire tourner les roues jusqu'à 140 coups par minute.
En effet, pour atteindre des vitesses proches de 35km/h, ils sont plus efficaces en boxant qu'en tenant les mains-courantes sur tout le tour de roue. Quel est le diamètre optimal de ces mains courantes, la position idéale de l'athlète, ou encore les matériaux optimums pour permettre l'adhérence de la roue ? Ce sont autant de questions auxquelles les étudiants de Sciences[2024] pourront apporter des solutions afin que les athlètes voient leur puissance intégralement convertie en vitesse par le fauteuil.

Protéger les bles

L'AMÉLIORATION DE LA PERFORMANCE ET L'INVESTIGATION DU MATÉRIEL CONCERNE ÉGALEMENT LA PROTECTION DES SPORTIFS CONTRE LES BLESSURES.

Avec Didier Retière, directeur technique national et Julien Piscione, responsable de la cellule recherche de la Fédération française de rugby, et Sylvain Blanchard, médecin du Racing 92.

Dans tous les sports où le contact est permis (boxe, rugby, hockey, football américain...), les commotions cérébrales sont devenues un problème majeur et peuvent conduire à long terme au développement de maladies neurodégénératives. Les mécanismes de destruction des cellules cérébrales restent méconnus. En effet, à ce jour, il n'existe pas d'outil d'imagerie avec la résolution spatiale et temporelle suffisantes. Ainsi, l'une des hypothèses avancées est la formation de bulles dites « de cavitation », dues à l'accélération du mouvement de la tête lors du choc.

Pour mieux comprendre ce phénomène, un consortium sur les commotions cérébrales a vu le jour en réunissant le professeur Decq, neurochirurgien à l'APHP, Christophe Clanet et Caroline Cohen, chercheurs au Laboratoire d'Hydrodynamique (LadHyX, École polytechnique/CNRS) et leurs doctorants Thibault Guillet et Juliette Amauger, ainsi que Sébastien Laporte, chercheur à l'Institut de biomécanique Humaine Georges Charpak des Arts et Métiers.

Alors que les recherches des Arts et Métiers se concentrent sur la simulation numérique des déformations du crâne et du cerveau, les chercheurs du Laboratoire d'Hydrodynamique (LadHyX, École polytechnique/CNRS) étudient la mise en évidence de ces bulles. Ils ont réalisé une expérience à l'aide de ballons de verre remplis d'eau : lorsqu'on frappe le ballon suffisamment fort (pour des accélérations de l'ordre de 50 g), on observe une dépression dans le fluide qui mène à la formation de bulles de cavitation à l'opposé du point d'impact. Au moment où ces bulles s'effondrent, elles produisent un jet violent contre la paroi capable de casser le ballon. Pour mettre en évidence ces bulles de cavitation dans un milieu opaque comme la tête, l'idée est d'utiliser des capteurs piézoélectriques collés sur la peau afin d'entendre les bulles, c'est-à-dire de détecter les vibrations hautes fréquences générées par leur effondrement.

Un bandeau de capteurs va ainsi prochainement être testé par les rugbymen du Racing 92 pour tenter de détecter les éventuels phénomènes de formation des bulles de cavitation. Un des prolongements de ce travail d'étude sur les commotions sera de fabriquer un casque en utilisant des matériaux innovants afin de protéger les sportifs lors des impacts violents. Dans ce but, un projet est en cours de construction en collaboration avec Philippe Bourrianne, Robert Cohen et Gareth McKinley au MIT pour étudier les impacts dans les fluides rhéoépaississants.

er contre
essures

Du regard d
à l'inno

LE CARACTÈRE TRÈS PARTICULIER DES RECHERCHES RÉALISÉES AUPRÈS DES SPORTIFS POUSSENT LES CHERCHEURS À DÉVELOPPER DE NOUVELLES MÉTHODES D'ANALYSE ADAPTÉES AU TERRAIN MAIS AUSSI À CONCEVOIR DES OUTILS QUI PEUVENT FAIRE L'OBJET DE CRÉATION DE START-UP.

Avec Rémi Moreno Flores et Valérian Sauveplane, équipe de France de tir, champions d'Europe de tir à la carabine par équipes au championnat d'Europe de tir 2017. Les tireurs de l'équipe de France ont questionné Christophe Clanet et Caroline Cohen au Laboratoire d'Hydrodynamique (LadHyX, École polytechnique/CNRS) ainsi que Nicolas Taberlet (ENS Lyon) et Nicolas Plihon (CNRS), tous deux au laboratoire de physique de l'ENS de Lyon (CNRS/ENS Lyon/Université Claude Bernard Lyon 1) sur le « saut de bouche », ce mouvement du canon vers le haut lors d'un tir, afin de déterminer s'il a une influence sur la précision.
En travaillant conjointement avec Emeric Daniau, expert en armes et munitions de la Direction Générale de l'Armement (DGA), et en étudiant précisément la sortie de la balle d'une carabine à l'aide d'une caméra rapide, les chercheurs ont pu observer que ce mouvement intervient une fois la balle sortie de la carabine. Ils ont également mis en évidence un mouvement beaucoup plus subtil, invisible à l'œil nu et indépendant du tireur, mais qui a une influence sur la précision à grande distance.
Ces observations ouvrent de nouvelles perspectives de recherche sur les ondes de déformation qui se propagent le long du canon et qui empêchent à ce jour une précision optimale du tir.

du physicien
ovation

L'INSTRUMENTATION, UN FACTEUR CLEF SOURCE D'INNOVATION

Avec Brice Loubet, champion d'Europe Junior 2016 et Jean-Maxence Berrou, entraîneur de l'équipe de France de pentathlon moderne.

Le besoin de mesures pour rationaliser les performances des sportifs a donné naissance à une start-up au sein du Laboratoire d'hydrodynamique de l'École polytechnique (LadHyX) : *Phyling*. En impliquant des jeunes créatifs aux compétences multiples dans la fabrication de capteurs et dans l'analyse de données, *Phyling* propose des solutions d'instrumentation pour le sport de haut niveau. Ils ont ainsi travaillé sur la conception d'un pistolet instrumenté pour le pentathlon moderne, une discipline mêlant l'escrime, la natation, l'équitation, le tir au pistolet et la course à pied.

Le tir du pentathlon moderne étant un tir laser, les facteurs d'imprécision résident dans la pression exercée par le doigt du tireur sur la « queue de détente », appelée communément la gâchette. *Phyling* a donc équipé un pistolet d'un capteur de pression et d'un accéléromètre permettant ainsi aux entraineurs d'avoir un suivi technique de l'athlète et son évolution à l'entraînement.

Phyling travaille en étroite collaboration avec les sportifs et les chercheurs de Sciences[2024] pour apporter des solutions techniques aux questions scientifiques que pose l'amélioration de la performance des athlètes.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Dossier de presse

SCIENCES 2024

LANCEMENT DE

SCIENCES 2024

LE 4 SEPTEMBRE 2018