



# LA TECHNO- LOGIE AU SERVICE DU SPORT

SANTÉ  
DIVERTISSEMENT  
PERFORMANCE



**ACADEMIC NETWORK  
FOR SPORTS**  
LAUSANNE REGION,  
SWITZERLAND

EPFL est partenaire du réseau Smart Move qui associe des institutions académiques en un réseau unique en son genre. De la recherche fondamentale aux tests en conditions réelles, le réseau Smart Move facilite l'accès à des expertises variées et complémentaires permettant d'amener une réponse interdisciplinaire aux défis des milieux du sport.

**Humanités et sciences de la vie**  
UNIL – Université de Lausanne

**Technologie**  
EPFL – École polytechnique fédérale de Lausanne  
HEIGVD – Haute école d'ingénierie et de gestion du canton de Vaud

**Santé et médecine**  
CHUV – Centre hospitalier universitaire vaudois  
HESAV – Haute école de santé Vaud

**Gouvernance internationale du sport**  
UNIGE – Université de Genève

**Education**  
HEPVD – Haute école pédagogique du canton de Vaud

**Hospitalité**  
EHL – École hôtelière de Lausanne

**Design**  
ECAL – École cantonale d'art de Lausanne

[thesmartmove.ch](http://thesmartmove.ch)

# La technologie au service du sport



Dans le monde dynamique du sport, où se croisent tradition et innovation, une région s'impose comme l'épicentre d'avancées révolutionnaires : Lausanne et le canton de Vaud, lieu de collaborations entre fédérations sportives, acteurs industriels et académiques.



Connue dans le monde sportif pour la présence du Comité international olympique et celle de nombreuses fédérations sportives, la région abrite également des institutions académiques de renommée mondiale (organisées dans un réseau appelé SmartMove), des start-ups et des sociétés établies actives dans le domaine du sport. Cette présence et les soutiens à l'innovation disponibles dans la région en font une place de choix pour le développement de projets novateurs.



Au-delà de la performance, le sport, dans sa définition la plus large, bénéficie des liens étroits avec l'industrie des soins et de la santé et les acteurs de la « Health Valley » existante dans notre région.



L'EPFL est depuis longtemps impliquée dans des initiatives technologiques audacieuses faisant rayonner son expertise au niveau international. Connue pour son soutien scientifique aux projets Alinghi, Hydros et Rivages, l'EPFL a depuis structuré son activité dans le domaine de la sportech. Ces dernières années, ce sont près de cinquante laboratoires qui ont appliqué leurs expertises dans des projets en lien avec le sport et qui participent directement à l'attractivité de la région.



Cette brochure donne un aperçu de ces développements de pointe. La variété des projets démontre également le potentiel considérable pour des collaborations interdisciplinaires.

Nous vous souhaitons une agréable lecture et sommes à votre disposition pour vous aider à initier de nouvelles collaborations avec le milieu académique.

# Projets

## QUANTIFICATION DE SOI

- 01 Un système d'évaluation de l'intégrité de l'articulation du genou
- 02 Respiration et prise de décision
- 03 Fabrication numérique de dispositifs portables intelligents et personnalisés
- 04 X-HEEP: solution open source pour la collecte de données
- 05 Des biocapteurs pour assurer un suivi continu des athlètes
- 06 Xsenso: pour des mesures physiologiques impossibles avec des capteurs traditionnels
- 07 Patches flexibles pour l'analyse de la transpiration
- 08 Iris: la bague intelligente
- 09 Comprendre les fonctions mitochondriales et leur impact sur la performance des athlètes
- 10 Inyu: un système d'analyse de l'état de santé globale portable
- 11 Un avatar permettant d'estimer la dépense énergétique de différents styles de marche
- 12 La chaleur couplée à l'exercice physique pour prévenir et limiter l'arthrose du genou
- 13 Évaluer les réponses individuelles aux facteurs de stress
- 14 Moduler notre motivation grâce à l'alimentation
- 15 DiMo: « digital motion », analyse du mouvement, fitness et bien-être
- 16 Informations objectives pour prévenir les blessures
- 17 STill: des expériences corporelles immersives qui favorisent le bien-être mental
- 18 La recherche en design innove en conjuguant pratiques ancestrales et technologies

## ÉQUIPEMENTS

- 19 CompPair: des matériaux composites et polymères réparables pour le sport
- 20 Souder le bois pour des structures plus durables
- 21 Un noyau intégrant des lames de bois compressé
- 22 Des matériaux composites et polymères optimisés pour le sport
- 23 L'aérodynamisme des virages
- 24 L'utilisation des polymères renforcés de fibres pour remplacer le bois dans les skateboards
- 25 SP80: la technologie au service de l'exploit sportif
- 26 Utilisation des matériaux magnétiques dans le sport
- 27 Prévention des risques de blessures lors de courses de ski alpin
- 28 Optimisation de planeurs de compétition
- 29 Fibres et textiles intelligents
- 30 Twiice: l'utilisation de la robotique dans le sport donne accès à de nouveaux horizons
- 31 Wiite: l'exosquelette qui permet la randonnée à ski
- 32 Spriint: un exosquelette de course à pied
- 33 Vêtements actifs pour mesurer le mouvement et fournir des données physiques
- 34 Gant haptique pour sentir les objets virtuels comme des objets réels
- 35 Équipement pour la prévention des commotions
- 36 Un casque intelligent pour mesurer la sévérité des impacts crâniens
- 37 Casques intelligents de mesure de lésions cérébrales
- 38 Repenser les casques de ski pour apporter une meilleure protection
- 39 Neural concept: outil d'optimisation basé sur l'intelligence artificielle pour le design
- 40 À la recherche de la tenue sportive idéale
- 41 Nouvelle pompe portable et autonome dans un format de fibre
- 42 Une prothèse de la main nouvelle génération redonnant le sens de la proprioception et du toucher

## MOUVEMENT ET POSITION

- 43 WattsUp : un compteur de puissance pour la course à pied
- 44 Athlétisme : détection du passage des haies dans un 400 mètres
- 45 SmartSwim : système d'analyse intelligent de la natation pour l'apprentissage et l'entraînement
- 46 L'intelligence artificielle au service de la performance sportive
- 47 Suivi des joueurs lors des matchs
- 48 Estimation de posture humaine et du mouvement d'un joueur en 3D
- 49 DeepLabCut : estimation de la pose et analyse comportementale
- 50 Analyse vidéo et prédiction de mouvement
- 51 Un avatar pour améliorer les mouvements
- 52 Bilan sportif automatisé et programme d'entraînement personnalisé
- 53 Modélisation numérique de la locomotion humaine
- 54 Illumove : analyse de mouvements précise et personnalisable
- 55 L'imagerie vidéo pour quantifier les plongeurs
- 56 Des réseaux neuronaux artificiels pour étudier la proprioception

## ANALYSES DE DONNÉES

- 57 Katapult : un catalyseur de performance pour les athlètes
- 58 LinkAlong analyse le web social
- 59 SecureRun : protection des données dans les services géo-localisés
- 60 Aide au choix de ski
- 61 Food & You : l'étude pour optimiser sa nutrition
- 62 Motivations et barrières sociales pour des régimes sains et durables
- 63 SP80 : instrumentation de kite
- 64 Simuler un vent réel
- 65 Simulation numérique frugale
- 66 Trajets actifs

## FAN EXPÉRIENCE

- 67 Conférer à l'audio-visuel un nouvel impact dans le sport
- 68 Infrastructures et aménagements urbains favorisant le bon déroulement d'événements sportifs
- 69 Nouvelles opportunités de broadcasting grâce à l'évolution des réseaux sans fil
- 70 Heritage Lab
- 71 Augmentation d'information lors des retransmissions
- 72 Kickoff.ai : une plateforme de prédictions de résultats de match de foot
- 73 Connecter avec son public
- 74 RayShaper : solutions optiques numériques au service du multimedia live
- 75 Engagement des fans

# Laboratoires

BIROB	Laboratoire de biorobotique	11, 53
CCLAB	Laboratoire de construction en composites	24
CHC	Centre d'innovation dans les patrimoines culturels	70
CREATE Lab	Laboratoire de conception et fabrication de robots informatiques	37
CSS	Centre sport et santé du Service des sports UNIL-EPFL	57
CVLAB	Laboratoire de vision par ordinateur	28, 39, 40, 47, 48, 55, 71
eM+	Laboratoire de muséologie expérimentale	52
EPFL+ECAL Lab	Centre de recherche en design de l'EPFL et de l'ECAL	17, 18, 67, 73, 75
ESL	Laboratoire des systèmes embarqués	01, 04, 10
FIMAP	Laboratoire des fibres et matériaux photoniques	29
GEOME	Groupe d'épidémiologie moléculaire géospatiale	66
HERUS	Laboratoire de relations humaines-environnementales dans les systèmes urbains	62
ICLAB	Laboratoire des systèmes intégrés	05
IIG	Groupe de recherche en interaction immersive	51
INDY1	Laboratoire de la dynamique de l'information et des réseaux 1	72
LASUR	Laboratoire de sociologie urbaine	68
LBO	Laboratoire de biomécanique en orthopédie	12, 35, 38
LDS	Laboratoire pour la sécurité des données	59
LFMI	Laboratoire de mécanique des fluides et instabilités	63, 64, 65
LGC	Laboratoire de génétique comportementale	13, 14
LISP	Laboratoire de physiologie intégrative et systémique	09
LMAM	Laboratoire de mesure et d'analyse des mouvements	15, 16, 27, 36, 43, 44, 45
LMTS	Laboratoire des microsystèmes souples	03, 07, 34, 41
LNCO	Laboratoire de neurosciences cognitives	02, 17
LPAC	Laboratoire de mise en œuvre de composites à haute performance	19, 22, 60
LQM	Laboratoire de magnétisme quantique	26
LSIR	Laboratoire de systèmes d'information répartis	58
MAKE	Projets interdisciplinaires et d'étudiants soutenus par l'EPFL	20, 21, 23, 25, 60, 63
Mathis Lab	Mathis Lab   Chaire Fondation Bertarelli de neuroscience intégrative	49
MMSPG	Groupe de traitement du signal multimédia	74
MSIC Lab	Laboratoire de circuits intégrés à signaux mixtes	08
Nanolab	Laboratoire des dispositifs nanoélectroniques	06
OES	Chaire en opérations, économie et stratégie	60
REHAssist	Rehabilitation and Assistive Robotics	30, 31, 32
RRL	Laboratoire de robotique reconfigurable	33
SCI STI MM	Multimedia Group	69
TNE	Laboratoire de neuro-ingénierie translationnelle	42
TOPO	Laboratoire de topométrie	54
UPAMATHIS	Groupe Mathis pour les neurosciences computationnelles et l'IA	49, 56
UPSALATHE	Salathé Lab   Digital Epidemiology Lab	61
VITA	Intelligence visuelle pour les transports	46, 50

# QUANTIFICATION DE SOI

**L'athlète est au cœur de la performance sportive.**

**Les derniers développements technologiques permettent de mesurer des paramètres physiologiques et psychologiques, de mieux disséquer la performance et d'optimiser l'entraînement.**

**Ces approches déployées pour les performances sportives des athlètes peuvent être appliquées à l'activité physique et sportive pour tous, contribuant à la santé et au bien-être au quotidien.**

# 01 QUANTIFICATION DE SOI



Un dispositif portable intelligent et non invasif pour mesurer les informations acoustiques, cinématiques et thermiques lors d'exercices spécifiques

## Un système d'évaluation de l'intégrité de l'articulation du genou

Les athlètes présentent un risque accru de blessures au genou et de douleurs associées en raison des mouvements brusques inhérents aux sports. Une détection plus précoce des affections du genou est la première étape vers des plans de traitement et des résultats optimisés.

Le Laboratoire des systèmes embarqués (ESL) de l'EPFL et sa spin-off Sensemodi développent un système intelligent pour l'évaluation de l'intégrité du genou pendant le mouvement. Le système se compose d'un dispositif de genou pour collecter des informations multimodales de l'articulation, et d'une plateforme d'analyse de données pour extraire les caractéristiques des signaux et les combiner, grâce à une approche basée sur l'apprentissage automatique. La technologie multi-capteurs couvre les aspects suivants :

- **Acoustique** – pour mesurer les sons pendant le mouvement et quantifier la friction (crépitation) en tant qu'indication d'une lésion tissulaire.
- **Cinématique** – pour évaluer les asymétries de mouvement, quantifier l'instabilité des articulations et détecter toute anomalie de la démarche.
- **Thermique** – pour évaluer la distribution de la température et quantifier l'inflammation localisée (par ex. épanchement, synovite).

La combinaison des modalités augmente la robustesse de l'évaluation, fournit une meilleure estimation de la gravité de l'affection touchant l'articulation, mais permet également de discriminer les affections potentielles du genou sur la base du cumul des symptômes quantifiés.

Le test peut être effectué en dix minutes et consiste en des tâches simples telles que la marche, les exercices de steps et de position assis / debout, etc. tout en portant l'appareil. Les biomarqueurs recueillis peuvent ensuite être fournis au personnel soignant pour créer un plan de traitement centré sur l'athlète afin de parvenir à une récupération fonctionnelle complète.

Enfin, le système peut être utilisé pendant la rééducation pour évaluer l'efficacité du traitement et fournir une mesure objective des changements survenus dans le genou. Ces informations peuvent ensuite être communiquées à l'athlète afin d'accroître son adhésion au traitement.



Exercice de step avec le prototype de laboratoire.



Compréhension des interactions entre signaux corporels et décision, ou quand notre respiration influence nos prises de décision

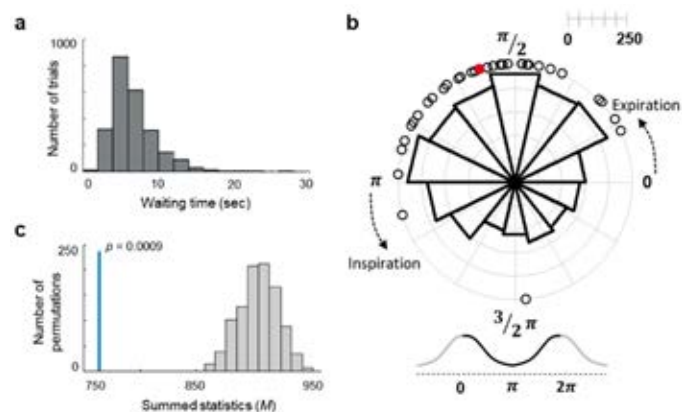
Respiration et prise de décision

Un cerveau au complet rassemble plus de cent milliards de neurones. Chacune de ces cellules nerveuses transmet des signaux électriques. On ne comprend pas encore complètement comment les cellules nerveuses travaillent ensemble pour aboutir à une décision. C'est un des champs de recherche du Laboratoire de neurosciences cognitives (LNCO) dont les applications potentielles dans le domaine du sport sont multiples.

Le LNCO est expert dans l'analyse des mécanismes cérébraux et leur relation à la perception corporelle. Une nouvelle découverte du laboratoire révèle que les signaux internes influencent les actes volontaires. Quand le cerveau traite des signaux corporels internes, et en particulier ceux en lien avec la respiration, cela affecte notre capacité à agir librement et prendre des décisions. On est ainsi plus susceptibles de prendre une décision volontaire au moment où l'on expire.

Si ces recherches sont encore à un stade fondamental, elles ouvrent néanmoins de nouvelles perspectives. Elles suggèrent que l'on pourrait utiliser le rythme de la respiration pour prédire quand on lance une action volontaire et par conséquent travailler sur son rythme respiratoire pour se conditionner dans des moments

spécifiques. Dans le domaine sportif, une compréhension précise des mécanismes en jeu dans la respiration permettrait de développer des méthodologies plus efficaces permettant de gagner en performance.



Couplage entre action volontaire et phase respiratoire lors de la tâche Libet. (a) Répartition des temps d'attente. (b) Répartition des phases de respiration par rapport au moment du début de l'action volontaire. (c) Les statistiques de test calculées à l'aide des données originales (indiquées par la ligne verticale bleue) étaient nettement plus petites que les statistiques de niveau de chance obtenues à partir des données de respiration de substitution déphasées (indiquées par l'histogramme; permutation  $p = 0.0009$ ), montrant le moment des pressions sur les boutons est couplé avec phase de respiration.



Casque de mesure de l'activité cérébrale et signal du potentiel de préparation motrice (RP, pour *readiness potential*).



L'impression 3D pour permettre d'intégrer des composants électroniques sur-mesure dans nos équipements

### Fabrication numérique de dispositifs portables intelligents et personnalisés

L'équipe de recherche du Laboratoire des microsystèmes souples (LMTS) a développé une nouvelle méthode pour le design et la production de dispositifs portables par impression numérique 2D et 3D. Des capteurs et systèmes électroniques complexes peuvent être fabriqués numériquement en empilant plusieurs couches fonctionnelles lors de l'impression 3D. Cette nouvelle approche de fabrication permet une personnalisation facile des systèmes intelligents et une intégration invisible de fonctionnalités dans des produits préexistants. Grâce à cette technologie utilisant des élastomères flexibles, biocompatibles et respirant, des dispositifs portables intelligents peuvent être fabriqués de manière personnalisée – forme, propriété mécanique, fonctions intégrées et applications – pour une personne spécifique en partant par exemple d'un scan d'une partie du corps.



Des dispositifs portables entièrement intégrés et opérationnels peuvent être produits pour des utilisations dans la pratique sportive ou des utilisations en lien avec le bien-être.

L'équipe du LMTS développe des designs et méthodes pour positionner localement les fonctionnalités dans la structure réalisée par impression 3D selon la fonctionnalité souhaitée et pour s'adapter parfaitement à la personne. Différents types de capteurs peuvent être intégrés avec des composants, tels qu'une source d'alimentation ou des puces électroniques pour la lecture, le traitement des données et leur communication sans fil. Des appareils portables entièrement intégrés et opérationnels peuvent être produits pour des utilisations dans la pratique sportive ou des utilisations en lien avec le bien-être. Les premières démonstrations ont consisté en l'intégration dans des dispositifs portables de capteurs mécaniques pour surveiller les mouvements du corps, des articulations et la démarche.

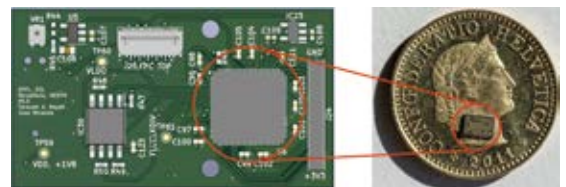
Hub pour aider au développement des services de santé de demain

### X-HEEP: solution open source pour la collecte de données

Le développement de solutions portables pour la mesure en continu et en conditions réelles de paramètres de santé dépend des dispositifs auxquels les capteurs sont connectés. Ces dispositifs sont essentiels car ils assurent la mesure, le traitement et le transfert des données. Pour être efficaces, ils doivent être de petite dimension, consommer peu d'énergie, et être suffisamment puissants pour pouvoir assurer une partie du traitement des données, réduire la quantité de données à transférer et la dépendance aux centres de données dans le cloud.

Le Laboratoire des systèmes embarqués (ESL) a mis au point une solution open source appelée X-HEEP (extendable heterogeneous energy-efficient platform). Basée sur des solutions industrielles de référence, la solution comprend un microcontrôleur simple et personnalisable composé d'un processeur RISC-V, de périphériques communs et de mémoires qui permettent aux développeuses et développeurs d'intégrer des capteurs variés et de se concentrer sur le développement des composants et des interfaces qui rendront leur produit unique.

L'approche open source doit permettre de faciliter l'accès aux systèmes de mesure afin de permettre aux équipes de se focaliser sur le développement de nouveaux capteurs, d'algorithmes pour le traitement de tout type de signaux, et d'interfaces utilisateurs répondant aux attentes des usagers sans avoir à se soucier des problématiques de collecte de données.



VersaSens est un exemple de circuit utilisant X-HEEP pour les mesures intelligentes (à gauche) pilotée par le microcontrôleur HEEPocrates conçu dans le laboratoire ESL (à droite).



VersaSens est un dispositif portable de surveillance multimodale des biosignaux (par exemple, cinématique, ECG, PPG) qui peut être utilisé pendant les activités sportives et quotidiennes.

Un suivi continu de paramètres physiologiques grâce à des biocapteurs et leurs électroniques de traitement de données

### Des biocapteurs pour assurer un suivi continu des athlètes

Le groupe de recherche Bio / CMO interfaces, une unité du Laboratoire des systèmes intégrés (ICLAB), étudie les technologies de conception de circuits et de systèmes électroniques pour des applications biomédicales. Leur expertise spécifique se situe dans le domaine de la bioélectronique et de la biophysique des nano interfaces pour des applications en diagnostic humain, médecine translationnelle et biotechnologie.

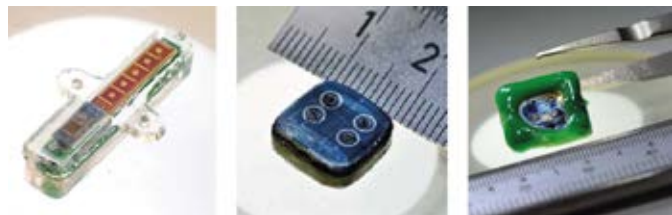
Le groupe Bio / CMO interfaces développe des systèmes électroniques portables combinant des capteurs électrochimiques, tels que des capteurs ioniques, ainsi que des plateformes intégrées pour les mesures parallèles d'analytes et le traitement des données générées. Le Groupe a développé des biocapteurs très peu invasifs détectant les protéines et les ions.

Un exemple de développement est une puce capable de mesurer non seulement le pH et la température, mais également des molécules liées au métabolisme comme le glucose, le lactate et le cholestérol, ainsi que la présence de médicaments.

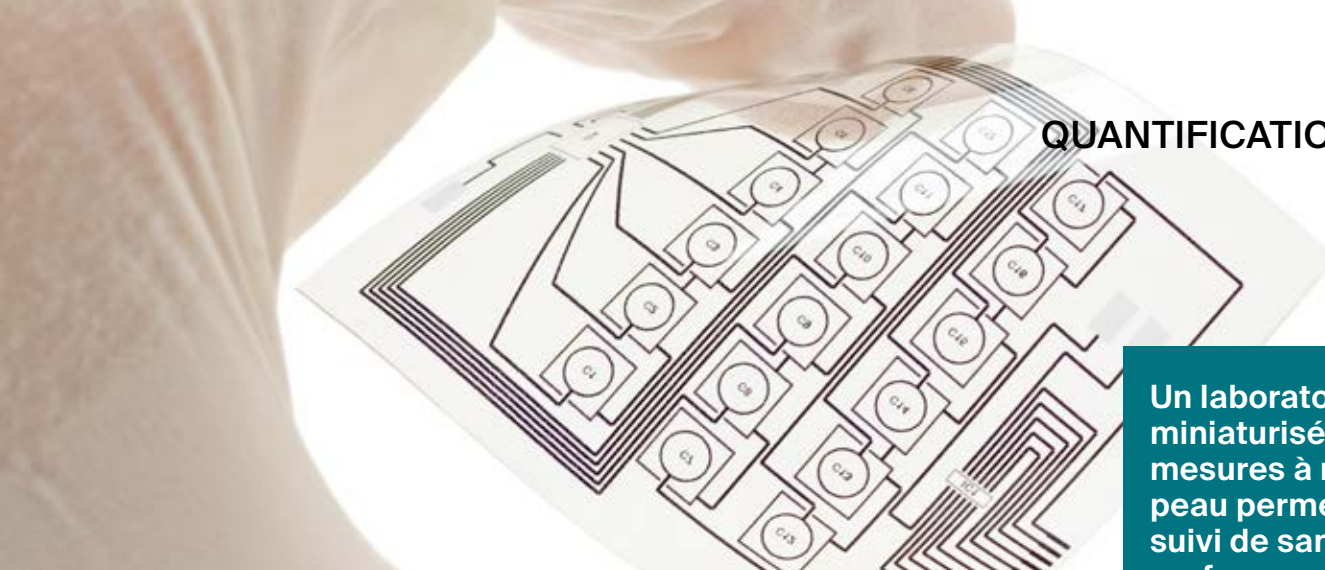
Un deuxième exemple est un petit boîtier imprimé en 3D contenant des biocapteurs, pour mesurer plusieurs

substances dans le sang, couplé à une électronique transmettant les résultats en temps réel à une tablette via Bluetooth. Capable d'être connecté à un tube de drainage déjà en place, ce nouveau système est beaucoup moins invasif que les nombreux dispositifs de surveillance. Il permet le suivi en continu des taux sanguins de cinq substances : les métabolites (glucose, lactate et bilirubine) et les ions (calcium et potassium). Avec un tel dispositif, jusqu'à sept molécules peuvent être surveillées en temps réel.

Ces biocapteurs pourraient être utilisés dans un proche avenir pour assurer un suivi continu des athlètes et augmenter leurs performances en améliorant leur nutrition ou en optimisant leur temps d'entraînement.



Trois versions de dispositifs implantables.

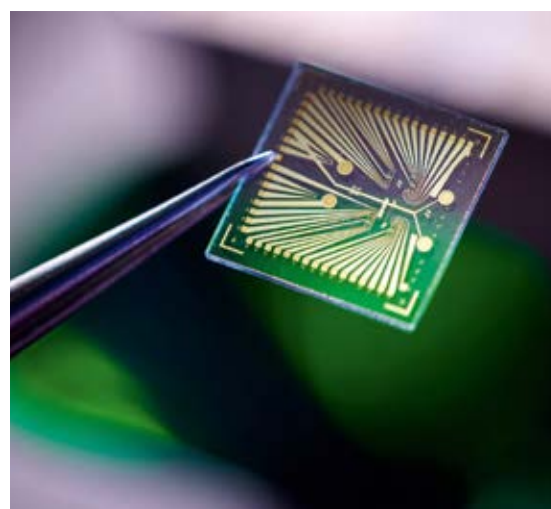
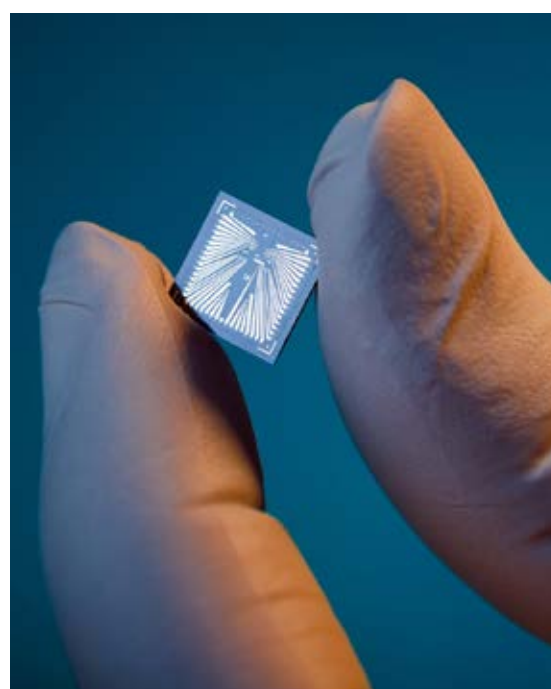


Un laboratoire miniaturisé pour des mesures à même la peau permettant le suivi de santé et de performance sans entraver l'activité

### Xsensio : pour des mesures physiologiques impossibles avec des capteurs traditionnels

Les technologies wearable n'offrent aujourd'hui qu'un aperçu de l'état physique d'une personne, avec des informations limitées et souvent inexactes collectées sur le corps, essentiellement avec le suivi de l'activité et du sommeil ainsi que la surveillance de la fréquence cardiaque. Pour obtenir une image plus précise de la santé et du bien-être d'un individu, l'information biochimique doit être prise en compte. Ceci est généralement fait avec un test sanguin, un processus précis, mais invasif et certainement pas continu : il donne seulement un instantané à un moment donné. Très souvent cependant, ce qui est intéressant est ce qui se passe entre ces instantanés, pour capturer des changements subtils dès le début. La sueur offre une alternative non invasive très prometteuse aux tests sanguins : elle est produite en continu par le corps, disponible de manière non intrusive pour les tests et, plus important encore, elle est riche en biomarqueurs. De plus, la communauté médicale évalue régulièrement la sueur pour la détection de la mucoviscidose, l'abus de drogues et l'optimisation de la performance sportive en milieu hospitalier.

Xsensio étend considérablement le potentiel des produits wearable avec le développement d'une puce portable unique Lab-on-Skin™ qui analyse en continu les biomarqueurs à la surface de la peau pour fournir des informations de santé en temps réel. La puce de 5 x 5 mm peut contenir des milliers de capteurs miniatures de Xsensio, chacun modulé pour cibler un biomarqueur spécifique d'intérêt, par ex. électrolytes, protéines, molécules, hormones – pour surveiller un état de santé spécifique. La puce portable Lab-on-Skin™ a été développée en collaboration avec l'EPFL Nanolab.



Puce Lab-on-Skin™.

## Plateforme intelligente portable de biosurveillance par la sueur pour des tests physiologiques et de santé personnalisés

### Patches flexibles pour l'analyse de la transpiration

La sueur est un fluide biologique très intéressant en tant qu'échantillon analytique pour des applications biomédicales car il permet d'obtenir des informations en continu de manière non intrusive et qu'il contient une grande variété d'indicateurs. Les chercheuses et les chercheurs du Laboratoire des microsystèmes souples (LMTS) en collaboration avec le CHUV créent une nouvelle génération de patches flexibles intelligents et économiques qui peuvent être fixés sur la peau pour l'analyse de la transpiration. Le patch intègre des capteurs conçus pour détecter les différents analytes présents dans la sueur, tels que les ions, les métabolites, les hormones, les protéines, etc. Le système comprend un module électronique portable pour la lecture, le traitement et la transmission sans fil des données vers le cloud permettant leur visualisation sur un smartphone par les utilisatrices et utilisateurs.



WeCare, plateforme portable d'analyse de la transpiration.

Le patch de détection configurable se compose des éléments suivants :

- un collecteur de sueur en contact avec la peau qui permet un prélèvement en continu de la sueur par effet capillaire ;
- un substrat souple qui contient un canal et un réservoir microfluidiques pour recueillir la sueur et la conduire vers les capteurs ;
- des capteurs électrochimiques potentiométriques, ampérométriques et à effet de champ réalisés par impression (jet d'encre et sérigraphie) avec une fonctionnalisation (bio) chimique spécifique pour la détection d'électrolytes, de métabolites et de divers autres biomarqueurs de la sueur ;
- des capteurs de température, pH et taux de transpiration, pour une analyse précise de la sueur en temps réel et des corrections de données.

La physiologie du sport étant l'une des applications de détection biochimique en temps réel les plus exigeantes, elle représente un champ de développement de choix pour l'équipe de recherche.

Une bague intégrant les plus petits capteurs au monde pour un suivi de santé

### Iris : la bague intelligente

Les dispositifs de mesure de paramètres physiologiques sont en pleine évolution avec la démocratisation des montres connectées. Les recherches du Laboratoire des systèmes intégrés (ICLAB) ont permis de miniaturiser les capteurs afin de mesurer la pression, le pouls et le taux d'oxygène dans le sang, offrant de nouvelles perspectives d'application dans le marché de la santé connectée, qui est en pleine expansion.

Reconnaissables à leur émission LED colorée, les capteurs PPG sont utilisés pour mesurer les paramètres vitaux dans les objets connectés. Composés d'une source lumineuse rythmée (LED), un photodétecteur, une chaîne électronique de lecture et des algorithmes avancés, le dispositif permet la mesure de paramètres physiologiques au contact de la peau. Les recherches de ICLAB, aujourd'hui reprises par le Laboratoire de circuits intégrés à signaux mixtes (MSIC), ont permis de développer des modules aussi performants que ceux des montres connectées sur une surface quatre fois plus petite. La technologie permet d'enregistrer un signal aussi net que ses homologues sur la base d'une source lumineuse beaucoup moins intense, réduisant aussi les problèmes d'énergie embarquée.

Senbiosys, une start-up de l'EPFL fondée par deux anciens doctorants, a intégré ces connaissances pour mettre au point les puces PPG les plus petites au monde. Leur petite dimension et la faible consommation ont permis d'intégrer dix-huit sources lumineuses et six capteurs sur le pourtour d'une bague connectée de 5 mm de largeur et 2.5 mm d'épaisseur. La multiplication des capteurs permet de faire une moyenne des mesures assurant une meilleure fiabilité des données, ce qui n'est pas possible avec d'autres dispositifs.

Baptisé Iris, ce bijou technologique permettra de démocratiser et faciliter le suivi personnalisé de santé. Portée au doigt, une bague offre plus de confort qu'une montre et les mesures sont moins dépendantes de la morphologie de l'utilisatrice ou l'utilisateur. Le dispositif n'est pas dédié à un suivi médical mais doit permettre d'offrir des informations quantifiées pour les personnes soucieuses de leur bien-être, et ouvre de nouvelles possibilités en lien avec le sport. La levée de fonds assurée au travers de crowdfunding tend à démontrer l'intérêt du public pour ce genre de dispositif.



Bague Vellia de Senbiosys intégrant les capteurs permettant de mesurer la pression, le pouls et le taux d'oxygène dans le sang.



Intégration des puces PPG les plus petites au monde permettant d'intégrer dix-huit sources lumineuses et six capteurs sur le pourtour de la bague.

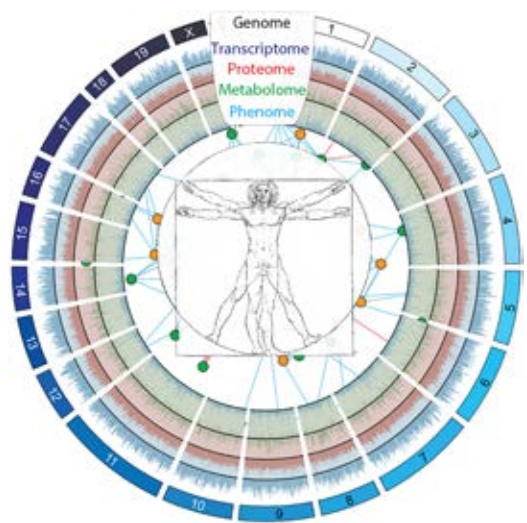
**Quel est l'impact des fonctions mitochondriales sur les performances, sachant qu'elles sont responsables de la génération de l'énergie dans les cellules ?**

## Comprendre les fonctions mitochondriales et leur impact sur la performance des athlètes

Comment le régime alimentaire et la pratique d'exercices physiques impactent l'énergie produite dans les cellules ? Comment combiner alimentation et exercices au mieux ?

Le Laboratoire de physiologie intégrative et systémique (LISP), dirigé par le professeur Auwerx, se penche sur l'étude des fonctions mitochondriales par une approche qui permet de cartographier les réseaux de signaux gouvernant ces fonctions et régulant le métabolisme de l'organisme par rapport à la santé, l'âge ou la maladie. Les mitochondries sont des organites internes aux cellules dont la fonction principale est de fournir à ces dernières l'énergie dont elles ont besoin pour survivre et pour effectuer les fonctions qu'elles sont censées remplir. Les outils biologiques sont utilisés par le LISP pour étudier une variété de modèles de systèmes vivants, allant des plantes et des vers aux souris et aux humains. Dans le cas de l'humain, les fonctions mitochondriales ont une influence directe sur la performance sportive puisqu'elles impactent l'énergie distribuée aux cellules. Leur compréhension permet une optimisation des entraînements et des régimes pour perfectionner la pratique d'un sport.

Le LISP s'est penché sur les variations de fonctions mitochondriales chez les vers et les souris pour mesurer les effets sur la performance des animaux. Ces études ont permis de mettre à jour des fonctionnements particuliers applicables aux performances humaines, et donc aux performances sportives.



Complexité de l'activité mitochondriale démontrée par une approche systémique.



Structure d'une cellule.



Un appareil portable pour mesurer l'électrocardiogramme, l'activité physique et la tension artérielle et évaluer les bienfaits de l'activité physique

### Inyu : un système d'analyse de l'état de santé globale portable

Comment l'activité physique peut-elle, en complément d'une nutrition saine, permettre aux individus d'être en meilleur niveau de santé global possible? Pour le savoir, le Laboratoire de systèmes embarqués (ESL) a développé avec la startup SmartCardia SA un système d'électrocardiogramme portable et des algorithmes d'analyse qui mesurent le signal cardiovasculaire (ECG délinéation et filtre anti-bruit), le niveau d'activité et le niveau de stress.

Au moyen d'une surveillance quotidienne de l'activité physique de personnes aux profils différents, le projet a permis de lier le niveau de santé global à l'activité physique, la nutrition et au niveau de stress engendré par l'activité. Il a ainsi été possible de :

- Chez les athlètes, quantifier le niveau d'activité physique et définir le stress généré lorsqu'elles et ils n'atteignent pas leurs objectifs de performance.
- Chez les personnes au niveau d'activité moyen, montrer une réduction claire du stress lors de la pratique régulière d'une activité physique.
- Pour une population obèse, démontrer que si une activité physique régulière est nécessaire pour réduire le surpoids, elle peut aussi être une cause de stress.



Prototype de laboratoire avec électrodes séparées.



Produit développé par SmartCardia.



Un modèle numérique de simulation de la marche pour prédire la dépense énergétique et définir des exercices de marche personnalisés

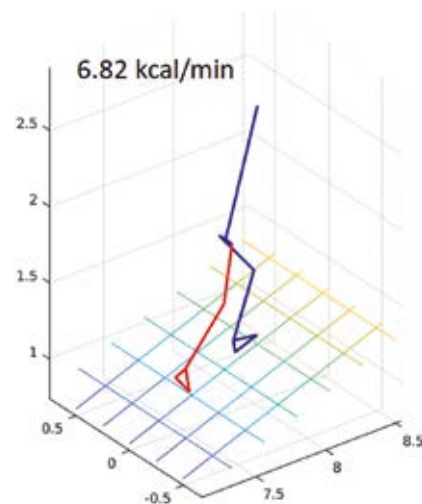
## Un avatar permettant d'estimer la dépense énergétique de différents styles de marche

Les exercices de courses stimulent différents muscles des jambes et nécessitent une consommation d'énergie plus élevée. Cependant, beaucoup de personnes âgées ou obèses préfèrent marcher au bord d'un lac ou dans un parc pour s'aérer. Serait-il possible de trouver un moyen d'augmenter le travail des muscles et de brûler plus de calories durant ces marches ?

L'équipe de recherche du Laboratoire de biorobotique (BIOROB) a développé un modèle numérique complexe de simulation de marche permettant de prédire la dépense énergétique de la marche humaine. Cet avatar peut reproduire différents types de morphologies (masse et taille) et simuler des masses attachées au corps de la personne (par exemple sac à dos ou chaussures).

Lorsqu'ils marchent, les êtres humains optimisent leur démarche pour atteindre les niveaux de dépense énergétique les plus bas. Cependant, la modification intentionnelle des paramètres de la démarche peut augmenter le niveau d'énergie. L'avatar peut immédiatement estimer le surcoût énergétique et ainsi définir des exercices de marche personnalisés et maîtrisés dans des niveaux de dépense énergétique et de fréquence cardiaque raisonnables. Ces exercices incluent des marches en terrain incliné, des changements de fréquence de pas, de lever plus les pieds, d'augmenter l'inclinaison du torse en avant, d'augmenter la longueur des pas ou la vitesse de marche. Le logiciel peut être intégré à des dispositifs de mesure de la marche physique pour créer une application mobile interactive. Il fournit également diverses fonctionnalités pour l'analyse clinique de la marche.

Cet outil de simulation ouvre aussi de nouvelles opportunités pour l'analyse des entraînements et l'optimisation énergétique. Il permettrait aux athlètes et aux coaches de modifier leurs mouvements pour économiser de l'énergie et améliorer leurs performances.



L'avatar marchant sur un terrain incliné et fournissant une énergie estimée.



**Un traitement de l'arthrose prometteur, non invasif et basé sur huit années de recherche en biomécanique**

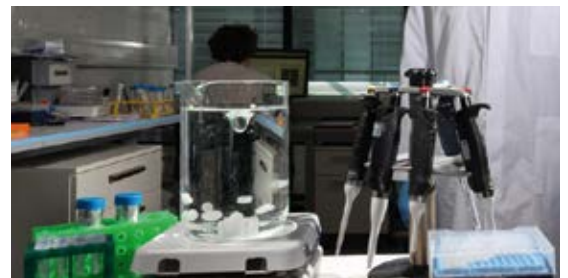
### La chaleur couplée à l'exercice physique pour prévenir et limiter l'arthrose du genou

Le Laboratoire de biomécanique en orthopédie (LBO) étudie, depuis de nombreuses années, l'arthrose afin de comprendre son apparition et potentiellement trouver un traitement. Aujourd'hui, seules des solutions palliatives pour diminuer les symptômes de l'arthrose du genou existent. L'équipe du professeur Pioletti a cherché à comprendre comment fonctionne le cartilage d'un point de vue biomécanique afin de pouvoir restaurer les propriétés initiales d'un cartilage dégénéré. Les scientifiques ont découvert que la combinaison d'une augmentation de la température du cartilage associée à une stimulation mécanique favorise la production de matrice cartilagineuse par les cellules composant le tissu cartilagineux, et donc préserve la qualité du cartilage.

Cette observation a été faite chez les doctorantes et doctorants du laboratoire qui ont servi de cobayes pour une expérience. Le scanner de leurs genoux au repos, puis après avoir monté huit étages, a démontré que la température du cartilage augmentait sous l'effort. L'équipe de recherche a ensuite reproduit cette expérience en laboratoire. Des échantillons contenant des cellules cartilagineuses ont été mis dans un bioréacteur, les soumettant à une hausse de température couplée à une charge mécanique. Ils ont pu observer que les cellules du cartilage ont exprimé en plus grandes quantités des gènes liés au maintien du cartilage.

Ces résultats sont très prometteurs pour limiter l'arthrose. En effet, quand le cartilage commence à dégénérer, il perd sa capacité à accumuler de la chaleur, ce qui entraîne un fonctionnement non-optimal des cellules qui le composent. Un cercle vicieux se met en place entraînant une amplification de la dégénérescence du cartilage. En appliquant un effort physique conjointement à une hausse de température au cartilage, ce cercle vicieux pourrait être interrompu et la dégénérescence du cartilage ralentie ou même stoppée.

D'ici trois ans, les scientifiques pourront confirmer cette étude et un nouveau traitement de l'arthrose du genou touchant tant de sportives et sportifs pourrait être validé.



Échantillons en cours d'analyse dans le laboratoire.

## Quantifier les réponses au stress et les différences comportementales et physiologiques individuelles face aux défis à l'aide de la réalité virtuelle

### Évaluer les réponses individuelles aux facteurs de stress

Le groupe de recherche du Laboratoire de génétique comportementale (LGC) a développé des scénarios immersifs de réalité virtuelle qui permettent de quantifier les réponses comportementales et physiologiques des individus à différents niveaux de défi, des risques neutres et excitants aux menaces persistantes.

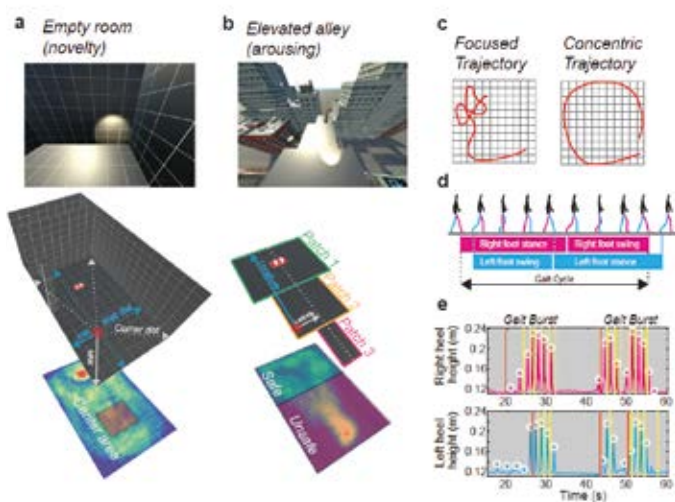
En exposant les participantes et les participants à des scénarios immersifs, les scientifiques obtiennent de grandes quantités de données comportementales, des réponses automatiques (réflexes) ainsi que des réponses hormonales (cortisol salivaire, alpha-amylase, testostérone). L'activité cérébrale peut être surveillée simultanément (électroencéphalogramme EEG). En utilisant des outils d'apprentissage automatique (machine learning), l'équipe de recherche a développé un modèle qui permet de prédire les changements de variabilité de la fréquence cardiaque en fonction du comportement locomoteur observé lors de l'exposition à des environnements immersifs de réalité virtuelle neutres et émotionnellement excitants.

Les chercheuses et chercheurs ont également développé un scénario de réalité virtuelle stressant qui déclenche une augmentation des niveaux de cortisol ainsi que des changements dans la fréquence cardiaque et sa variabilité.

Ce scénario peut être utilisé pour évaluer les réponses individuelles aux facteurs de stress ainsi que pour valider l'efficacité des traitements de relaxation, d'entraînement physique ou de régime nutritionnel utilisés pour moduler les réponses physiologiques au stress.

Un autre scénario de réalité virtuelle développé dans le laboratoire permet de quantifier les réponses agressives – réactives (en réponse à une provocation) et proactives (non provoquées) – dans des conditions normales, après une exposition au stress et après une exposition à des environnements relaxants.

Le laboratoire couple ces études à une caractérisation exhaustive de la personnalité et des états psychologiques réalisée à travers un certain nombre de questionnaires. Parmi les tests non basés sur la réalité virtuelle, le laboratoire utilise des tests d'empathie couplés au suivi oculaire, au conditionnement et à l'extinction de la peur, ainsi qu'à la mémoire spatiale et de travail.



Scénarios de réalité virtuelle conçus pour révéler la variance comportementale des réponses locomotrices des participantes et participants dans des conditions non menaçantes.

Comment les niveaux de substances dans notre cerveau impactent notre comportement ?

### Moduler notre motivation grâce à l'alimentation

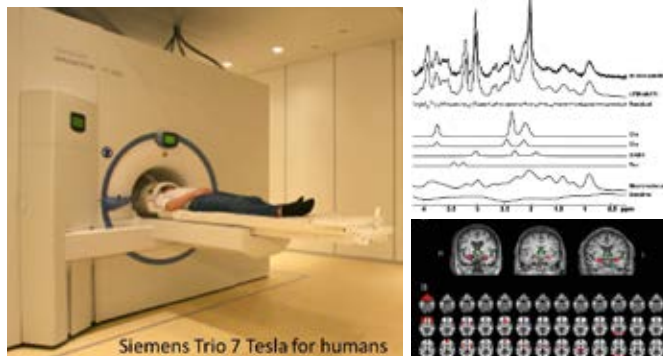
L'approche développée par l'équipe de recherche du Laboratoire de génétique comportementale (LGC) consiste à mesurer les niveaux d'environ vingt métabolites et neurochimiques (tels que la créatine, la glutamine et le glutamate) dans des régions spécifiques du cerveau en utilisant la spectroscopie par résonance magnétique *high field* pour étudier les liens avec des capacités comportementales données et leur variabilité entre individus.

Une récente découverte majeure du laboratoire a révélé un lien entre les niveaux de métabolites spécifiques dans le

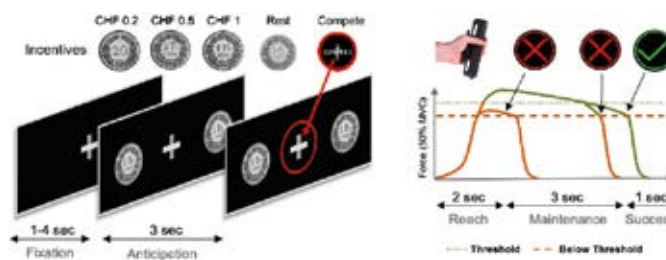
noyau accumbens (une zone spécifique du cerveau) et le comportement motivé. Les scientifiques mesurent la motivation avec une tâche incitative nécessitant un effort physique (test de force de préhension) pour obtenir différents niveaux de récompense. Étant donné que la motivation est un processus complexe, les chercheuses et chercheurs utilisent un modèle computationnel pour en discerner les différents composants. Cette approche leur a permis d'étudier la relation entre le niveau de métabolites spécifiques et la différence en niveau d'incitation, en coût de l'effort, ou en lien avec l'apparition de fatigue au cours du temps.

En particulier, le groupe de recherche a constaté que la glutamine et le rapport glutamine-glutamate dans le noyau accumbens prédit la performance d'effort et, inversement, la perception subjective de l'effort. Il a identifié l'endurance (ou la capacité à maintenir le même niveau de performance dans le temps sans ressentir de fatigue) comme une fonction critique liée au rapport glutamine-glutamate.

Dans ces études, le LGC élabore et pratique des tests comportementaux et métaboliques pour évaluer l'effort physique et cognitif. Ils peuvent être couplés à des mesures physiologiques, de l'activité cérébrale par neuroimagerie, et de caractérisation de la personnalité et de l'état psychologique au travers de questionnaires.



Le métabolisme cérébral est étudié à l'aide de la spectroscopie par résonance magnétique 1H (1H-MRS) dans un aimant à champ élevé (7T).



Tâche incitative basée sur l'effort.



Comment mesurer une expérience sportive agréable pour augmenter la motivation et la performance ?

### DiMo : « digital motion », analyse du mouvement, fitness et bien-être

En matière de sport, ce qui compte ce n'est pas « combien de temps » ou « à quelle fréquence », mais « quelle qualité », « quelle efficacité » ou « comment je me sens ». Pour quantifier ces critères subjectifs, le Laboratoire de mesure et d'analyse des mouvements (LMAM) a développé un système de plusieurs capteurs intégrés pour obtenir des données biomécaniques, contextuelles et psychologiques. S'appuyant sur ces données, il peut concevoir de nouveaux systèmes d'interaction homme-machine intuitifs pour rendre divers sports plus agréables. Il a développé un appareil appelé DiMo – abréviation de *digital motion in sports, fitness and well-being* – qui fournit des commentaires en temps réel et/ou hors ligne sur les mouvements et les émotions des athlètes. Cela permet d'augmenter la motivation, les performances, le bien-être et d'acquérir une meilleure connaissance de soi.

Dans un premier temps, les chercheuses et chercheurs ont utilisé les caractéristiques biomécaniques des capteurs inertiels (IMU), des données physiologiques issues d'électrocardiogrammes (ECG) et de données psychologiques provenant de questionnaires de perception d'effort pour évaluer le niveau de fatigue pendant

la pratique de la course à pied et du ski. Ils ont ensuite développé des algorithmes pour mieux comprendre les propriétés biomécaniques et psychophysiologiques des athlètes dans des conditions de course réelles, afin de minimiser le risque de blessure et d'améliorer les performances et la motivation.



Personnalisation des équipements en laboratoire (avant et après le pratique).



Skieur équipé de capteurs inertiels.

## Prévention des blessures dans le sport : évaluation objective de la charge d'entraînement et du surentraînement à l'aide de capteurs portables

### Informations objectives pour prévenir les blessures

Le surentraînement, en raison d'une charge d'entraînement excessive avec une récupération insuffisante, augmente le risque de blessures chez les athlètes et constitue donc un problème important dans le sport. En particulier dans les sports individuels tels que la natation, la course à pied, le triathlon et le cyclisme, des charges d'entraînement excessives sont la principale cause de blessures de fatigue et d'usure. En conséquence, il est important de mesurer les charges d'entraînement pour éviter le surentraînement.

L'objectif principal du projet est de remédier à ce problème grâce à une surveillance précise et objective de la charge d'entraînement et à la conception de systèmes permettant de prévoir les charges d'entraînement optimales et d'empêcher le surentraînement. Ce projet vise à développer des algorithmes, basés sur une configuration de capteurs portables, permettant d'estimer la charge d'entraînement interne et externe de l'athlète au cours de ses séances d'entraînement. Les informations sur la charge d'entraînement seront complétées par l'évaluation de la réponse à la fatigue pendant l'entraînement, ce qui permettra de créer un profil d'entraînement personnalisé pour l'athlète.

Le Laboratoire de mesure et d'analyse des mouvements (LMAM) utilisera son expertise en mesure et ses connaissances en biomécanique pour faire évoluer la surveillance des charges d'entraînement au-delà des méthodes heuristiques couramment utilisées, basées sur l'expérience personnelle et tenant compte de l'individualité de l'athlète. Le système produira des informations objectives et fiables dans des conditions d'entraînement réelles, interprétées directement par les athlètes ou leurs entraîneurs afin de concevoir une charge d'entraînement optimale et de réduire les risques de blessures.



Unités de mesure inertielle portées au pied (Physilog 5).



Unité de mesure inertielle, capteur ECG et GPS (Fieldwiz) portés dans le dos.

# 17 QUANTIFICATION DE SOI

Comment réduire le stress, l'anxiété et les troubles du sommeil qui nuisent à notre bien-être et nos performances ?

## STill : des expériences corporelles immersives qui favorisent le bien-être mental

Le stress lié à la compétition, au travail ou tout stress déclenché par les défis quotidiens de la vie peut causer de l'anxiété, une dépression, des maux de tête et des troubles du sommeil. Le stress altère le fonctionnement cognitif et les performances quotidiennes, et il a un impact sur l'humeur. Les chercheuses et chercheurs de l'EPFL ont créé une nouvelle technologie de réalité virtuelle qui simule aussi le toucher et la sensation de température. Cette nouvelle technologie permet de produire des expériences multi-sensorielles immersives pour le bien-être mental. Cette technologie est déjà en test dans le monde réel sur de vraies personnes.

Fondé en 2019, Metaphysiks Engineering est née d'une collaboration entre le Laboratoire de neurosciences cognitives (LNCO) et le Laboratoire de systèmes robotiques (LSRO). La start-up a développé un produit unique et performant, STill, une première mondiale, qui permet l'intégration complète du toucher et de la température dans des expériences immersives.

En imitant la façon dont le cerveau intègre le toucher, la température et le son, STill vous donne la sensation d'être au bord d'un océan, d'un lac ou d'une rivière ; vous entendez les

vagues et ressentez l'eau sur votre peau. En même temps, une experte ou un expert en méditation vous guide à travers les sensations corporelles que STill vous fait vivre, vous aidant ainsi à vous endormir, vous détendre ou à méditer. Ce faisant, STill allie bien-être physique et mental.

L'équipe de recherche de Metaphysiks a testé l'expérience utilisateur de STill, en collaboration avec le EPFL+ECAL Lab, et a également testé et optimisé ses nombreux effets positifs (subjectifs, physiologiques, cérébraux) sur le ressenti de bien-être en laboratoire, au bureau ou dans les hôtels. Metaphysiks poursuit actuellement des tests de routines d'entraînement dans le sport pour les athlètes d'élite et de loisir.



STill permet l'intégration complète du toucher et de la température dans des expériences immersives (photo © Calypso Mahieu / EPFL+ECAL Lab).



Comment  
le design  
augmente  
l'immersion  
en soi

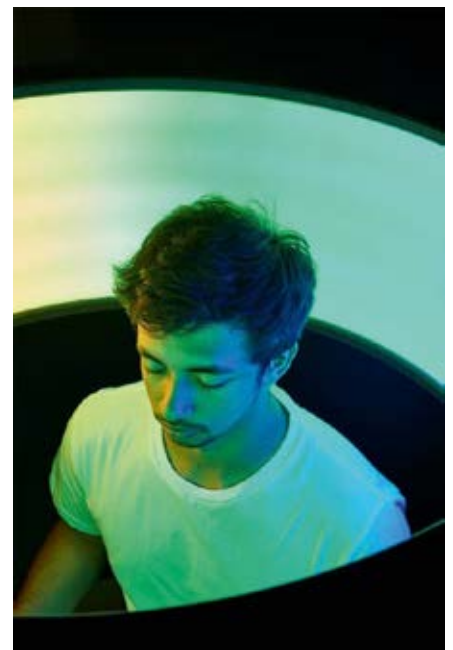
### La recherche en design innove en conjuguant pratiques ancestrales et technologies

Les techniques de relaxation et de bien-être font l'objet de nombreuses études dans le cadre du sport, où les athlètes sont souvent confrontés à un stress élevé et des besoins de récupération.

Le centre de recherche en design EPFL+ECAL Lab développe plusieurs projets sur la méditation. Il crée notamment de nouveaux dispositifs pour Ming Shan Digital Experience: un travail expérimental visant à favoriser la méditation dans le cadre de Ming Shan, le plus grand centre taoïste laïc hors de Chine. Ce centre, développé avec le soutien de l'Etat de Vaud, aborde les pratiques avec une grande ouverture sur l'innovation et l'échange entre les disciplines. Dans le cadre d'un travail de recherche, l'EPFL+ECAL Lab conçoit des dispositifs immersifs qui visent à apporter un soutien individuel aux pratiquantes et pratiquants basé sur la lumière. Mais ces dispositifs ont une ambition plus grande encore : induire un effet collectif fondé, lui, sur l'émission de vibrations sonores. L'installation globale génère une trace visuelle de l'expérience qui enrichit la perception d'un lieu.

L'EPFL+ECAL Lab aborde également dans le cadre d'un autre projet, en collaboration avec le Laboratoire des neurosciences cognitives (LNCO), la question délicate des interfaces pour les dispositifs dédiés à la méditation. En d'autres termes, comment faciliter les interactions, alors que le sujet est entièrement focalisé sur son corps et son mental.

Le projet a suscité l'intérêt de plusieurs partenaires qui apportent désormais leur contribution, en particulier l'Applied Signal Processing Group (ASPG) de l'EPFL, le Signal Processing & Control Sector du Centre suisse d'électronique et de microtechnique (CSEM) et le Département de psychologie de l'Université de Fribourg.



Dispositifs immersifs apportant un soutien individuel aux pratiquants basé sur la lumière.



# ÉQUIPEMENTS

**L'équipement est nécessaire à tous les sports pour optimiser les performances de haut niveau et peut se révéler crucial lorsqu'il s'agit de rester compétitif.**

**Mais sa composante la plus importante est la garantie de sécurité et d'intégrité physique qu'il apporte à l'athlète.**

**Les derniers développements technologiques en matière d'équipement sont aussi profitables aux sportives et sportifs de loisir qui ont ainsi le plaisir de pratiquer leur sport avec tout le confort nécessaire.**

Comment augmenter la durée de vie des équipements pour une meilleure durabilité

## CompPair: des matériaux composites et polymères réparables pour le sport

CompPair a mis au point un matériau composite bio-inspiré qui permet une réparation ultra-facile et rapide en cas de dommage. Le développement des matériaux est souvent basé sur le principe de prévention de l'endommagement, qui implique un surdimensionnement à la conception. Cependant, les mécanismes naturels reposent sur une philosophie inverse où l'endommagement est défini comme inévitable et où différents mécanismes de réparation interviennent pour contrer sa présence et/ou le réparer. Le concept d'autoréparation des matériaux est basé sur cette observation et s'appuie sur la gestion de l'endommagement plutôt que sa prévention. Le défi consiste à intégrer cette fonctionnalité tout en gardant des propriétés mécaniques similaires aux systèmes déjà commercialisés.

Ce matériau intelligent a été développé en collaboration avec le Laboratoire de mise en œuvre de composites à haute performance (LPAC). Ces matériaux autoréparants sont particulièrement intéressants pour l'industrie du sport, où les équipements subissent des chocs réguliers. Au cours des dernières années, CompPair a codéveloppé des équipements sportifs avec des marques de sport renom-

mées. Salomon et CompPair ont mis au point un nouveau prototype de ski qui est réparable à 100% pour de petits endommagements de surfaces. Ce modèle, en cours de tests, est éco-conçu pour apporter des avantages supplémentaires, à la fois en termes de performance et de durabilité (-20% d'émissions de CO<sub>2</sub> grâce à l'utilisation de moins de matériaux). Tout en étant 100 grammes plus léger, les propriétés d'amortissement sont augmentées, ce qui donne un ski très performant.

CompPair a également démontré l'intérêt d'utiliser des composites réparables pour les foils et autres pièces marines structurales. En collaboration avec ZESST by Almatech, un foil intelligent et réparable a été développé, offrant les avantages suivants : régénération des dommages, résistance aux fissures, réparation rapide, pile à combustible sans émission, réduction des vagues, rapidité et confort.

Ce nouveau composite durable peut être utilisé dans de nombreux autres types d'équipement et aidera l'industrie du sport à devenir plus durable et plus respectueuse de l'environnement, sans compromettre les performances.



Projet étudiant utilisant les matériaux en phase de test.

Une solution novatrice d'assemblage de bois par friction permettant de gagner du poids et de réduire l'utilisation de colles nocives

### Souder le bois pour des structures plus durables

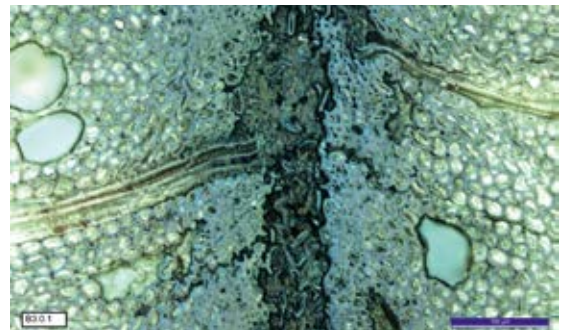
Les équipements sportifs font souvent appel à des structures composites. Formées d'un assemblage de multiples matériaux, elles permettent d'optimiser les performances mais s'avèrent plus difficiles à recycler. L'utilisation de matériaux naturels comme le bois présente une voie pour conserver les avantages des composites tout en réduisant leur impact écologique.

L'Institut des matériaux de construction et des produits biosourcés (IBbM) de la Haute école spécialisée bernoise (BFH) développe depuis de nombreuses années des expertises dans l'utilisation structurelle du bois. Choix des essences en fonction de performances recherchées, préparation des matériaux pour optimiser leurs propriétés, densification du bois pour obtenir de nouvelles propriétés et solutions novatrices d'assemblage par friction pour s'affranchir des colles font partie des connaissances développées.

Des projets de collaboration sont régulièrement menés avec les étudiantes et étudiants de l'EPFL. Des études ont été proposées pour repenser la production de skis et snowboards afin de réduire l'impact écologique à la production et faciliter le recyclage en fin de vie. Les pistes proposées visent à substituer certains matériaux par du bois, à repenser les procédés d'assemblage pour limiter la présence de colle et à intégrer des essences locales pour limiter les transports. Ces études intègrent l'ensemble de la chaîne logistique et les contraintes de production industrielles. Certains projets ont été intégrés à des produits proposés par des grandes marques de snowboard.



Échantillon de bois soudé.



Microstructure de la soudure.



Snowboard intégrant un noyau bois soudé.



**Contrôler la densité du bois pour varier la dynamique d'un ski**

### **Un noyau intégrant des lames de bois compressé**

Les noyaux bois sont au cœur de la performance des skis et leur conception impacte la dynamique et le confort qui seront perçus à l'utilisation. Les essences de bois utilisées sont choisies pour leur caractéristiques mécaniques mais leur provenance doit également être prise en considération pour limiter l'empreinte écologique de la production.

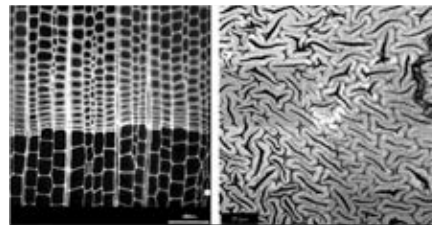
L'entreprise First Track est un hub de développement de matériel de glisse qui cherche à introduire des modes alternatifs de production de skis, de snowboards, de kiteboards et de wakeboards. Depuis plusieurs années, l'entreprise collabore avec des étudiantes et étudiants de l'EPFL, supervisés par un spécialiste de l'Institut des matériaux de construction et des produits biosourcés (IBbM) de la Haute école spécialisée bernoise (BFH), qui apporte son expertise dans l'utilisation structurelle du bois.

L'entreprise a breveté un procédé de fabrication du noyau bois intégrant des lames de renfort en bambous permettant d'assurer une grande légèreté et une haute stabilité. Le bambou utilisé provenant de Chine, cette solution n'était pas alignée avec les principes de durabilité de la start-up. Les premières collaborations ont donc consisté à identifier des essences de bois indigènes pouvant le remplacer tout en garantissant des propriétés mécaniques similaires. Le hêtre, qui ressortait comme candidat des études, est aujourd'hui intégré à la production. Le nouveau défi proposé est plus ambitieux. Il a pour objectif de développer des lames en bois compressé permettant, grâce au contrôle précis de la densité de la lame, de proposer des skis avec des comportements dynamiques différents.

Ces projets de collaboration entre entreprise et corps étudiantin permettent d'intégrer des projets concrets en cours d'études. Les entreprises bénéficient pour leur part d'un regard extérieur pouvant déboucher sur des idées novatrices.



Bois densifié.



Structure cellulaire d'un bois résineux avant densification (gauche) et après densification à 140°C sous humidité saturante (droite).



Discussion entre les étudiantes, étudiants, représentantes et représentants de First Track.

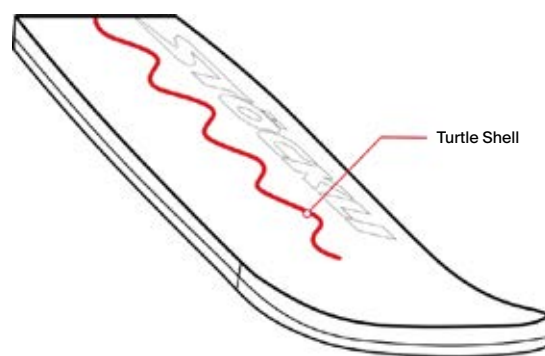
Comment optimiser les matériaux composites pour construire des équipements qui répondent parfaitement aux attentes des athlètes

### Des matériaux composites et polymères optimisés pour le sport

Quel matériau utiliser pour quelle application et quelles seront les propriétés obtenues? Comment fabriquer ce matériau pour en retirer la meilleure performance? Comment gérer sa durée de vie lors de son utilisation? Ces questions sont importantes pour bon nombre de sports, particulièrement aujourd'hui où de plus en plus de matériaux composites et polymères sont utilisés.

Le Laboratoire de mise en œuvre de composites à haute performance (LPAC) est spécialisé dans la fabrication et l'analyse de matériaux composites et polymères. Les compétences de mise en œuvre des matériaux permettent d'optimiser les propriétés des structures en fonction de l'utilisation. Les derniers développements cherchent à rendre le matériau intelligent, que ce soit en intégrant des fibres optiques pour mesurer les déformations de la structure en utilisation, des actuateurs permettant de modifier le comportement dynamique de la structure, l'ajout de fonctionnalités permettant la réparation de défauts et le recyclage ou en effectuant des dimensionnements permettant de contrôler la déformation de la pièce sous charge.

Ce dernier point, qui permet d'avoir une pièce dont la rigidité varie en fonction de la déformation à laquelle il est soumis, a été appliqué dans un premier projet sportif de développement au LPAC. Ce projet a permis de développer un ski qui est souple lorsqu'il est soumis à peu de pression et se rigidifie lorsque la déformation s'accroît sous la poussée, la vitesse ou la pression. Ce comportement permet d'avoir un meilleur confort ainsi qu'un meilleur contrôle de la trajectoire.



Structure inspirée des carapaces de tortue.



Nouvelle génération de ski commercialisée par Stöckli.

Simuler des conditions dynamiques grâce à une nouvelle génération de soufflerie



## L'aérodynamique des virages

Traditionnellement, les essais de soufflerie conduits sur des voitures se font dans une veine d'air alignée avec le véhicule. Cette configuration correspond aux déplacements en ligne droite mais s'avère insuffisante pour tester le comportement dans un virage. Avec l'avènement de soufflerie de nouvelle génération, des perspectives inédites s'ouvrent.

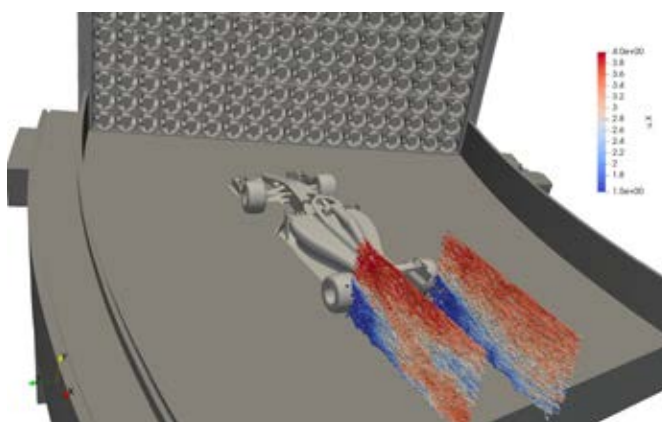
L'EPFL Racing Team est une équipe de Formula Student fondée par des étudiantes et étudiants de l'EPFL et fait partie des projets MAKE soutenus par l'école. Chaque année, l'équipe met en pratique les connaissances apprises durant le cursus scolaire pour développer une voiture de course électrique. Son objectif est de créer des voitures électriques autonomes de plus en plus efficaces, tout en restant écoresponsables.

Dans les phases de développement, une attention particulière est apportée aux problématiques aérodynamiques. L'équipe est supervisée et conseillée par des laboratoires de l'EPFL et s'appuie sur les équipements et les expertises du groupe Aéro-Nautique-Spatiale de la Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (HEPIA). Elle a en particulier utilisé la soufflerie de WindShape (Windshaper) qui permet de simuler des écoulements dynamiques ainsi que les conditions dans les courbes.

Au-delà de l'optimisation de leur véhicule, les projets conduits par les étudiantes et étudiants procurent de précieuses informations sur le potentiel de telles approches de simulation dans le milieu automobile et permettent d'emmagasiner des connaissances pouvant être transférées, à termes, dans des projets avec des constructeurs automobiles, que ce soit pour des écuries de compétition ou pour des véhicules grand public.



Aérodynamique en virage dans une soufflerie windshaper avec tapis roulant circulaire, photo © Flavio Noca.



Mesure d'écoulements avec le dispositif de Streamwise ProCap system pour l'aérodynamique en virage dans une soufflerie windshaper avec tapis roulant circulaire, photo © Flavio Noca.



Comment l'utilisation de polymères peut augmenter la durée de vie d'équipement traditionnellement fait en bois ?

### L'utilisation des polymères renforcés de fibres pour remplacer le bois dans les skateboards : nouveau design et durabilité

Actuellement, les matériaux composites tels que les polymères renforcés de fibres de verre (GFRP) ou de carbone (CFRP) ne sont utilisés que partiellement dans le monde du skateboard, pour renforcer par exemple la structure de base en bois. Ils représentent par contre souvent 100% des matériaux de skis, de snowboards ou de vélos, leur offrant des propriétés mécaniques uniques et complexes.

Le projet développé conjointement par le Laboratoire de construction en composites (CCLab) et le Laboratoire de simulation en mécanique des solides (LSMS) était d'utiliser du FRP, imperméable et plus résistant que le bois, pour créer un skateboard et ouvrir la voie à un nouveau design. L'équipe de recherche du laboratoire a dimensionné l'objet selon les mêmes méthodes que pour la fabrication d'autres structures d'ingénierie à base de matériaux composites et selon les proportions et exigences liées au skateboard. À des fins pédagogiques, ces éléments structurels relativement simples permettent de comprendre les bases de la conception, de la sélection des matériaux, des processus de fabrication et du développement des produits, sans avoir à subir de procédures compliquées. L'équipe s'est tournée vers le Groupe d'ingénierie des structures (GIS) et le Laboratoire de mécanique appliquée et d'analyse de fiabilité (LMAF) de l'EPFL pour construire et évaluer les prototypes, tout en bénéficiant de l'expertise de l'ingénieur et normalisateur de la qualité Anthony Bert. Les prototypes en FRP fabriqués à partir d'une multitude de fibres composites (verre / carbone / lin)

semblent avoir une durée de vie plus longue que les skateboards traditionnels en bois, alors qu'il a été démontré que leur comportement peut être beaucoup plus facilement personnalisé. Les FRP offre de nouvelles sensations au skateur, notamment au moment d'atterrir après un trick. La planche se courbe sous les pieds alors que celle en bois traditionnel se brise normalement à ce stade. À terme, le temps de fabrication du skateboard, son épaisseur et son coût, pourraient aussi être revus à la baisse.



Skate réalisé en fibre de verre pour une rigidité modulable et une durée de vie augmentée.

Innovations et technologies pour battre le record du monde de vitesse à la voile en 2025

**SP80 : la technologie au service de l'exploit sportif**

Battre le record du monde de vitesse à la voile en 2025 : tel est le challenge que se sont fixés trois étudiants et ingénieurs de l'EPFL. Le défi est de taille car le record du monde (65.45 noeuds soit 121.1 km/h), actuellement détenu par l'Australien Paul Larsen et son projet Vestas Sailrocket 2, n'a pas été égalé, ni même approché depuis 2012!

Pour atteindre les 80 nœuds visés (environ 150 km/h), l'équipe de SP80 doit innover et repenser les technologies actuelles, en collaboration avec plusieurs laboratoires de l'EPFL, sur les traces de l'Hydroptère et d'Alinghi. Le Laboratoire des machines hydrauliques (LMH), spécialisé dans la validation des performances, l'hydrodynamique, la cavitation, l'hydro-acoustique, les simulations numériques et les techniques de mesure avancées, a passé des heures à tester, caractériser et étudier la performance de différentes formes d'ailerons qui ont été optimisés en amont par Neural Concept (spin-off du laboratoire de vision par ordinateur (CVLAB) grâce à leur expertise en intelligence artificielle et simulation numérique. En parallèle, une étude approfondie des matériaux composites du bateau a été réalisée au Laboratoire de mise en œuvre de composites à haute performance (LPAC). De nombreux autres laboratoires offrent également leurs conseils à l'équipe: le Laboratoire de conception mécanique appliquée (LAMDA), le Laboratoire de métallurgie thermo-mécanique (LMTM), le Laboratoire d'automatique (LA), le Advanced Nanoelectromechanical Systems Laboratory (NEMS), le Laboratory of Fluid Mechanics and Instabilities (LFMI) et le Laboratoire de sciences et technologies hydro & aero (HEPIA).

Après des années de conception et de construction, l'équipe est désormais en campagne de navigation dans le sud de la France et une première tentative de record est prévue pour le printemps 2025.



Tests tractés du bateau de record sur le Léman - © SP80.



Essais d'ailerons au tunnel de cavitation du LMH - © Guillaume Fischer.



Fixation rapide, moyeux sans frottements, capteurs de mouvement... Qu'est ce que le magnétisme peut apporter au sport ?

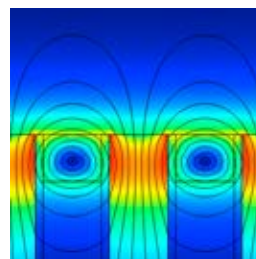
### Utilisation des matériaux magnétiques dans le sport

Les matériaux magnétiques et leurs forces à distance peuvent offrir de nouvelles solutions pour les équipements sportifs. Comment rendre magnétique un matériau, un objet, pour le fixer sur un autre en contrôlant la force de la fixation ainsi que la suppression du champ magnétique par voie électronique, permettant de libérer l'assemblage quand c'est nécessaire ?

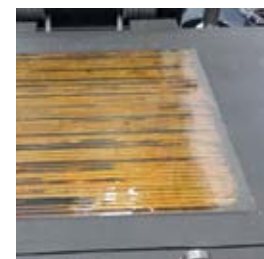
Le Laboratoire de magnétisme quantique (LQM) se penche sur les possibilités de fixation pour les équipements sportifs. Le laboratoire a développé de solides compétences dans la maîtrise des phénomènes magnétiques. Cette expertise peut être utilisée pour dimensionner et développer des matériaux et en optimiser les propriétés magnétiques en fonction des usages prévus. Il est dès lors possible de contrôler les forces d'adhésion. Cette expertise a été utilisée en collaboration avec le Laboratoire de mise en œuvre de composites à haute performance (LPAC) et l'entreprise Pomoca dans le développement d'une nouvelle génération de peaux de phoque.

En couplant ces développements avec des aimants actifs dont le champ peut être interrompu par contrôle électronique, on peut maîtriser la fixation et sa libération. Dans le domaine du sport, une telle compétence peut s'appliquer à de nombreuses situations. On peut imaginer des chaussures fixées par magnétisme sur les skis. Une puce électronique mesurant les efforts permettrait de mieux contrôler la libération de la fixation en cas de chute. De même, l'attache des chaussures de vélo aux pédales pourrait être magnétique. De telles applications ouvrent de nouvelles perspectives en matière d'équipement et permettront d'optimiser des systèmes de fixation dans divers sports.

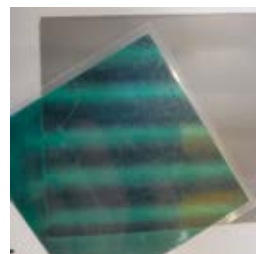
En plus des applications du magnétisme pour les équipements sportifs, le LQM met à disposition ses diverses expertises dans les techniques de mesure et l'analyse de données lors de diverses études, allant du soutien au UCI pour le combat de la fraude technologique dans le cyclisme jusqu'à des analyses d'efficacité biomécanique du pédalage.



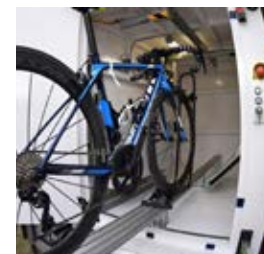
Simulation par élément fini de champs magnétiques autour du dispositif d'aimantation.



Dispositif d'aimantation qui permet de produire des feuilles à haute force d'adhésion.



Large feuille aimantée flexible. Le champ magnétique peut être visualisé par une poudre de ferrite enfermée entre deux feuilles plastiques, ici en vert.



Appareil d'imagerie à rayons X utilisé par UCI pour combattre la fraude technologique en vérifiant l'absence de moteurs cachés.

## 27 ÉQUIPEMENTS

Comment mesurer les mouvements d'un athlète lors des courses de ski alpin et prévenir les risques de blessures en analysant ces mouvements ?



Système Physilog utilisé pour les mesures.



Skieur équipé du système en phase de test.

### Prévention des risques de blessures lors de courses de ski alpin

Lors des courses de ski alpin, les skieuses et skieurs doivent atteindre des vitesses phénoménales tout en étant capables de contrôler chaque courbe. Les forces et vibrations ressenties lors des entraînements et des courses augmentent particulièrement le risque de blessures et de douleurs du bas du dos. Le Laboratoire de mesure d'analyse des mouvements (LMAM) cherche à mesurer les mouvements des skieuses et skieurs dans le but de lier ces mouvements aux autres facteurs de risque tels que l'équipement, le tracé de la course et les conditions d'enneigement. L'algorithme et l'outil de mesure développés permettent d'extraire la posture précise de l'athlète et d'obtenir une meilleure compréhension biomécanique des risques encourus. Le défi de ce projet réside dans la difficulté à faire des mesures précises au vu de la vitesse que les athlètes atteignent sur les pistes.

Pour ce projet, le laboratoire utilise les informations issues de différentes sources telles que des capteurs inertiels et le système de navigation globale par satellite (GNSS). L'algorithme permet de reconstruire les angles des articulations, la position précise du corps, la trajectoire et la vitesse de l'athlète sur toute la course. L'utilisation de l'outil et de l'algorithme sur un grand nombre d'athlètes et dans différentes courses et différentes conditions d'enneigement permet une meilleure compréhension des facteurs de risque de blessures.



Quand les planeurs de compétition représentent un champ de développement pour des modèles d'optimisation géométrique

### Optimisation de planeurs de compétition

La Fédération aéronautique internationale propose des championnats du monde de motoplaneurs électriques. Dans la catégorie qui nous intéresse, les planeurs disposent d'une motorisation électrique, une limite d'énergie disponible, un poids et une surface d'aile minimaux. Les concurrentes et concurrents doivent effectuer le plus grand nombre de tours possible entre deux bases distantes de 150 m en 200 secondes, puis maintenir un vol de 10 minutes en gérant les thermiques, avant d'atterrir dans une zone délimitée de 30 m de diamètre. La limitation de la puissance disponible a pour effet d'obliger une combinaison d'utilisation efficace de l'énergie à des compétences tactiques et de pilotage.

Cette réglementation offre un terrain de jeu idéal pour le développement de méthodes d'optimisation numérique. Pour optimiser un avion capable de gagner cette compétition, il faut mettre en œuvre une approche donnant une bonne finesse aux planeurs, tout en assurant un minimum de perte d'énergie dans les virages. Le Laboratoire de vision par ordinateur (CVLab) s'est associée à Marco Cantoni, maître d'enseignement et de recherche à l'EPFL et compétiteur chevronné, pour concevoir un tel planeur en partant d'une géométrie de base. À cette fin, l'équipe exploite les outils d'IA pour l'optimisation de formes 3D sur lesquels elle travaille depuis plusieurs années.

Les outils qui résulteront de ce travail seront applicables non seulement aux modèles réduits mais aussi à la conception de toutes les machines qui doivent être performantes, tout en restant faciles à contrôler.

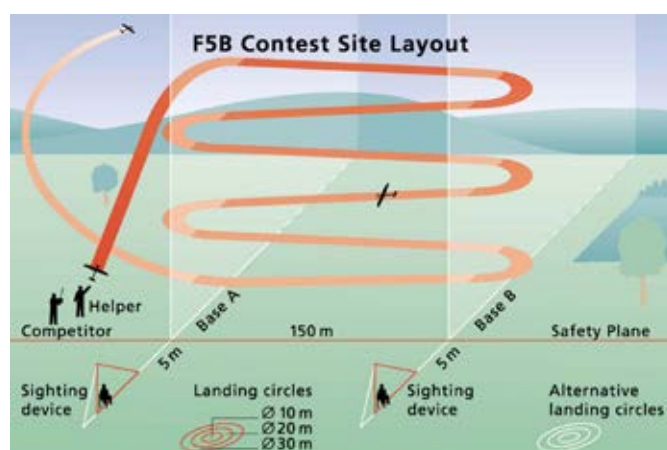
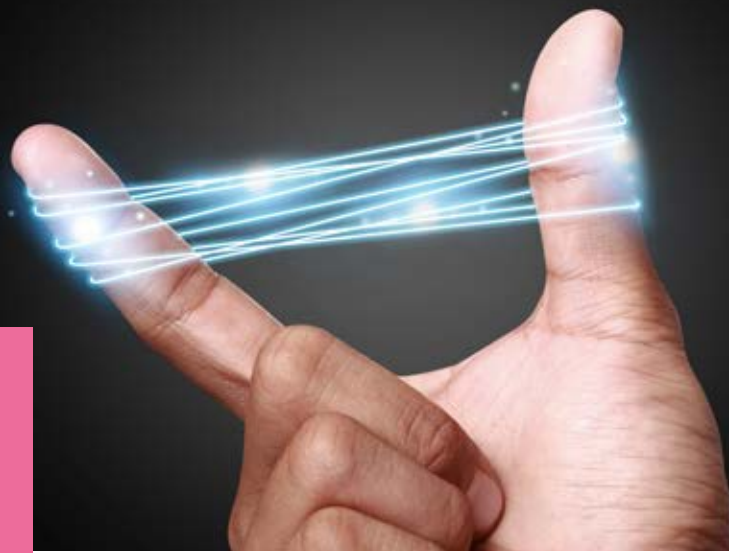


Schéma de la compétition de planeurs électriques.



Lancé du planeur en début de circuit lors des championnats de Wittenwil.



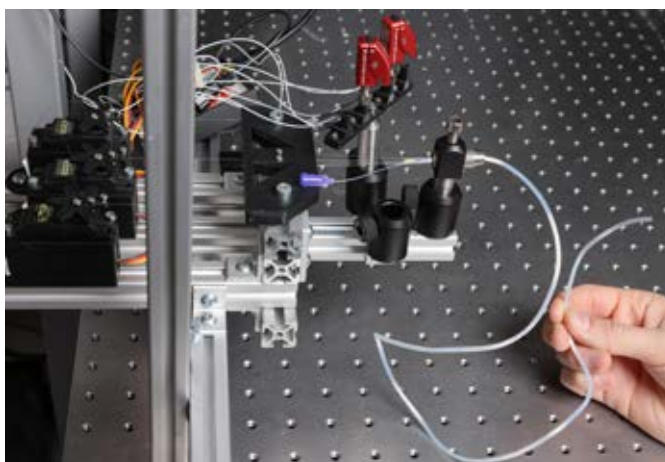
Des fibres textiles incorporant des fonctions pour la performance et le confort des athlètes

### Fibres et textiles intelligents

Comment développer des équipements sportifs intelligents intégrant de nouvelles fonctions pour améliorer les performances ?

Le Laboratoire des fibres et matériaux photoniques (FIMAP) est spécialisé dans la science des matériaux pour de la nano-fabrication à large échelle, et en particulier dans l'étréage à chaud et à haute viscosité de fibres multi-matériaux et multifonctionnelles. Ce procédé issu de la production de câbles à fibre optique, permet de créer des fibres intelligentes intégrant de la robotique mais aussi des guides optiques, des électrodes ou des micro-canaux permettant l'administration de substances, l'imagerie, l'enregistrement et la stimulation électrique ainsi que d'autres outils utilisés dans les applications robotiques et médicales.

Pour pouvoir intégrer toutes ces fonctionnalités aux fibres, l'équipe de recherche a dû affiner les paramètres du processus d'étréage afin de pouvoir créer une fibre continue sans effondrement des canaux de fonctionnalité qu'elle contient. Malgré une complexité apparente, la fabrication



Dispositif de test des fibres développées par le FIMAP.

de ces fibres est relativement simple et une production à grande échelle est facilement réalisable.

Ces éléments fonctionnels intégrés à des fibres ouvrent la voie à des robots autonomes en forme de fibres et donc à de nombreuses nouvelles applications notamment dans le domaine du sport.

Les matelas pourraient en être équipés pour contrôler la qualité du sommeil ou modifier les propriétés de leurs matériaux selon la pression et les paramètres physiologiques détectés, afin que les utilisatrices et utilisateurs bénéficient d'un meilleur sommeil. Ces fibres pourraient servir à créer des prothèses souples capables de réagir à une contrainte mécanique excessive sur une articulation en devenant plus rigides. Des textiles pouvant aider l'athlète dans ses performances, en détectant certains paramètres physiologiques comme le pouls ou la température, pourraient être créés. Ces textiles présentent de nombreux avantages. Entre autres, le confort est augmenté du fait que les textiles comportent eux-mêmes les capteurs qui récoltent les données au contact de l'épiderme.

La question de l'énergie est également au cœur de la problématique. Le FIMAP cherche à rendre ces robots-fibres autonomes en imaginant des procédés permettant de générer le courant pour alimenter le système en utilisant l'énergie produite par l'athlète par exemple.



Comment interfacier l'humain avec un équipement actif et connecté

### Twice : l'utilisation de la robotique dans le sport donne accès à de nouveaux horizons

La robotique portable permet une interaction physique entre l'athlète et les systèmes connectés. Les moteurs et capteurs en contact proche avec le corps humain offrent une amélioration et un suivi précis de la performance.

Le groupe de recherche de réhabilitation et d'assistance robotique (REHAssist) et sa spin-off Twice ont développé les technologies permettant à ces systèmes, appelés exosquelettes, d'être portables, légers, performants et adaptés à chaque cas d'application. Que ce soit pour une utilisation médicale ou sportive, ces appareils se déclinent en fonction des besoins d'assistance de chaque personne.

La compréhension des facteurs humains et de la biomécanique permet une conception d'un produit en symbiose avec l'athlète. L'intégration des éléments mécaniques, électroniques, des algorithmes de contrôle et des stratégies d'assistance en concert avec l'utilisatrice et l'utilisateur est au coeur du savoir-faire de Twice.

L'utilisation de la robotique dans le sport donne accès à de nouveaux horizons, que ce soit pour la compensation du handicap, un entraînement plus efficace, une pratique plus sûre, ou même l'émergence de nouvelles disciplines.



L'exosquelette Twice One permet à une personne atteinte de paraplégié complète de retrouver le monde vertical et la capacité de marcher, grâce à des moteurs aux articulations.

Comment  
la robotique  
s'adapte à  
toutes les  
pratiques

## Wiite : l'exosquelette qui permet la randonnée à ski

Le groupe REHAssist et sa spin-off Twice ont développé les technologies permettant aux exosquelettes d'être portables, légers, performants et adaptés à chaque cas d'application. Que ce soit pour une utilisation médicale ou sportive, ces appareils se déclinent en fonction des besoins d'assistance de chaque personne.

Wiite est une variante de l'exosquelette Twice, permettant à une personne atteinte d'une lésion complète de la moelle épinière de se relever, marcher, et surtout de faire de la randonnée à ski. Grâce à sa compatibilité avec des chaussures de ski de randonnée standard, il peut être porté par l'athlète et utilisé en conjonction avec des skis d'alpinisme. Il permet ensuite à la personne, malgré une incapacité motrice et sensorielle complète, de pratiquer la randonnée à ski.

Les mouvements actuels sont adaptés pour des pentes jusqu'à 40%. L'exosquelette ne permet que l'ascension, la descente étant prévue en handi-ski par exemple.

L'idée du projet Wiite pour le ski de randonnée est venue d'un passionné de montagne pour qui tracer à nouveau en ski de randonnée et retourner dans ce cadre sauvage était devenu inaccessible en fauteuil-roulant. Actuellement sous la forme d'un prototype, développé avec des partenaires industriels de la région, leaders dans leur domaine (Sonceboz, Fischer Connectors) l'objectif est de créer un produit accessible pour tous.



L'exosquelette Wiite permet à une personne atteinte d'une lésion complète de la moelle épinière de faire de la randonnée à ski de manière autonome.





Comment  
la robotique  
repousse  
les limites

### Sprint: un exosquelette de course à pied

Le groupe REHAssist et sa spin-off Twiice ont développé les technologies permettant aux exosquelettes d'être portables, légers, performants et adaptés à chaque cas d'application. Que ce soit pour une utilisation médicale ou sportive, ces appareils se déclinent en fonction des besoins d'assistance de chaque personne.

L'idée du projet Sprint est venue d'un athlète amputé pratiquant la course à pied et le triathlon et ayant été qualifié quatre fois pour les jeux paralympiques pour les épreuves de ski alpin.

Sprint est une variante de l'exosquelette Twiice avec pour but de permettre à une personne ayant subi une amputation transfémorale de retrouver sa vitesse de course avant son amputation et même de l'améliorer. De plus, l'exosquelette permet de corriger des mouvements de compensation développés avec l'utilisation des prothèses classiques de course et pouvant engendrer des pathologies à long terme.



Exécution des phases de course pendant les tests avec Sprint: (A) appui de talon droit, (B) phase de vol, (C) appui du talon gauche, et (D) appui pointe de pied gauche.

Suite aux premiers essais avec l'exosquelette, l'athlète a déjà pu courir plus vite qu'à l'aide d'une prothèse uniquement. Sur un sujet non-amputé, l'utilisation de l'exosquelette a permis à l'athlète amateur d'atteindre la vitesse d'athlètes d'endurance de haut niveau.

Les technologies développées par Twiice ont permis de réaliser ce projet en cinq semaines. Le prototype, développé avec des partenaires industriels de la région, leaders dans leur domaine (Sonceboz, Fischer Connectors), va maintenant être l'objet de la création d'un produit accessible pour tous.

Des robots mobiles, prêts à porter et reconfigurables ouvrent la voie à une interface homme-machine

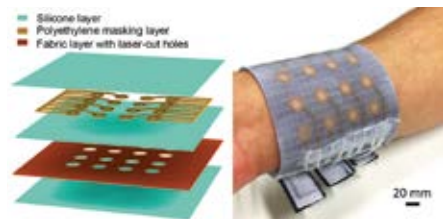
## Vêtements actifs pour mesurer le mouvement et fournir des données physiques

Au fur et à mesure que la science sportive progresse, il devient nécessaire de rassembler des informations substantielles sur l'état des mouvements des athlètes. Il s'agit d'une étape cruciale pour établir un diagnostic correct et identifier les techniques appropriées permettant à ceux-ci d'améliorer leurs performances. En outre, les équipements sportifs devraient être conçus pour devenir une extension du corps de l'athlète, avec un maximum de confort et la capacité de s'adapter aux besoins de chacun d'eux. Un moyen d'y parvenir consiste à utiliser des technologies robotiques portables intégrant une reconfiguration active ou passive.

Les scientifiques du Laboratoire de robotique reconfigurable (RRL) étudient la conception, l'activation, la fabrication et le contrôle de ces nouveaux mécanismes de détection et d'activation repoussant les limites des systèmes robotiques traditionnels. En explorant des méthodes de fabrication multicouches uniques, l'équipe de recherche a mis au point des plateformes robotiques modulaires pouvant être utilisées pour créer des robots souples, reconfigurables et interactifs, parfaitement conscients de l'environnement et utilisables dans les technologies portables. Les derniers développements au sein du RRL impliquent deux types de robots principaux : l'un inspiré de l'origami, Robogamis, et l'autre à matériaux souples.

Les Robogamis multicouches et multi-matériaux peuvent être utilisés pour produire rapidement des systèmes à profil bas. Leur conception modulaire permet des technologies portables hautement adaptables et personnalisables. Les matériaux souples tels que les élastomères et les tissus permettent des interactions sûres avec l'athlète. Les propriétés de ces matériaux permettent de mieux s'ajuster au corps humain et peuvent être utilisées pour développer de façon interactive des interfaces homme-machine plus naturelles.

Des systèmes d'actionneurs et de capteurs portables en matériel souple ont été développés pour les applications nécessitant un retour de force kinesthésique et haptique. Ces techniques peuvent également être utilisées pour mesurer avec précision et corriger activement la posture et les mouvements des athlètes sans entraver leurs mouvements.



Exemple de réseau de peaux ultraplats avec des motifs reconfigurables. Chaque actionneur peut produire une force de 1N et un actionnement de 0 à 100Hz.



Un exocostume robotique complètement flexible avec deux types d'actionnement pour un retour tactile et un maintien de la posture avec une force de sortie pouvant atteindre 100 N par élément (orange).

**Le retour de force pour donner des sensations de toucher aux applications virtuelles**

### Gant haptique pour sentir les objets virtuels comme des objets réels

Les chercheuses et chercheurs du Laboratoire des microsystèmes souples (LMTS) développent des technologies portables donnant une impression de solidité et de texture aux objets virtuels.

Une des technologies développées consiste en des embrayages ou freins électrostatiques à haute force en textiles minces qui peuvent bloquer le mouvement. Les freins électrostatiques sont compacts et légers, ce qui les rend particulièrement bien adaptés aux dispositifs portables. En appliquant une tension, deux bandes coulissantes peuvent être tirées ensemble, résistant au mouvement. Jusqu'à 20 kg peuvent être bloqués avec seulement 10 cm<sup>2</sup>. Les nombreuses applications incluent :

- des vêtements haptiques, par exemple, bloquant le mouvement des doigts pour fournir un retour haptique kinesthésique lors de la saisie d'objets virtuels dans la réalité virtuelle ;
- des robots textiles et exosquelettes souples ;
- du matériel de rééducation.

L'inclusion textile permet de créer des embrayages ultralégers et très flexibles qui augmentent le confort des dispositifs et facilitent l'intégration sur le corps et les vêtements.

Pour compléter cette technologie et ajouter à la richesse de la réalité virtuelle, le LMTS a développé des actionneurs souples qui peuvent simuler la sensation de toucher un objet virtuel avec ses doigts. Ces actionneurs sont des capsules de taille millimétrique, appelées Haxels, qui



Embrayages ou freins électrostatiques à haute force en textiles minces.

utilisent l'énergie électrostatique pour se déplacer de haut en bas et également d'un côté à l'autre et autour d'un cercle.

Le LMTS travaille déjà à l'intégration d'une dizaine de ces capsules dans un gant fin couplant les deux technologies : les capsules et les embrayages. Cela créera non seulement la sensation de tenir un objet solide, mais permettra également la sensation de différents matériaux : vous serez en mesure de dire si l'objet que vous tenez est en bois, en plastique ou en céramique.

Cela augmentera l'immersion dans les jeux vidéo mais sera aussi très utile pour la rééducation physique et pour les simulateurs d'entraînement sportif.



Réseau de capsules Haxel avec manchon de circuit imprimé textile.



Actionneurs souples (capsules Haxel).



**Le protège-dents utilisé au hockey sur glace pourrait-il aider à prévenir les commotions cérébrales ?**

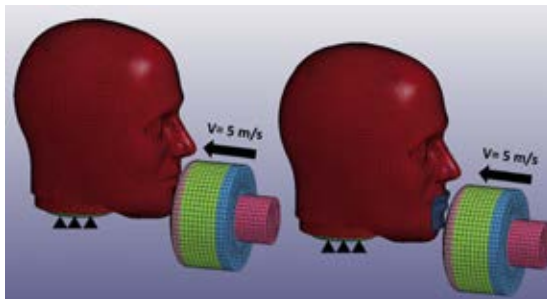
## Équipement pour la prévention des commotions

Les commotions cérébrales ou les lésions cérébrales traumatiques légères sont courantes dans les sports de contact. Aux États-Unis seulement, la prévalence est estimée entre 1.6 et 3.8 millions chaque année. La neuropathologie persistante et même progressive et les

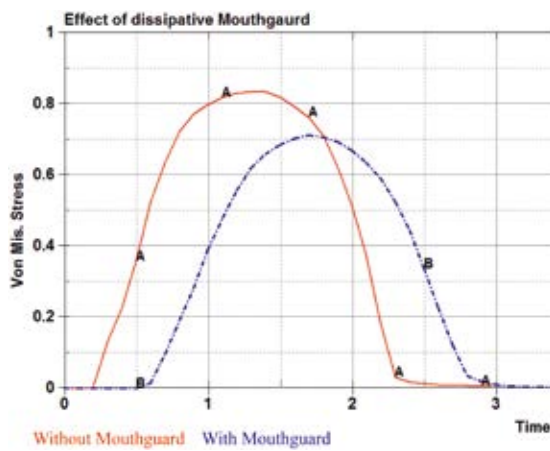
dysfonctionnements neurologiques déclenchés par cette lésion mécanique représentent un défi majeur chez les athlètes pour qui les impacts à haute vitesse sont fréquents et répétés.

Malheureusement, malgré plusieurs rapports de traitements qui ont montré leur efficacité dans des modèles animaux de commotions cérébrales, aucun ne s'est traduit par une utilisation en clinique, donc les moyens de réduire les impacts des commotions cérébrales dans les sports de contact sont d'une grande importance pour les athlètes.

Les objectifs de la recherche menée en collaboration entre le Prof. Martin Broome, chef de la division de chirurgie buccale et maxillo-faciale au CHUV, et le Prof. Dominique Pioletti, directeur du laboratoire d'orthopédie biomécanique à l'EPFL, sont :



Simulation d'un choc avec et sans protège-dents.



Mesure de l'impact du choc (bleu) avec protège-dents et (rouge) sans protège-dents.

- Définir les paramètres biomécaniques / cliniques clés impliqués dans une commotion cérébrale due à un choc lors de la pratique d'un sport de contact.
- Développer un modèle biomécanique permettant de simuler la manière dont l'énergie mécanique survenant lors d'un choc à la mandibule est transmise au cerveau sous forme d'onde de choc.
- Évaluer biomécaniquement si le protège-dents peut réduire la survenue d'une commotion cérébrale en modifiant les conditions aux limites pour la transmission de l'énergie mécanique de la mandibule au cerveau sur la base des modèles développés.
- Concevoir et produire des protège-dents avec des propriétés mécaniques et dissipatives optimales basées sur les résultats de l'analyse biomécanique.

Mesurer l'impact des chocs à la tête dans les sports de contact et réduire les risques de commotions cérébrales

### Un casque intelligent pour mesurer la sévérité des impacts crâniens

Il a été démontré que les chocs répétitifs à la tête, fréquents dans les sports de contact, avaient des conséquences à long terme sur le cerveau, conduisant potentiellement au développement d'une maladie cérébrale dégénérative connue sous le nom d'encéphalopathie traumatique chronique (CTE).

La CTE a été cliniquement associée à des symptômes d'irritabilité, d'impulsivité, de dépression, de perte de mémoire à court terme et de risque de suicide accru, débutant généralement huit à dix ans après avoir subi des lésions cérébrales traumatiques légères et répétitives. La CTE peut se développer à partir d'un coup puissant ou de la répétition d'impacts de plus faible intensité au fil du temps. L'intensité de chaque coup influence la vitesse à laquelle le cerveau commence à se détériorer.

Comment un casque instrumenté pourrait-il contribuer à réduire les risques de lésions cérébrales à long terme ?

Bien que les casques réduisent les risques de blessures à la tête, il existe aujourd'hui peu de mesures de la quantité et la gravité des chocs à la tête encaissés par les athlètes pendant les matchs et à l'entraînement, faisant des commotions cérébrales le seul indicateur d'un cerveau déjà endommagé par trop de chocs reçus.

L'équipe de recherche du LMAM travaille sur un nouveau système composé d'un casque comportant des capteurs, d'algorithmes de traitement des données de pointe et d'une plateforme d'analyse en ligne pour fournir une étude des impacts à la tête. Le casque enregistre

le mouvement de la tête à l'aide de capteurs inertiels (accéléromètres, gyroscope, etc.) ainsi que la localisation et la gravité de l'impact grâce à des capteurs de pression intégrés à la mousse de rembourrage du casque. Cette recherche va donner naissance à une start-up.

Une telle technologie aidera les coaches d'équipe et les cliniciens à prendre des décisions éclairées sur la santé des joueuses et joueurs dans des sports tels que le football américain, le hockey sur glace, le rugby, la boxe, le ski et le cyclisme. Les athlètes ayant subi plusieurs impacts pourraient être temporairement retirés du jeu afin d'avoir le temps de récupérer. Ce projet vise également à élargir les connaissances scientifiques sur les lésions cérébrales, car les scientifiques manquent actuellement d'instruments fiables pour étudier le lien entre les impacts cérébraux répétés et les traumatismes cérébraux.



Mesurer les chocs à la tête permettra de protéger les athlètes et d'élargir les connaissances scientifiques sur les lésions cérébrales.



**Intégration de capteurs innovants dans les casques pour améliorer la détection des impacts dans les sports de contact**

## Casques intelligents de mesure de lésions cérébrales

Chaque année, aux États-Unis seulement, on dénombre entre 1.6 et 3.8 millions de lésions cérébrales traumatiques (TCC) résultant d'activités sportives. Bien que les casques de sport aient pratiquement éliminé les fractures crâniennes et les lésions cérébrales mortelles, les lésions cérébrales diffuses sont toujours répandues et entraînent des conséquences à long terme pour la santé ainsi qu'une perte de temps de jeu. Bearmind, une start-up de l'EPFL, a mis au point une nouvelle génération de casques intégrant des capteurs (unités de mesure inertielle) et une modélisation pour déterminer la prévalence de ces lésions afin d'en permettre le suivi et le traitement. Cependant, cela ne permet pas de prédire avec précision l'ampleur, la direction et l'emplacement de l'impact. Pour répondre à ce défi, une nouvelle génération de capteurs est en cours de développement avec le Laboratoire de conception et de fabrication de robots informatiques (CREATE Lab).

Le CREATE Lab développe de nouveaux outils de fabrication et de conception computationnelle pour la réalisation de robots afin d'améliorer leurs capacités. L'un des axes de développement est lié à la mise au point de structures sensorielles qui permettent aux robots d'avoir des interactions intelligentes avec l'environnement, à l'instar des humains. En s'appuyant sur les technologies robotiques souples et l'impression 3D avancée, l'équipe de recherche développe de nouveaux capteurs à base de mousse qui peuvent être combinés avec des analyses de données avancées pour reconstruire les paramètres de l'impact, et fournir une meilleure estimation du risque de traumatisme craniocérébral léger.

Bearmind a mis au point une couche de capteurs souples en « mousse fermée », qui peut être utilisée dans les casques pour prédire la force d'impact, sa direction et sa localisation, avec des résultats initiaux prometteurs. La collaboration avec le CREATE Lab vise à développer une solution plus robuste qui résiste à l'environnement d'application.

Ce développement permettra d'améliorer la détection de l'impact dans les sports de contact tels que le hockey sur glace, les sports mécaniques et le ski, qui peuvent entraîner des lésions cérébrales traumatiques. Cela permettra une surveillance et un suivi appropriés, réduisant ainsi les effets à long terme sur la santé.



Couche de capteurs souples en « mousse fermée » intégrée au casque.



Joueurs de hockey portant le dispositif Bearmind.



L'étude de la pratique de ski aujourd'hui montre une faille de protection dans les casques

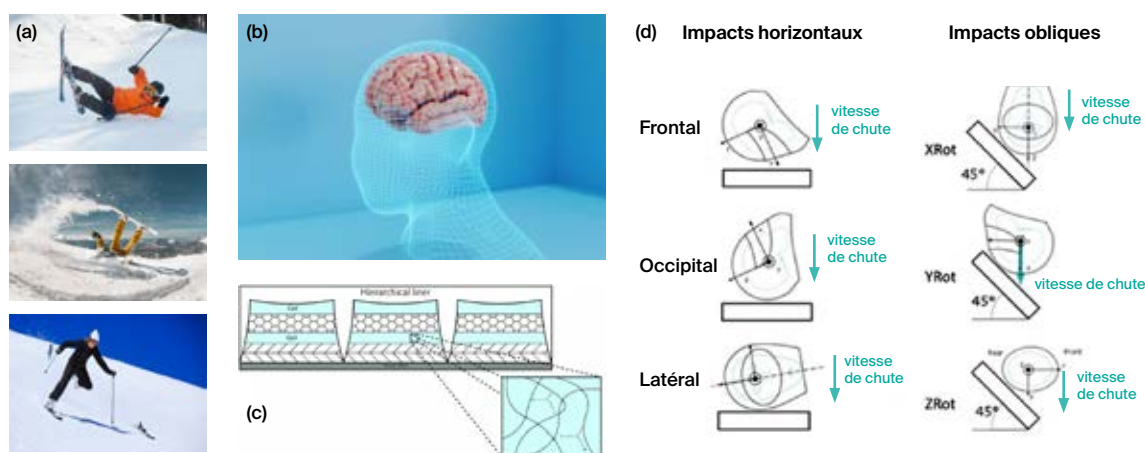
### Repenser les casques de ski pour apporter une meilleure protection

La pratique du ski a beaucoup évolué ces dernières années, grâce à un matériel de plus en plus performant et facile à utiliser et des pistes de mieux en mieux préparées, aidant aussi à une pratique plus accessible. En conséquence, la fréquentation des pistes mais aussi la vitesse moyenne atteinte par les skieuses et skieurs ont toutes deux fortement augmenté. Cela engendrant des accidents plus nombreux et plus graves.

L'équipe de recherche du Laboratoire de biomécanique en orthopédie (LBO), en collaboration avec les médecins du service de neurochirurgie de l'hôpital de Sion, a étudié la protection apportée par les casques lors de ces accidents. Les casques de ski actuels sont produits à partir de modèles développés il y a plus de 25 ans, principalement pour la protection de chocs frontaux

et les risques de fracture de la boîte crânienne. Depuis la vitesse moyenne à ski est passée de 25 à 45 km/h. Ceci, couplé à la hausse de la fréquentation des pistes, le nombre et la nature des chocs subits ont augmenté. Les scientifiques et médecins ont observé des collisions induisant une rotation de la tête et provoquant des lésions axonales diffuses.

Les casques doivent être complètement repensés afin de diminuer la vitesse de rotation de la tête lors d'un choc et intégrer pour cela des matériaux qui dissipent l'énergie de la collision, sur le même modèle que les voitures lors de crash tests. Pour cela, des recherches avec le Laboratoire de mise en œuvre de composites à haute performance (LPAC) de l'EPFL sont envisagées afin de développer ces matériaux composites pouvant dissiper l'énergie du choc et éviter qu'elle se propage au cerveau et créé des lésions.



(a) Accidentologie; (b) simulation biomécanique des propriétés diminuant les lésions traumatiques du cerveau (TBI); (c) conception des matériaux permettant de réduire les impacts; (d) validation par des tests d'impact.



Utilisation de l'intelligence artificielle pour optimiser les systèmes multi-critères et explorer des designs inédits

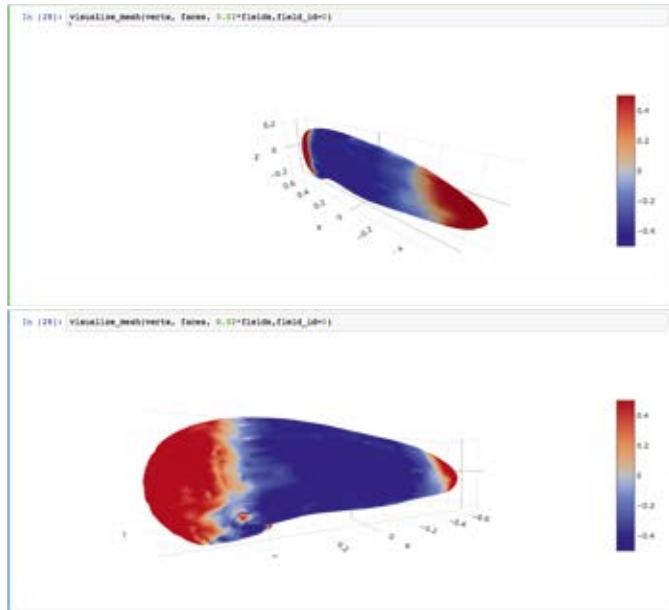
Neural Concept: outil d'optimisation basé sur l'intelligence artificielle pour le design

Lors du développement d'un nouvel équipement, les équipes d'ingénierie et de conception imaginent différentes formes. Les plus prometteuses sont testées dans un deuxième temps en utilisant des outils de simulation par ordinateur qui nécessitent une énorme puissance de calcul. Dans les systèmes complexes, où le nombre de variables est élevé, cette approche limite les différents scénarios à un sous-ensemble de géométries. En raison de la nature humaine conservatrice, les formes retenues restent généralement assez similaires à celles existantes.

L'approche de l'intelligence artificielle consiste à donner une forme initiale à un logiciel et à laisser la machine explorer les variations de la géométrie en comparant les résultats aux critères de performance attendus. Pour développer la technologie à l'origine du logiciel, le groupe de recherche du Laboratoire de vision par ordinateur (CVLAB) a entraîné un réseau de neurones à convolution au calcul des propriétés de différentes formes. Chaque forme est représentée par des maillages génériques de polygones, qui sont des ensembles de points utilisés pour générer des géométries en 3D. Le programme trie l'ensemble des formes générées en les comparant rapidement afin de trouver la meilleure. En l'absence de

tout préjugé humain, la démarche aboutit parfois à des formes totalement inattendues qu'une approche traditionnelle n'aurait pas permis d'envisager.

Le logiciel a été utilisé avec succès en collaboration avec l'équipe de l'IUT d'Annecy participant au World Human Powered Speed Challenge. Ce concours implique des étudiants et étudiants universitaires et consiste à développer le vélo le plus rapide possible. L'équipe de l'IUT a atteint les 130.072 km/h, établissant un nouveau record français et se rapprochant du record du monde actuel de 133.78 km/h.



Résultats de simulation.



Les outils de simulation numérique et l'intelligence artificielle au service du développement des équipements sportifs

### À la recherche de la tenue sportive idéale

Les textiles techniques et les équipements sportifs ont fait des progrès spectaculaires ces dernières années, offrant la possibilité de développer des habits spécifiques en fonction de la nature du sport, mais également de plus en plus en fonction de la morphologie de l'athlète. Le choix du textile et la coupe du vêtement sont des procédés qui demandent encore de nombreuses itérations avant d'arriver au résultat souhaité. Afin de réduire ces cycles de conception, les designers font appel à des programmes de simulation de plus en plus sophistiqués.

De nombreuses approches de drapage de vêtements individuels sur des modèles de corps humain sont réalistes, rapides et produisent des résultats différenciables en fonction de la forme du corps.

Cependant, aucune d'entre elles n'est capable de gérer des vêtements multicouches, qui sont pourtant très répandus dans les vêtements techniques.

Les chercheuses et chercheurs du Laboratoire de vision par ordinateur (CVLab) travaillent sur des algorithmes de réseaux neuronaux et d'apprentissage profond qui peuvent être utilisés pour analyser des images ou, comme dans la figure ci-contre, pour produire des modèles réalistes prenant en compte la géométrie des corps et la physique des textiles. L'équipe de recherche a développé un modèle paramétrique de représentation des vêtements qui gère efficacement les formes complexes et les vêtements superposés. Chacun est constitué de panneaux individuels en 2D qui sont ensuite mappés en une surface 3D. Cette combinaison produit des reconstructions de meilleure qualité que les représentations à base de surfaces implicites et permet d'éditer rapidement les formes et les textures des vêtements en modifiant individuellement les panneaux 2D.



Modélisation 3D de personnes et leurs vêtements à partir d'une image.

L'électronique souple et autonome en énergie pour créer des exosquelettes, des vêtements thermo-régulateurs ou des systèmes haptiques immersifs

## Nouvelle pompe portable et autonome dans un format de fibre

L'équipe de recherche du Laboratoire des microsystèmes souples (LMTS) a développé un nouveau système de pompe en forme de fibre capable de générer pression et débit.

Cette nouvelle technologie peut être intégrée directement sous forme de fibre à des textiles et des vêtements en utilisant des techniques de tissage et de couture standard.

Les pompes fibres sont alimentées par une batterie de la taille de la paume de main, pouvant ainsi être complètement portable et facilement intégrée à un vêtement.

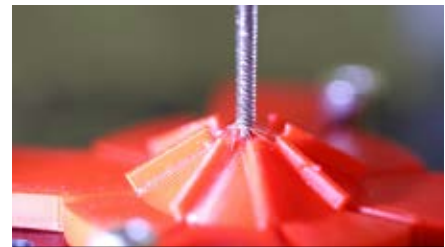
Le principe utilisé est appelé électro-hydrodynamique à injection de charge (EHD) pour générer un écoulement de fluide sans aucune pièce mobile. Deux électrodes hélicoïdales intégrées à la paroi de la pompe ionisent et accélèrent les molécules d'un liquide spécial non conducteur. Le mouvement des ions et la forme des électrodes génèrent un écoulement net de fluide vers l'avant, ce qui permet un fonctionnement silencieux et sans vibration.

Pour obtenir la structure unique de la pompe, les scientifiques ont mis au point une nouvelle technique de fabrication qui consiste à enrouler des fils de cuivre et des fils de polyuréthane autour d'une tige d'acier, puis à les fusionner via un apport de chaleur. Une fois la tige retirée, les pompes fibres mesurent 2 mm de diamètre et peuvent ainsi facilement être tissées entre elles ou avec d'autres fibres classiques.

En plus d'une conception simple, les matériaux utilisés sont bon marché et facilement disponibles, ce qui permet d'envisager une production à grande échelle. La conception de la pompe fibre permet aussi de la laver.

Ces propriétés remarquables permettent d'envisager de multiples utilisations de cette nouvelle technologie dans le domaine du sport. Les pompes fibres peuvent être utilisées pour moduler la thermorégulation d'un vêtement et ainsi

refroidir ou réchauffer certaine partie du corps à des fins de confort ou thérapeutiques pour gérer les inflammations. Les pompes fibres peuvent aussi servir à créer des exosquelettes souples en les utilisant sur des tissus afin de créer des muscles artificiels.



Fabrication de la structure de la pompe, par un procédé consistant à enrouler des fils de cuivre et des fils de polyuréthane autour d'une tige d'acier, puis à les fusionner via un apport de chaleur.



Intégration de la pompe dans un textile tricoté.



Prototype intégrant la pompe à un gant.

La robotique liée  
à la stimulation  
des nerfs pour  
retrouver le  
retour sensoriel

### Une prothèse de la main nouvelle génération redonnant le sens de la proprioception et du toucher

Après plus de dix ans de recherche, les équipes du Laboratoire de neuro-ingénierie translationnelle (TNE Lab) et de la Fondation Polyclinique universitaire A. Gemelli IRCCS, ont développé une nouvelle génération de prothèse permettant de redonner au patient la sensation du toucher et de la proprioception, cette capacité qu'a notre cerveau à connaître instantanément et de manière précise la position dans l'espace de la main et des doigts, pendant et après leur utilisation (même dans le noir ou avec les yeux fermés).

La technologie développée permet de connecter la main robotique aux nerfs résiduels du membre amputé et de les stimuler. Cette stimulation intraneurale est produite par des électrodes envoyant des impulsions électriques directement dans les nerfs en fonction du flux d'informations provenant de l'extérieur.

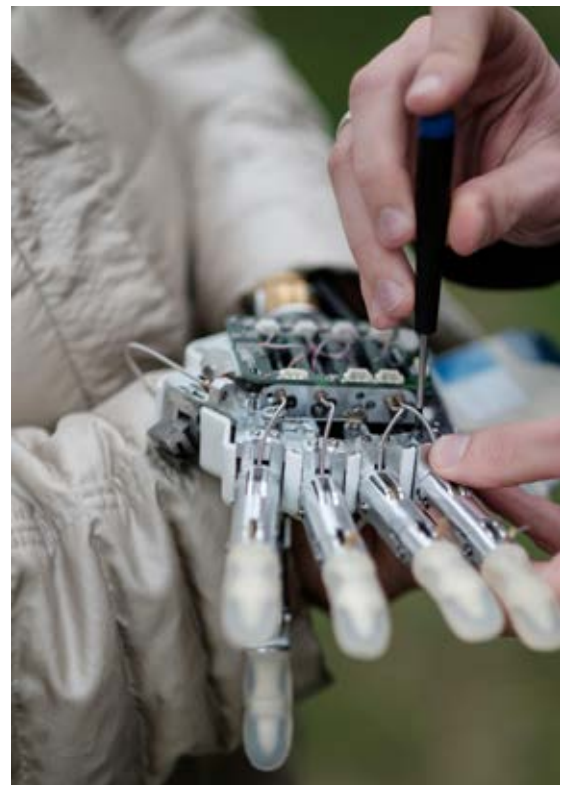
Elle permet à la patiente ou au patient de retrouver un retour sensoriel tel que la perception de la consistance, la forme et la taille d'un objet, juste par le toucher et sans le regard.

Les premiers tests patients ont montré que les personnes amputées arrivent à retrouver un toucher et une acuité proprioceptive élevée, proche de celle d'un sujet non amputé, après une formation spécifique.

Cette génération de prothèse novatrice ouvre un champ inédit d'activité aux amputés, leur permettant de pratiquer à nouveau des sports fortement dépendant de la proprioception tels que le tennis, le golf, etc.



Prothèse de main portée par une patiente.



Composants de la prothèse.



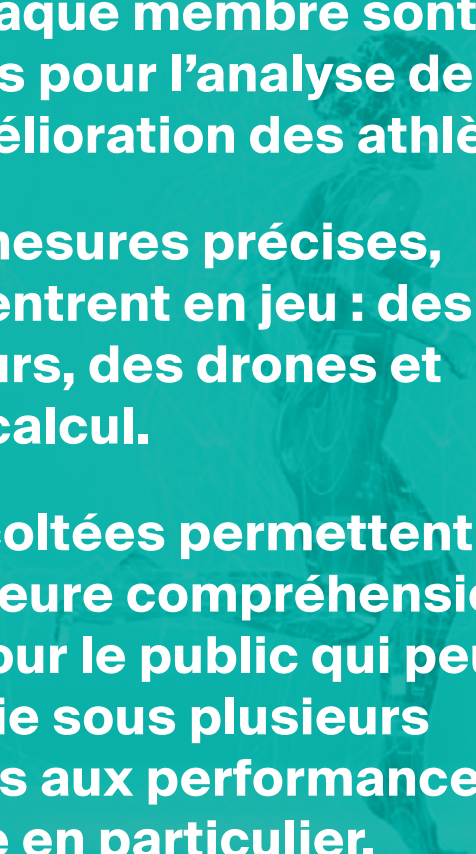
# MOUVEMENT ET POSITION

**Les mouvements et le positionnement sont des enjeux cruciaux dans le sport.**

**La position au sein d'une équipe, l'emplacement dans un environnement précis ou le mouvement de chaque membre sont des données essentielles pour l'analyse de performance et l'amélioration des athlètes.**

**Pour effectuer des mesures précises, plusieurs éléments entrent en jeu : des caméras, des capteurs, des drones et des algorithmes de calcul.**

**Les informations récoltées permettent également une meilleure compréhension des phases de jeu pour le public qui peut ainsi suivre une partie sous plusieurs angles ou avoir accès aux performances d'une ou d'un athlète en particulier.**



### Un dispositif pour mesurer la consommation d'énergie pendant la course

#### WattsUp : un compteur de puissance pour la course à pied

La course à pied est devenue l'un des sports les plus populaires dans le monde avec de nombreux coureuses et coureurs amateurs participant maintenant à des courses de longue distance. L'amélioration des performances en course à pied nécessite des ressources qui peuvent ne pas être accessibles au grand public. Les capteurs portés peuvent-ils être une solution fiable pour recevoir des conseils personnalisés et ainsi fournir un effort correct ?

Le projet WattsUp a pour but de développer un algorithme permettant aux dispositifs portés intelligents de donner des conseils personnalisés sur la puissance délivrée pendant la course. Contrairement au cyclisme, il n'existe aucun moyen direct de mesurer la puissance de course en dehors d'un laboratoire. Le défi consiste à estimer la puissance avec précision à partir des signaux bruts de capteurs inertiels. Le Laboratoire de

mesure et d'analyse des mouvements (LMAM) utilise son expertise en matière de mesure et de biomécanique pour obtenir des valeurs précises, corrigeant les inévitables erreurs de capteur grâce à la modélisation du mouvement de la course. Les algorithmes produisent des informations fiables et objectives pouvant être interprétées directement par les athlètes. Le système permet d'effectuer des mesures en conditions réelles de course et de fournir des informations équivalentes à celles obtenues dans un laboratoire de recherche.



Mesures de laboratoire permettant d'obtenir les valeurs nécessaires au développement de l'algorithme.



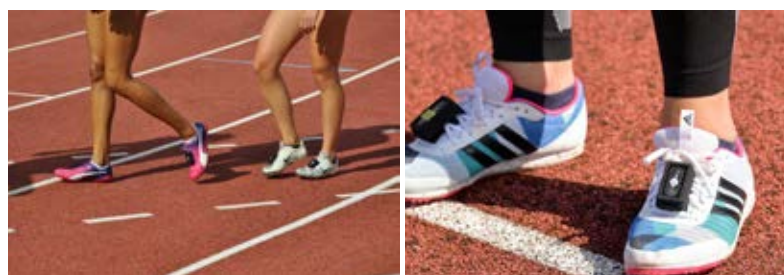
Détecter le timing du franchissement des haies au moyen de capteurs inertes portés au pied pour améliorer les performances et la stratégie de course

### Athlétisme : détection du passage des haies dans un 400 mètres

Le 400 mètres-haies est l'une des disciplines les plus éprouvantes en athlétisme. C'est une combinaison de vitesse et d'endurance dans laquelle la stratégie de course joue un rôle important. Le nombre de pas et la vitesse de course entre les haies sont des concepts-clé utilisés par les athlètes pour évaluer la course. Des capteurs inertes placés sur les pieds peuvent-ils fournir une analyse rapide et précise d'une course de 400 mètres-haies ?

Ce projet vise à détecter le moment de franchissement d'une haie au moyen d'une unité de mesure inerte légère (Physiolog 5, Gait Up, Switzerland) placée sur les deux pieds. Différentes techniques ont été étudiées, mais la méthode la plus prometteuse combine la métrologie et l'expérience en biomécanique du Laboratoire de mesure et

d'analyse du mouvement (LMAM). Le système estime les caractéristiques spatio-temporelles des allures des coureuses et coureurs et peut ainsi fournir une analyse complète de la course. Des paramètres tels que le timing sur chaque haie, la vitesse entre chaque intervalle, et le nombre de pas dans chaque intervalle, sont mesurés automatiquement et transcrits dans un rapport. Ce système unique aidera les athlètes et leurs coaches à améliorer leurs performances, leur stratégie et leur technique de course.



Unités de mesure inertes portées au pieds (Physiolog 5).



Test du système lors d'un 400 mètres-haies (Tarare, France).



Des capteurs  
étanches pour  
l'analyse  
et la coordination  
du mouvement

### SmartSwim : système d'analyse intelligent de la natation pour l'apprentissage et l'entraînement

Reconnu comme l'un des meilleurs moyens pour rester en bonne santé et en forme, la natation devient un sujet d'étude de plus en plus intéressant. En raison de difficultés techniques liées à l'utilisation d'instruments de mesure dans l'eau, la natation a été peu étudiée et de nombreux paramètres inconnus restent à découvrir pour améliorer et mettre en valeur la performance des nageuses et nageurs.

L'objectif principal de ce projet développé par le Laboratoire de mesure et d'analyse des mouvements (LMAM), le CHUV et la société Gait Up est la conception et la mise en oeuvre d'un système portable d'évaluation objective permettant d'analyser la natation, aidant ainsi les entraîneurs et les athlètes à réaliser plus rapidement et plus efficacement des progrès. L'unité de mesure inertielle portable (UMI) est un outil puissant pour mesurer et analyser les performances de l'athlète lorsqu'il pratique un sport. À l'aide de ces capteurs, le système final de mesures de ce projet sera portable, étanche et peu encombrant. Le système portable sera capable de détecter différentes phases de natation dans tous les styles de nage et d'importants paramètres cinématiques pour chaque phase, servant d'assistant pour les coaches en fournissant des observations et informations utiles.



Capteur de mesure inertielle fixé sur la tête.



Capteur de mesure inertielle fixé sur le poignet.



Piscine où les tests de SmartSwim sont effectués.



**Imagerie vidéo et intelligence artificielle pour exploiter les séquences vidéo et les données générées afin de parfaire les tactiques de jeu**

### L'intelligence artificielle au service de la performance sportive

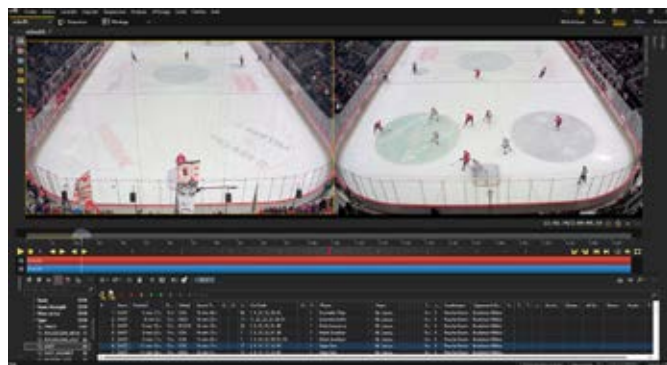
Inscrit dans la grande tendance des laboratoires vivants, ce projet est une collaboration entre l'entreprise Dartfish, active sur les solutions d'imagerie vidéo pour l'analyse de la performance sportive, le Lausanne Hockey Club (LHC) et le Laboratoire d'intelligence visuelle pour les transports (VITA).

Dix caméras ont été installées dans la Vaudoise Aréna : quatre au plafond pour scruter les mouvements des joueurs, des arbitres et du palet et six autour de la glace afin d'identifier les joueurs. Les séquences vidéo des matchs et les données qui en résultent ont été fournies aux scientifiques du VITA Lab, afin d'entraîner leurs algorithmes de détection de mouvement et de les adapter à cet environnement. Le défi principal consiste à garder la trace de chaque joueuse et joueur dont le numéro peut être temporairement masqué.

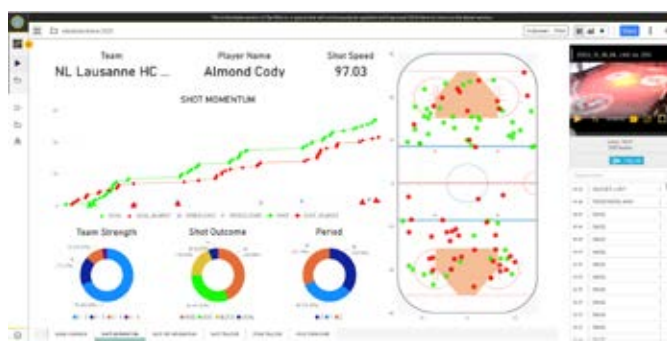
Les scientifiques développent des algorithmes qui détectent les athlètes à un instant donné et qui prédisent leur déplacement dans les secondes qui suivent. Ces informations permettent de compenser les pertes de données lors d'obstructions et limitent les erreurs de détection. Le laboratoire intègre également des solutions de détection plus détaillées qui prennent en considération la silhouette des joueuses et joueurs, ce

qui renforce encore la fiabilité du suivi et offre de nouvelles perspectives d'analyses de performance des athlètes. Ces travaux permettront d'augmenter encore la fiabilité de la solution de Dartfish et d'ajouter de nouvelles fonctionnalités.

À terme, la solution de Dartfish a pour but de fournir trois niveaux de données : les données de positions toutes les 20 millisecondes, les statistiques propres à chaque athlète (distance parcourue, nombre de tirs, temps sur la glace, etc.), ainsi qu'une solution automatisée de séquençage des matchs facilitant l'analyse.



Système Dartfish de tracking des joueurs.



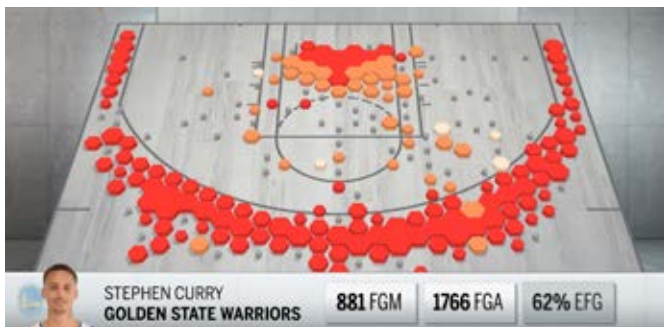
Statistiques extraites des images fournies par le système.

## 47 MOUVEMENT ET POSITION

Suivi par imagerie vidéo des athlètes et de la balle lors d'un match pour déterminer leurs positions exactes, presque en temps réel, à des fins de statistiques et de coaching



Analyse de chance de réussite en fonction des positions.



Résultats d'un joueur sur la saison.

## Suivi des joueurs lors des matchs

Quelles sont les stratégies mises en place lors d'un match? Quels sont les points forts et faibles des joueuses et joueurs d'une équipe? Comment récolter toutes les informations d'une rencontre de manière efficace? Des compétences développées par le Laboratoire de vision par ordinateur (CVLAB) est née une start-up, PlayfulVision, active dans le suivi vidéo des athlètes. Depuis rattachée à Second Spectrum, elle s'est spécialisée dans le suivi des matchs de basketball puis de football. En utilisant un réseau de caméras propriétaire, Second Spectrum est capable de déterminer la position des joueuses et joueurs et de la balle tout au long du match, ce qui permet d'enrichir les statistiques utilisées lors des retransmissions télévisées et d'améliorer les performances des équipes. En récoltant les données lors de tous les matchs d'une saison, le projet aide les coaches à avoir une vision de chaque athlète sur le long terme, ce qui sert à optimiser les entraînements. Cela offre également la possibilité de définir la composition de son équipe en fonction du profil de jeu de ses joueuses et joueurs et des adversaires. Second Spectrum et le CVLAB sont capables de traiter les images vidéo à large échelle et d'avoir une excellente compréhension du jeu en matière d'apprentissage automatique des machines et d'analyse de données. Cette approche pourra s'étendre dans le futur à de multiples sports d'équipe.



Comment estimer la posture et les mouvements des athlètes pour améliorer les performances ou animer les points forts d'un match à la télévision ?

### Estimation de posture humaine et du mouvement d'un joueur en 3D

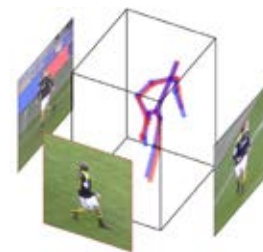
Comment mesurer précisément et simplement la posture des athlètes ? Comment suivre le geste de l'athlète pour améliorer sa performance ? L'équipe du Laboratoire de vision par ordinateur (CVLAB) cherche à estimer les positions et les mouvements d'un être humain en 3D en utilisant une seule caméra. Le but est d'utiliser ces positions 3D pour optimiser les postures des athlètes. Dans le cadre du golf par exemple, cette technique permet de visionner le mouvement et d'améliorer les swings et les performances. Jusqu'à récemment, les techniques d'estimation 3D étaient principalement utilisées en laboratoire et pour de l'animation. Le projet du CVLAB cherche à développer ces techniques dans un cadre extérieur et dans des environnements complexes.

Le CVLAB se sert de plusieurs images consécutives de vidéos pour mieux prévoir les positions des athlètes. Pour obtenir une visualisation 3D du mouvement, le geste de la joueuse ou du joueur est découpé en séquences à partir des images vidéo. Ce travail sur les images commence par la stabilisation des caméras pour davantage de netteté puis par un recentrage de la joueuse ou du joueur. En utilisant la chronologie des images et des techniques d'apprentissage automatique des machines (*machine learning*), le CVLAB offre une visualisation optimale de la posture 3D.

Ces données sur les athlètes ont aussi des applications dans la diffusion d'événements sportifs. Le projet est actuellement financé par une compagnie suédoise spécialisée dans la retransmission d'événements sportifs. L'idée dans ce cadre est d'animer les points forts du match et d'augmenter l'expérience du public. Le projet est en cours et les développements futurs doivent permettre de capturer les gestes de plusieurs athlètes simultanément dans des environnements et des positions plus complexes.



La méthode utilisée par le CVLAB permet de recomposer de façon fiable la posture du joueur en 3D avec une seule caméra.



Collecte simultanée des informations d'apparition et de mouvement d'un joueur à partir d'images vidéo consécutives, permettant d'estimer la posture 3D.



La stabilisation de la caméra et l'alignement du corps du joueur sur les différentes images utilisées permet d'améliorer les performances de l'approche utilisée par le laboratoire.



Que ce soit en extérieur ou en intérieur, l'approche du CVLAB est l'une des plus performantes à l'heure actuelle.

Analyse par imagerie vidéo facilitée par une interface graphique d'extraction automatique de points clés

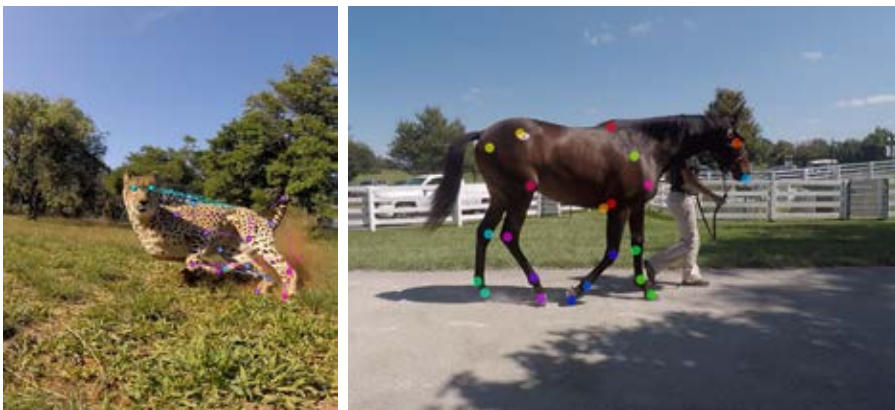
### DeepLabCut : estimation de la pose et analyse comportementale

DeepLabCut est une solution d'estimation de pose 3D sans marqueur basée sur des méthodes d'apprentissage automatique dites par transfert utilisant des réseaux de neurones profonds. Il permet l'estimation de la pose et le suivi des mouvements dans les vidéos et images existantes ou sur les flux en direct de caméras.

Grâce à une interface graphique facile d'utilisation, l'outil permet aux utilisatrices et utilisateurs de sélectionner des points d'intérêt pour construire un petit lot d'images d'entraînement puis de créer une extraction automatique de points clés basée sur un réseau neuronal personnalisé. La polyvalence de ce concept a été démontrée par le suivi de diverses parties du corps chez plusieurs espèces dans une

grande diversité de comportements, allant de la locomotion chez le guépard au vol des chauves-souris. Des modèles pré-entraînés spécifiques ont été développés pour permettre le suivi de la pose et des articulations sélectionnées du corps humain, des singes, des chats et des chiens ainsi que pour les souris et les points clés du visage chez les primates ([modelzoo.deeplabcut.org](http://modelzoo.deeplabcut.org)).

DeepLabcut, développé en collaboration par le Groupe Mathis et le Mathis Lab (Bertarelli Foundation Chair of Integrative Neuroscience), est disponible sous forme de logiciel en open source. L'outil existant et l'expertise peuvent trouver de nombreuses applications dans le domaine du sport. De l'analyse des joueuses et joueurs au suivi des mouvements spécifiques, ce système offre un large éventail d'options possibles pour le suivi et l'analyse de mouvement.



Exemples de captations de mouvement sur différents animaux.



## MOUVEMENT ET POSITION

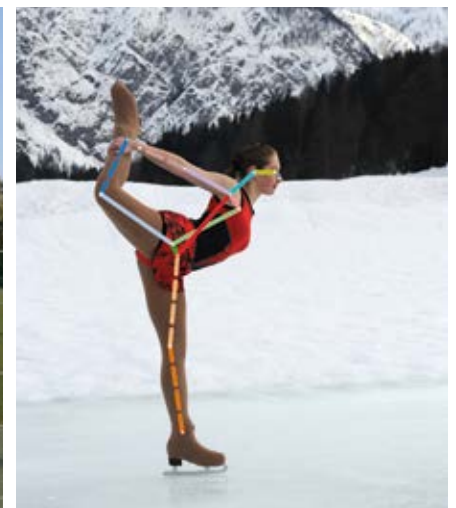
Dans quelle mesure les athlètes sont-ils prévisibles ?

### Analyse vidéo et prédiction de mouvement

Le Laboratoire Intelligence visuelle pour les transports (VITA) possède une vaste expertise en intelligence visuelle, c'est-à-dire en vision par ordinateur et en *machine / deep learning*, appliquée à la perception et à la prédiction du comportement des mouvements humains. L'équipe de recherche développe des outils pour extraire automatiquement des informations pertinentes à partir de séquences vidéo.

La détection et le suivi de la pose du corps des athlètes à l'aide de caméras sont au cœur de l'analyse du sport par vidéo. Non seulement il fournit des informations sur les athlètes individuels de manière non intrusive, mais il permet également de considérer leur comportement de groupe et de raisonner sur leurs stratégies.

Le laboratoire VITA va au-delà des algorithmes de suivi et développe de nouvelles méthodes pour prédire la dynamique détaillée des athlètes. Il aide les entraîneurs dans leur travail quotidien pour proposer de nouveaux schémas de jeux. Il peut également être utilisé pour rendre les analyses de mouvement ou de stratégie plus robustes. Les algorithmes de suivi ne sont pas robustes aux fortes occlusions de mouvement. Prédire les futurs mouvements leur permet de compléter des observations manquantes.



Capture de mouvement et analyse de pose d'un coureur et d'une patineuse.

# 51 MOUVEMENT ET POSITION



Comment, grâce à la réalité virtuelle, améliorer voire perfectionner un mouvement particulier ?

## Un avatar pour améliorer les mouvements

Comment reproduire le mouvement de l'individu avec exactitude sur un avatar et ainsi ouvrir un nouvel espace d'interaction dans lequel nous pourrions agir dans la peau d'un personnage imaginaire aussi bien qu'au travers de son propre corps ? Quelles sont les possibilités d'entraînement et de perfectionnement des mouvements par le truchement d'un avatar ? Comment, en plongeant une personne dans un monde virtuel, lui permettre de refaire à nouveau un mouvement rendu impossible suite à un accident ?

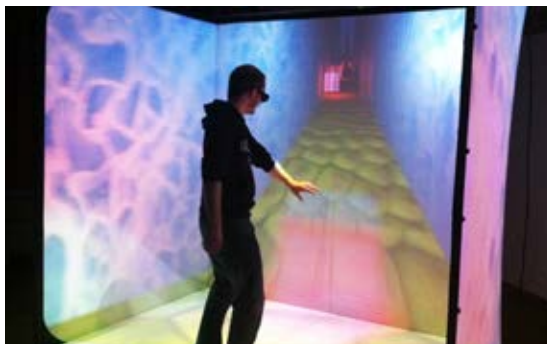
Le Laboratoire d'interaction immersive (IIG) développe des techniques avec un avatar dont les mouvements sont au plus proche de ceux effectués par la personne qui le contrôle. En plongeant une personne dans un univers virtuel, elle peut ainsi optimiser son mouvement en se visualisant à travers l'avatar. Le défi de cette compétence est la reproduction fidèle du mouvement en temps-réel tout en préservant la cohérence des éventuels contacts entre

différentes parties du corps. La capture de mouvement exploite actuellement un système à base de marqueurs optiques mais vise à terme une approche non-invasive. Le laboratoire a développé une fine connaissance des postures humaines permettant une transposition de notre posture sur un personnage imaginaire différent en taille et proportions tout en garantissant la cohérence des contacts. Une autre direction de recherche est l'introduction de distorsions du mouvement avec l'objectif d'identifier la sensibilité humaine à de telles distorsions.

Ces techniques permettent de répondre à des questions comme : est-il possible d'améliorer un mouvement précis en produisant moins d'effort (réhabilitation) ? Comment perfectionner un mouvement pour le rendre plus précis ?



Posture mapping.



Interaction avec des lunettes stéréo dans un système multi-écrans.



Ce dispositif expérimental sert à quantifier la sensibilité humaine à des distorsions de notre posture lorsqu'elle est représentée dans le casque de réalité virtuelle.

### Bilan sportif automatisé et programme d'entraînement personnalisé

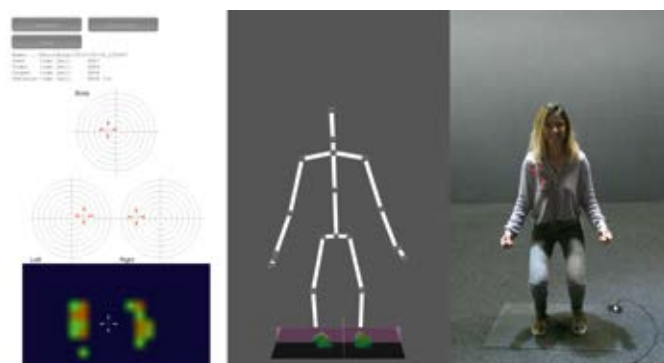
La mesure de notre posture et de notre capacité à se mouvoir donne une série d'informations importantes pour faire un bilan de santé ou un bilan sportif et permettre l'établissement d'un programme d'entraînement personnalisé. Les procédures actuelles sont contraignantes et nécessitent une longue analyse des mesures ce qui réduit le nombre de personnes pouvant profiter d'un tel service, aujourd'hui cher et exclusif.

Le dispositif développé conjointement par le laboratoire EPFL eM+, la startup Technis et le Centre sport et santé du Service des sports UNIL/EPFL a pour objectif de démocratiser ces bilans. Constitué d'un espace de projection de plein pied, un système de capture de mouvement par imagerie vidéo et un tapis sensible, le système proposera une série d'expériences immersives. Les images projetées invitent la participante ou le participant à effectuer une série de mouvements, des environnements ludiques l'amènent dans une gradation d'exercices de difficulté variable et les dispositifs de mesure permettent de caractériser le fonctionnement global de la personne (appuis et mouvements du corps). La compilation de ces informations permettra d'identifier le profil de motricité de la personne, les déséquilibres ainsi que les habitudes gestuelles, pouvant être liées à des risques de troubles musculosquelettiques.

### Comment automatiser la mesure de paramètres posturaux et de mouvement pour proposer des programmes d'entraînement personnalisés

À la fin de l'expérience, le dispositif établira un rapport. Sur cette base, une série d'exercices spécifiques seront proposés à la participante ou au participant. L'automatisation des mesures et le caractère ludique de l'expérience permettront d'ouvrir ces bilans à une large population et contribuera à répondre à la fois à des problématiques de population sédentaire mais aussi aux besoins d'amélioration des sportives et des sportifs. Le dispositif sera intégré à l'extension du Centre sport et santé du Service des sports UNIL/EPFL permettant de compléter les solutions mises à disposition. L'architecture ouverte du dispositif permettra de faire évoluer les expériences en fonction des retours des utilisatrices et utilisateurs.

Cette application anticipe également de nouveaux développements en matière de suivi de mouvement sans marqueur, qui continueront à réduire les coûts de capture de mouvement et à augmenter la fidélité de l'analyse musculosquelettique grâce aux technologies d'imagerie vidéo.



Écran de contrôle et informations fournies par l'appareil.



La compréhension du système locomoteur humain est un élément clé pour l'optimisation de l'efficacité énergétique ou de la vitesse des athlètes

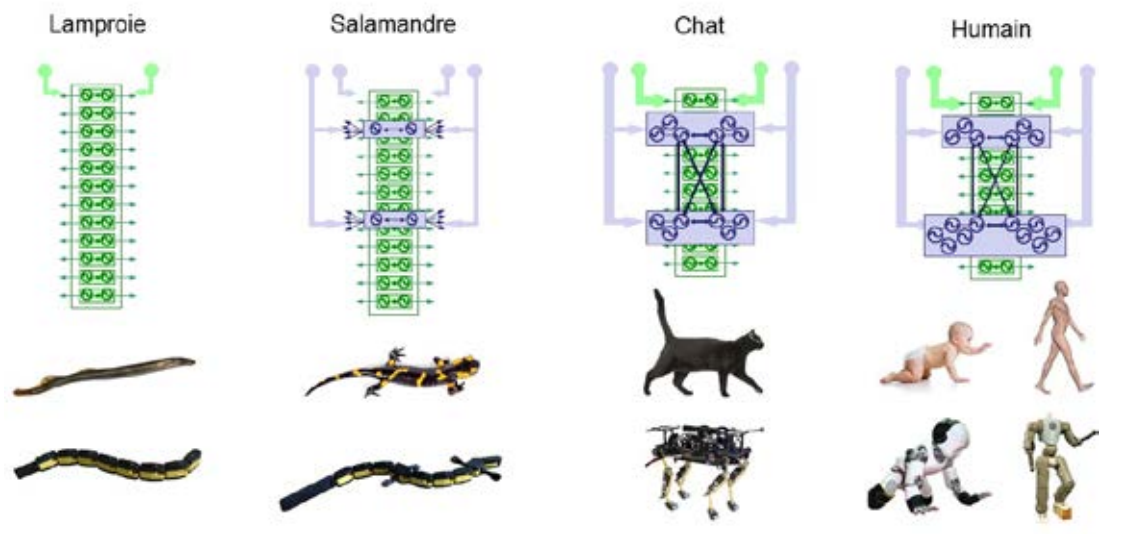
### Modélisation numérique de la locomotion humaine

Comment optimiser l'efficacité énergétique ou la vitesse des athlètes? Comment avoir une meilleure compréhension des mécanismes de contrôle liés au mouvement humain et de la distribution des forces dans le système musculo-squelettique?

Le Laboratoire de biorobotique (BIROB) est spécialisé dans les aspects computationnels des contrôles locomoteurs, la coordination sensorimotrice et la recherche animale et robotique. Plus particulièrement, le laboratoire se penche sur la compréhension de la locomotion humaine et l'interaction entre les muscles et la moelle

épineière qui est à l'origine du mouvement. Grâce à l'utilisation de modèles dérivés des petits vertébrés, le BIROB teste des hypothèses sur les liens existants entre moelle épineière, système musculo-squelettique et environnement qui permettent à l'humain de marcher et de se mouvoir. Le laboratoire interroge les interactions entre réseau locomoteur spinal, réflexes et modulation des parties supérieures du cerveau dans la génération de la locomotion humaine.

Ces recherches ont des applications dans le domaine du sport de performance mais peuvent aussi s'appliquer pour des questions de rééducation par exemple, permettant ainsi de contrôler des prothèses performantes pour des personnes paralysées.



Modélisation du circuit de la moelle épineière pour différents animaux.





**Analyse de mouvement précise et personnalisable à l'aide de capteurs de mouvement et d'intelligence artificielle**

### **Illumove : analyse de mouvements précise et personnalisable**

L'analyse de mouvements sportifs à l'aide de capteurs dépend beaucoup du contexte et du pratiquant. Même pour un sport spécifique, selon le niveau de précision et la concentration de l'athlète, différents outils d'analyse et algorithmes sont nécessaires. La plupart des solutions proposées sont des outils d'analyse spécifique pour un cas d'utilisation et limitent l'utilisatrice ou l'utilisateur en lui montrant des indicateurs et des mesures prédéfinis.

Illumove a développé imDesigner selon une approche différente : un cadre d'analyse de données utilisant l'intelligence artificielle en plus de capteurs spécifiques et logiciels déjà utilisés. imDesigner permet aux athlètes d'extraire les indicateurs et les mesures de performance pertinents en fonction du contexte et du sport. L'athlète est capable d'analyser des données spécifiquement utiles pour elle ou lui à travers une interface très intuitive et n'est pas soumis à un type d'analyse prédé-

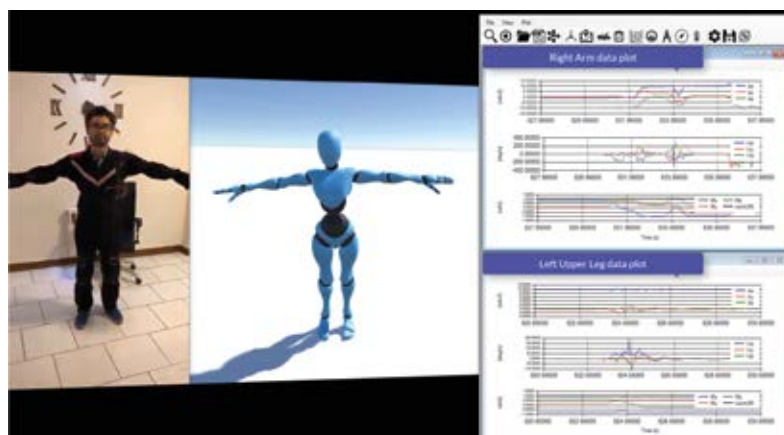
fini. Toutes les données sont disponibles via des applications mobiles et web sécurisées.

Le premier prototype est un ensemble de capteurs pour mesurer tous les mouvements du corps. Il comprend trois catégories de capteurs :

- La première, extrêmement légère, est conçue pour une utilisation en intérieur et est composée d'un gyroscope accéléromètre et de magnétomètres sans GPS. Ce système a été renforcé par un micrologiciel qui fusionne toutes les données et fournit des informations cinématiques précises à une vitesse très élevée, tout le traitement étant intégré au système.
- La deuxième catégorie se compose des mêmes types de capteurs dont l'alimentation est assurée par un câble en lieu et place de la batterie, ce qui est important pour certaines applications.
- La troisième catégorie intègre batterie et GPS pour les utilisations en extérieur.

Basé sur des technologies de capteurs traditionnelles, le micrologiciel contient des algorithmes qui rendent le matériel facile à utiliser, très précis et rapide.

Cette combinaison unique de capteurs, de micrologiciels et d'applications d'analyse permet d'obtenir des performances inégalées ouvrant de nouvelles perspectives pour les analyses sportives.



Avatar et analyse de données extraits par le système Illumove.

# 55 MOUVEMENT ET POSITION

Comment l'imagerie vidéo peut quantifier le mouvement d'un plongeur et aider à la pratique et à la réglementation du sport

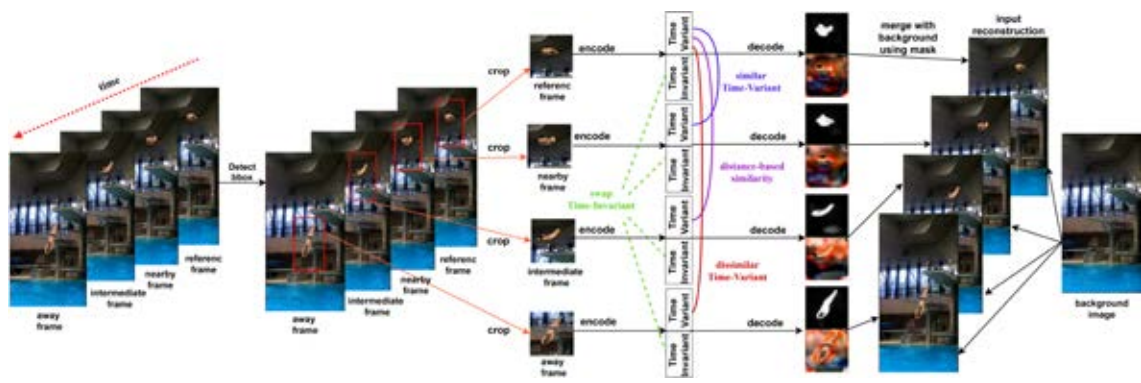
## L'imagerie vidéo pour quantifier les plongeurs

Les athlètes, leurs coachs et les juges évaluent visuellement la qualité des plongeurs et ne disposent pas d'un outil permettant de quantifier une performance. Dans le cas des normes de sécurité, la distance de la tête au plongoir est évaluée sans outil de mesure adéquat. Pour garantir une homogénéité et une précision accrue, Swiss Timing met en place une solution d'imagerie vidéo permettant de mesurer de manière fiable la position du plongeur par rapport au plongoir.

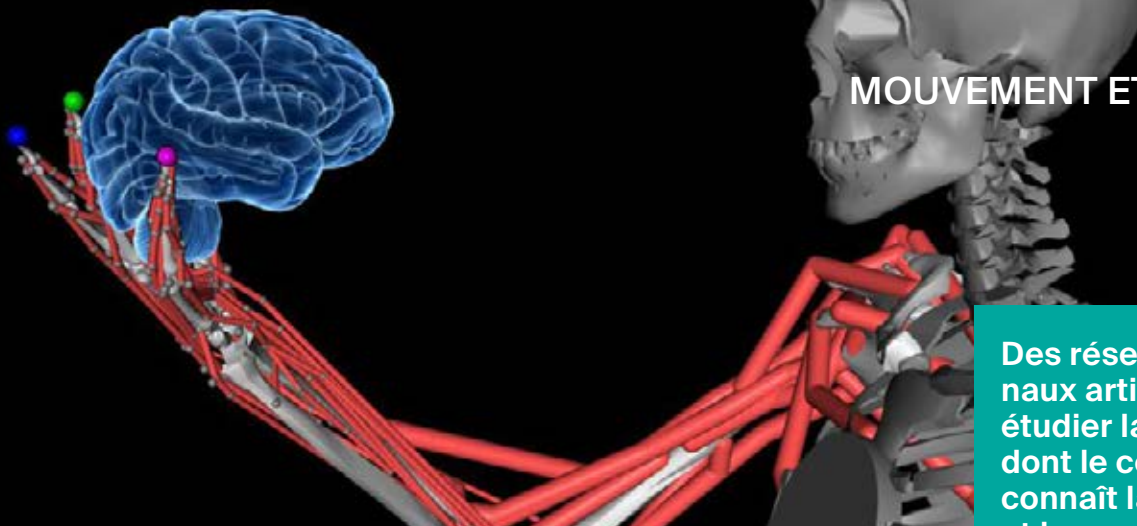
Dans ce but, l'équipe de recherche du Laboratoire de vision par ordinateur (CVLab) a développé des méthodes permettant d'extraire des informations quantifiées des images. Elle travaille en particulier sur des solutions de détection précise de la pose d'une personne, qui reposent sur des algorithmes de réseaux neuronaux et d'apprentissage profond, réduisant les erreurs de mesure.

Afin d'entraîner ces réseaux, de nombreuses séquences de plongeon sont nécessaires. Elles permettent de varier les physiologies des plongeurs et plongeurs et les mouvements à détecter. Swiss Timing et le CVLab ont pu compter sur une collaboration avec le Lausanne Natation et les centres aquatiques de la région lausannoise pour conduire des tests en situation et obtenir des retours utilisateurs précieux. Les tests finaux sont en cours dans le but de déployer le système lors de compétitions internationales. Le système pourra ensuite être décliné de manière simplifiée, comme solution pour l'entraînement ou les loisirs.

Partant de solutions multi-caméras, l'objectif ultime est de pouvoir mettre au point des solutions reconstituant précisément un modèle 3D à l'aide d'une seule caméra, ce qui simplifierait les problématiques de déploiement des systèmes. Cette évolution permettra à terme de proposer une solution bon marché pouvant être proposée aux centres de formation.



Réseau neuronal conçu pour estimer la pose 3D d'une plongeuse ou d'un plongeur.



Des réseaux neuro-  
naux artificiels pour  
étudier la manière  
dont le cerveau  
connaît la position  
et les mouvements  
du corps

### Des réseaux neuronaux artificiels pour étudier la proprioception

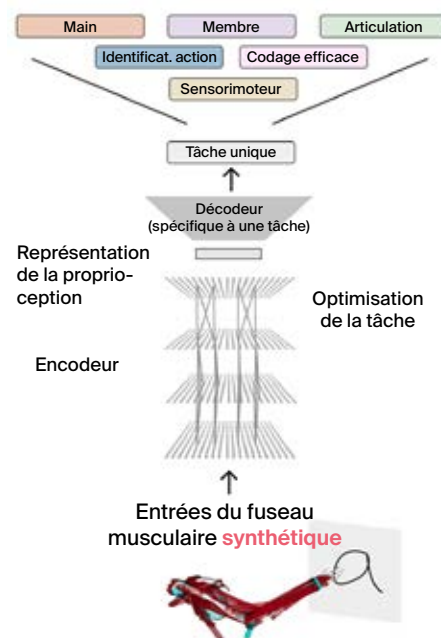
Au cœur du sport se trouve le mouvement de l'athlète. De la qualité de ses gestes dépend sa performance. Beaucoup de questions subsistent sur la manière dont le cerveau intègre les informations de mouvement et connaît la position des différentes parties du corps. Appelé proprioception, ce « sixième sens » nous permet de nous mouvoir librement sans avoir à regarder nos membres.

Une nouvelle étude du Groupe Mathis de neurosciences computationnelles et d'intelligence artificielle à l'EPFL élucide la fonction de la proprioception grâce à une nouvelle approche combinant l'intelligence artificielle, la biomécanique et les neurosciences computationnelles.

Au niveau sensoriel, les fuseaux musculaires mesurent la longueur, la vitesse et la force des fibres musculaires pour transmettre au cerveau des informations sur l'état du corps. Il est difficile d'enregistrer les données de plusieurs fuseaux musculaires en même temps. Pour étudier comment notre cerveau élabore une perception cohérente sur la position et les mouvements de notre corps, les chercheuses et chercheurs ont utilisé une modélisation musculo-squelettique. Ces modèles leur ont permis de simuler des signaux des fuseaux neuromusculaires répartis dans le membre supérieur et de créer un répertoire important d'entrées de fuseaux musculaires pour les mouvements naturels. Ce répertoire leur a permis d'entraîner des modèles de réseaux neuronaux artificiels sur des tâches correspondant aux hypothèses scientifiques sur les calculs réalisés par la voie proprioceptive (parties du tronc cérébral et du cortex somato-sensoriel). Différents modèles ont été comparés en fonction de leur capacité à prédire les données neuronales dans ces zones clés de la voie proprioceptive. Cette recherche a montré que les modèles de réseaux neuronaux entraînés pour prédire la position et la vitesse des membres étaient les plus prédictifs de l'activité neuronale. Notre cerveau semble intégrer en priorité l'activité des fuseaux neuromusculaires pour comprendre la position et les mouvements de notre corps.

Cette recherche ouvre la voie à de nouvelles pistes expérimentales en neurosciences. Une meilleure compréhension de la proprioception pourrait aboutir à des avancées majeures en matière de neuroprothèses (contrôle plus naturel et intuitif) ou d'entraînement sportif.

#### Génération d'hypothèses proprioceptives



Génération d'hypothèses proprioceptives à l'aide de modèles de réseaux neuronaux et de la biomécanique. Adapté de Marin Vargas et Bisi et al. Cell, 2024.



# ANALYSES DE DONNÉES

**Les ordinateurs peuvent traiter d'énormes quantités de données recueillies dans le feu de l'action, simuler des situations basées sur des modèles théoriques, des données synthétiques ou des informations du monde réel, et générer des résultats et des analyses qui peuvent être utilisés pour débloquer des gains de performance.**

**Des applications de quantification de soi au suivi des mouvements en passant par l'utilisation à grande échelle de capteurs, d'énormes volumes de données sont collectés sur les athlètes pendant les entraînements et les événements sportifs.**

**Les ordinateurs stockent, passent au crible et interprètent ces données. Les résultats obtenus peuvent être utilisés pour améliorer l'équipement, le dispositif ou le mouvement, puis les performances des athlètes. Ils peuvent également améliorer du public, en leur donnant un meilleur aperçu de leurs sports ou jeux préférés.**



L'avatar: un double digital au service de la performance des athlètes

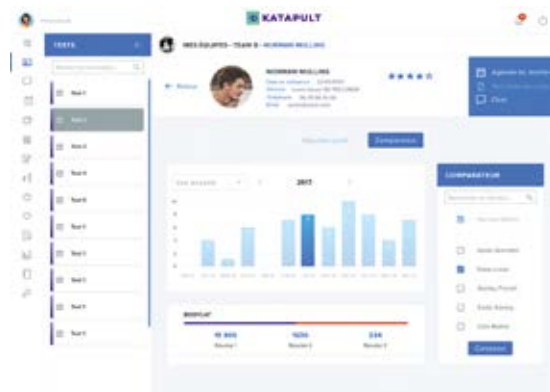
### Katapult: un catalyseur de performance pour les athlètes

Comment récolter les données d'athlètes, les centraliser et en faire bénéficier l'ensemble des personnes impliquées dans l'optimisation de leurs performances? Quels sont les risques de dysfonctionnement corporel les plus courants par discipline?

Katapult, une application développée en partenariat avec le Centre sport et santé du Service des sports UNIL/EPFL, permet de répondre à l'ensemble de ces questions. Son interface permet aux coaches et autres spécialistes de faire passer des tests aux athlètes et de récolter automatiquement les données qui y sont liées. Ces données sont ensuite stockées dans l'avatar de l'athlète, un double digital accessible à l'ensemble du personnel d'entraînement et de soins. Les données provenant d'objets connectés tels que les montres, les capteurs cardiaques ou autres trackers sont également intégrées à cet avatar, facilitant ainsi grandement le travail de monitoring des coaches. Sur cette base, l'application utilise de l'intelligence augmentée afin de générer des programmes d'entraînement individualisés en fonction des caractéristiques spécifiques de chaque athlète. Le tout, avec les plus grands standards de sécurité et l'entièreté des données hébergées en Suisse.

À titre d'exemple, l'application a été utilisée pour tester près de 1800 athlètes lors des Jeux olympiques de la jeunesse (JOJ) à Buenos Aires en 2018. La technologie Bodylat, a permis de révéler les latéralités des athlètes avec entre autres les tendances par sport, sexe et catégorie d'âge. Katapult a ensuite généré

automatiquement un bilan sportif complet ainsi qu'un ensemble d'exercices adaptés aux problématiques de latéralités respectives. L'application a également été utilisée aux JOJ de Lausanne en 2020.



Application de gestion des données personnelles et de suivi des entraînements individualisés.



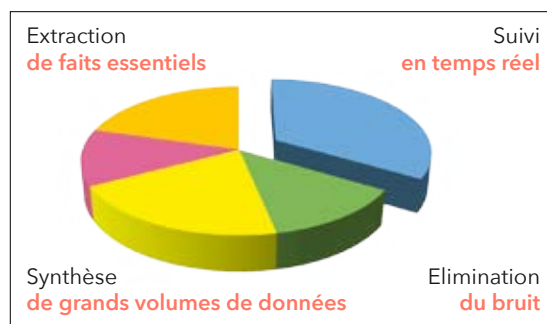
S'il y a des informations, nous les trouverons. Si nous ne les trouvons pas, il n'y a rien

### LinkAlong analyse le web social

Le sport est l'un des générateurs de contenu dans les médias sociaux et les conversations sur le web. Clubs sportifs, célébrités, amatrices et amateurs, industrie, sponsors et fans : toutes et tous communiquent, font de la publicité, discutent et influencent de nombreux thèmes. Les derniers résultats, les événements sportifs, les nouveaux produits, les méthodes de formation, la nutrition et la santé sont tous commentés sur le web social.

Le Laboratoire de systèmes d'information répartis (LSIR) est spécialisé dans les algorithmes et les infrastructures de gestion de l'information distribuée. Sa spin-off LinkAlong a développé une plateforme pour capturer, organiser et analyser les médias sociaux et les conversations web. La solution utilise les dernières avancées en intelligence artificielle pour le texte, les réseaux sociaux et les images. Elle permet aussi d'explorer les données suivantes grâce à des interfaces visuelles :

- sources d'influence sur des thèmes spécifiques,
- opinions sur les sportives et sportifs, les produits,
- impact des événements et des campagnes,
- tendances dans le sport, l'entraînement, la nutrition et la santé,
- innovation sur les technologies du sport.



Ces différentes approches fournissent des informations uniques pour le marketing, la planification stratégique, la recherche et le développement de produits, la surveillance de la réputation, le suivi des fans, ou la perception de marque. Elles s'adressent, entre autres, aux équipes et aux organisations sportives, aux industries du sport, à l'industrie alimentaire ou à l'administration publique.

Des services  
mobiles géolocalisés  
garantissant et  
préservant la sécurité  
des données

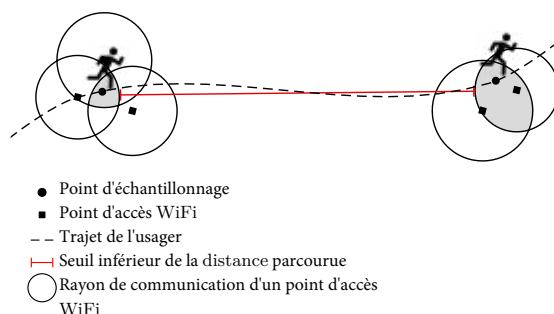
### SecureRun : protection des données dans les services géolocalisés

Les applications de suivi d'activité, dans lesquelles les personnes enregistrent et renseignent des informations au sujet de leurs activités géolocalisées sont de plus en plus populaires. De telles applications permettent aux utilisatrices et utilisateurs de partager leurs données, de faire des concours avec leurs amis et amis sur les réseaux sociaux ou d'obtenir des rabais sur leur prime d'assurance en prouvant qu'elles ou ils pratiquent régulièrement des activités physiques. Cependant, ces applications posent des problèmes de confidentialité et de sécurité des données. Les utilisatrices et utilisateurs peuvent tenter de biaiser leur performance afin d'obtenir des avantages, en usurpant par exemple les signaux GPS des téléphones. Les prestataires de services peuvent déduire des informations sensibles sur

les utilisatrices et utilisateurs en ayant accès à la fois à un emplacement précis et à une identité. Au-delà du problème de protection de la vie privée, cela peut également entraîner des risques de sécurité nationale. En 2018, Strava, une application de suivi d'activité sportive très populaire, a publié une carte thermique des activités téléchargées par ses utilisatrices et utilisateurs qui était suffisamment détaillée pour identifier l'emplacement des bases militaires secrètes.

SecureRun est un système sécurisé permettant la création de rapports d'activité géolocalisée tout en préservant la confidentialité. Ce système est basé sur la combinaison de techniques de cryptographie et d'algorithmes géométriques. Les personnes obtiennent des preuves de localisation sécurisées en s'appuyant sur un protocole d'échange de messages entre leur appareil mobile et les points d'accès wifi. Sur cette base, le prestataire de service peut fournir un résumé précis de l'activité de l'utilisatrice ou utilisateur, sans accéder à des informations supplémentaires sur son emplacement réel.

L'évaluation de SecureRun sur un grand ensemble de données de localisation réelles mises à disposition par les utilisatrices et utilisateurs du site web Garmin Connect montre que SecureRun permet d'obtenir des résultats fiables de la distance parcourue et du dénivelé (précision médiane de plus de 80%), tout en protégeant efficacement la confidentialité de la localisation.



Calcul des preuves de distance et de dénivelé. Les zones ombrées correspondent aux preuves d'emplacement obtenues simultanément à l'échantillonnage. Les tracés 3D correspondent aux profils d'altitude des zones ombrées, en fonction desquels la valeur inférieure des gains d'altitude est calculée.





## Dispositif de mesure environnemental et procédure de test facilitant l'analyse de performance des skis

### Aide au choix de ski

La pratique du ski nordique et du ski alpin en compétition implique de savoir adapter son ski et le fart appliqué en fonction des conditions de neige. En raison du nombre important de paramètres à prendre en considération, cette démarche peut s'avérer longue et fastidieuse.

La start-up de l'EPFL Archinisis développe depuis plusieurs années des systèmes de mesure et d'analyse du mouvement sur la base de GNSS et de capteurs inertiels. Les algorithmes intégrés au dispositif permettent une analyse fine de la performance, et les interfaces mises à disposition une visualisation rapide de la performance de l'athlète. En poursuivant cette volonté de démocratiser l'analyse de la performance et faciliter l'accès aux informations pour permettre aux compétitrices et compétiteurs de se concentrer sur leur pratique sportive, l'entreprise a lancé un défi aux étudiantes et étudiants de l'EPFL. Le projet consistait à développer un dispositif permettant de corréler un test de glisse du skieur sur le terrain, en fonction de la préparation de ses skis et les conditions de neige.

Les étudiantes et étudiants du cours « Innovation and Entrepreneurship in Engineering » (MGT 555) ont proposé un système permettant une mesure des conditions météorologiques comprenant la température de l'air, la température de la neige, le pourcentage d'eau contenu dans la neige, de répertorier le ski testé et d'enregistrer la vitesse et position du ski lors d'un test de glisse. Grâce à ce système, le skieur a la possibilité de documenter rapidement une série de tests au travers d'une interface développée par l'équipe de l'EPFL, où il peut ainsi visualiser les différents résultats afin de faciliter son choix.

Cette collaboration a permis de proposer une problématique industrielle aux étudiantes et étudiants, leur permettant de mettre en œuvre leurs compétences sur un cas concret. Pour Archinisis, c'était l'occasion de tester la faisabilité d'une idée qui pourrait, à l'avenir, s'intégrer à leur gamme de produit.



Dispositifs d'analyse de la performance pour le ski de fond développés par Archinisis.



Dispositif développé par les étudiants pour corréler la glisse du skieur, la préparation des skis et les conditions de neige.



## Nutrition personnalisée et sciences citoyennes

### Food & You : l'étude pour optimiser sa nutrition

Bien que primordiale, la nutrition est un paramètre difficile à maîtriser en raison des réponses physiologiques spécifiques à chaque personne.

Le laboratoire d'épidémiologie digitale de l'EPFL étudie comment la réponse glycémique (le changement de taux de sucre dans le sang après un repas) varie entre les individus, en particulier, en fonction de l'alimentation, du mode de vie, de l'activité physique, du sommeil et du microbiote intestinal (l'ensemble des micro-organismes qui vivent à l'intérieur du système digestif).

Ces informations sont des données précieuses pour mieux comprendre comment optimiser la nutrition et l'activité physique pour des populations spécifiques. Le but est de développer un algorithme qui permettra de prédire les réponses glycémiques individuelles.

À terme, ces études permettront de personnaliser les régimes que ce soit pour des questions de bien-être, en lien avec des pathologies ou pour rechercher la performance.



L'application MyFoodRepo permet de collecter des données précises de nutrition simplement en prenant une photo.

## Comment pouvons-nous comprendre les impacts des choix de régime sur la santé et l'environnement

### Motivations et barrières sociales pour des régimes sains et durables

En Suisse, la consommation alimentaire est l'activité qui présente l'impact environnemental le plus important (28%) et une contribution importante au coût de la santé (CHF 27 milliards par an). La promotion de régimes alimentaires plus sains et plus durables est donc un enjeu sociétal fort.

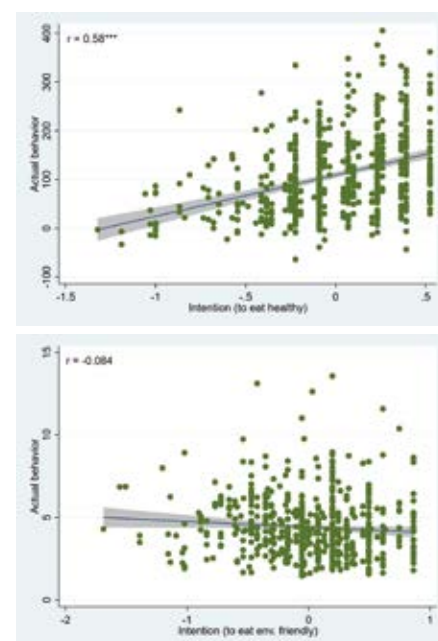
Le Laboratoire de relations humaines-environnementales dans les systèmes urbains (HERUS) développe des concepts et des outils innovants pour intégrer les connaissances des sciences sociales et naturelles afin de mesurer, analyser, interpréter et optimiser les interactions homme-environnement dans les zones urbaines. L'activité humaine « nourrir » est un des domaines de recherche clés. Dans le cadre d'un projet de recherche mené en collaboration avec l'UNIL et Quantis, un des objectifs consistait à mettre à jour des « points de basculement » pour faciliter la transition vers une alimentation saine et durable dans le contexte national suisse.

Une question centrale abordée était de savoir si les gens souhaitent manger sainement et dans le respect de l'environnement et, dans l'affirmative, s'ils y parviennent effectivement. Les résultats de l'enquête menée montrent que si les gens parviennent à manger sainement lorsqu'ils le souhaitent, l'intention de réduire l'impact environnemental lié à son alimentation ne se traduit pas par un comportement réel.

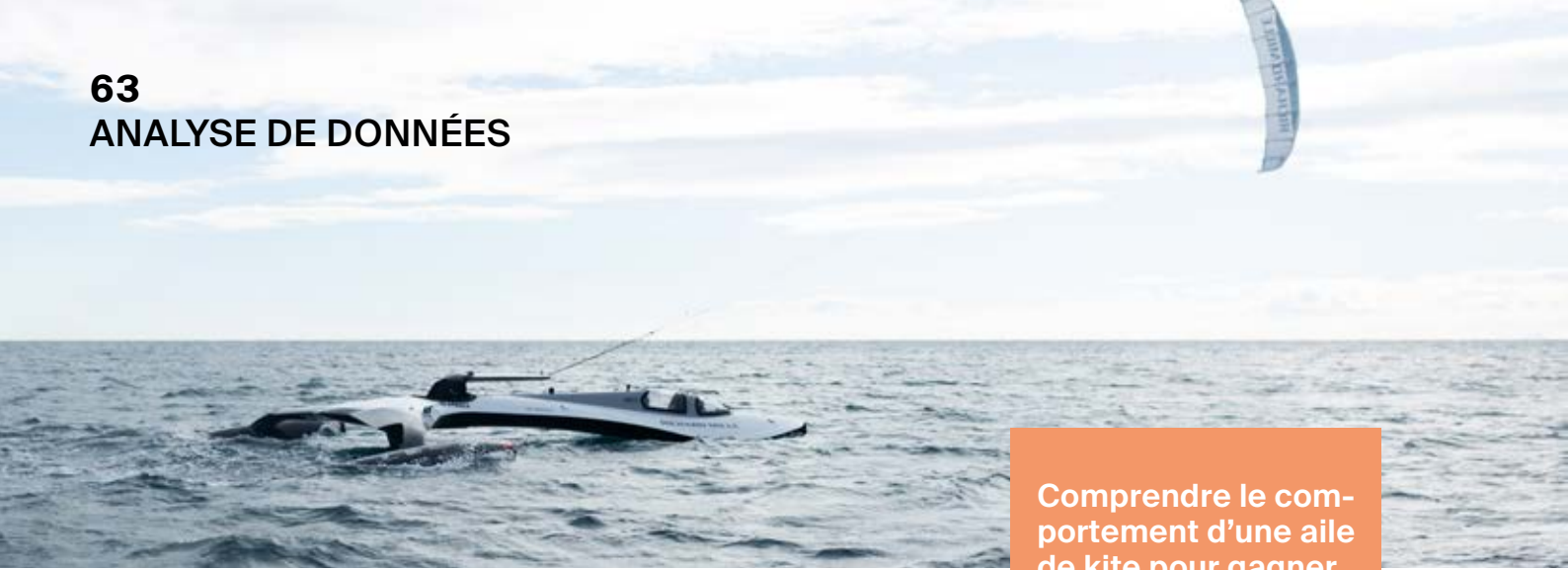
Ces résultats suggèrent que le choix d'une alimentation saine entre dans le champ des décisions de la consommatrice ou du consommateur, tandis que l'impact sur l'environnement sort de son contrôle, ou du moins qu'il est difficile à appréhender. Il a également été constaté que les changements d'habitudes alimentaires se produisent principalement en même temps que des événements de vie (déménagement, nouvel emploi, relation amoureuse) et que la qualité de l'événement détermine si une personne

modifie ses habitudes pour le meilleur ou pour le pire. Ces événements constituent des points d'entrée importants pour des interventions.

Les résultats de ce projet de recherche offrent une valeur ajoutée pour les groupes de consommatrices et consommateurs, pour les politiques publiques et le secteur privé, car ils permettent de concevoir des mesures et des politiques sur la base de données empiriques.



Graphiques montrant la relation entre l'intention et la réalisation d'une alimentation saine (haut) et d'une alimentation respectant l'environnement (bas).



Comprendre le comportement d'une aile de kite pour gagner en performance et ouvrir d'autres perspectives d'usage

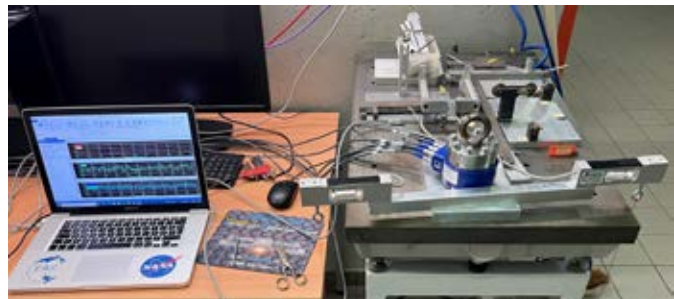
### SP80 : instrumentation de kite

Depuis leur création, le développement des ailes de kite a été fulgurant, permettant de gagner en performance dans le secteur sportif, mais servant également d'alternative dans d'autres secteurs comme le transport maritime.

Initié par des diplômés de l'EPFL, SP80 est un projet de bateau conçu pour battre le record du monde de vitesse à la voile. Il a pour objectif d'atteindre 80 noeuds (150 km/h) grâce à un design totalement novateur, cassant les codes habituels du milieu nautique. L'étude du fonctionnement du kite, qui servira à la propulsion du bateau, est centrale. Des tests sont conduits en partenariat avec le groupe Aéro-nautique-spatiale de la Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (HEPIA) ainsi que le Laboratoire de mécanique des fluides et instabilités (LFMI) de l'EPFL.

Une balance instrumentée, permettant de mesurer avec précision des efforts de traction du kite, a été utilisée lors d'essais pour qualifier les efforts de traction en fonction de l'orientation du kite dans différentes conditions de vent. Ces données représentent des valeurs importantes, aidant l'équipe de design de SP80 à mieux dimensionner leur projet. Elles offrent également l'opportunité de gagner des connaissances applicables dans d'autres domaines.

Le transport maritime est un vecteur important du transport de fret mondial. De premières expériences ont été menées pour déployer des moyens de propulsion alternatifs sur des cargos de marchandises, permettant de réduire la consommation de carburant. Afin de démocratiser de telles solutions, des moyens de déploiement et de contrôle automatisés sont nécessaires. Les connaissances emmagasinées au travers du projet SP80 pourront contribuer à de telles avancées dans le futur.



Étalonnage de balance de mesure de forces (photo © Tanguy Desjardin).



Essai aérodynamique de kite avec balance de mesure de force (photo © SP80).

Une nouvelle génération de soufflerie pour des tests plus représentatifs

### Simuler un vent réel

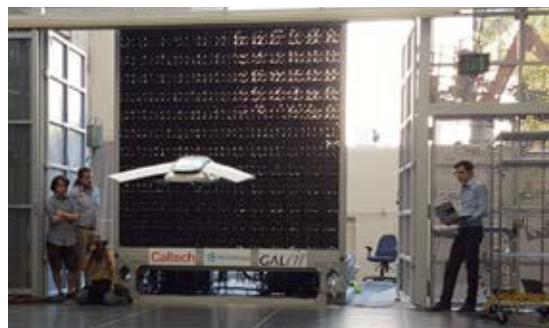
Les souffleries conventionnelles permettent de tester l'aérodynamisme de nouveaux équipements ou la posture d'athlètes dans un vent uniforme et laminaire, alors que les cas concrets, que ce soit un cycliste dans un peloton ou un voilier dans des rafales, impliquent des écoulements turbulents et tourbillonnaires que les dispositifs traditionnels n'arrivent pas à reproduire.

Au sein du groupe Aéro-nautique-spatiale de la Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (HEPIA), une nouvelle famille de soufflerie (Windshaper) a été inventée. Composée de milliers de petits ventilateurs (« pixels de vents »), elle permet un contrôle ponctuel des filets d'air, ce qui offre une liberté totale pour simuler toutes sortes d'écoulements dynamiques. La start-up suisse WindShape commercialise ces solutions au bénéfice des universités et des centres de recherche du monde entier. Des collaborations avec le Laboratoire de mécanique des fluides et instabilités (LFMI) de l'EPFL offrent la possibilité de créer des algorithmes capables de simuler les vents naturels de la manière la plus réaliste possible, allant des brises marines aux tourbillons à grande échelle (travail de recherche de Malicia Leipold, doctorante HEPIA-EPFL, et Julien Reymond, Master EPFL 2023).

Cette nouvelle approche, qui permet de conduire des tests beaucoup plus proches de la réalité, est très utilisée pour tester le vol de drones dont le comportement est particulièrement sensible aux variations de vent. Mais elle ouvre également des perspectives inédites dans le milieu du sport. Sa modularité et la flexibilité du contrôle offrent une meilleure adaptation aux cas à tester et rapprochent les conditions de laboratoires à la réalité du terrain.



Malicia Leipold, doctorante HEPIA-EPFL, teste un prototype à échelle réduite du Mars Science Helicopter du JPL de la NASA devant une soufflerie windshaper (photo © NASA JPL).



Essai d'un drone dans la soufflerie windshaper en conditions réelles (photo © Windshape).



La triathlète Alessia Bouchet devant une soufflerie windshaper (photo © Windshape).

Une compréhension fine des phénomènes physiques pour permettre une modélisation précise et des simulations économes

### Simulation numérique frugale

La simulation numérique d'environnements complexes et en particulier à l'interface entre un fluide et un objet, comme l'eau et la coque d'un voilier, nécessite de grandes ressources informatiques ou des modèles mathématiques simplifiés. Face aux défis environnementaux de notre société, trouver des approches de modélisation suffisamment précises, mais peu énergivores est un besoin devenu essentiel.

La modélisation numérique consiste à proposer une représentation mathématique d'une réalité physique pour permettre de tester des situations nouvelles sans avoir à conduire de nombreuses expérimentations. La précision du résultat obtenu et le temps de calcul nécessaire dépendent des approximations effectuées. Contrairement aux approches d'intelligence artificielle, qui nécessitent de nombreuses données pour entraîner des modèles et parvenir à un résultat, le but ici est de partir d'une compréhension fine des mécanismes pour proposer un modèle simplifié répondant aux attentes.

Le Laboratoire de mécanique des fluides et instabilités (LFMI) travaille à la compréhension des écoulements visqueux, et en particulier aux comportements dans les couches limites à l'interface entre un liquide et un objet. Grâce à une compréhension fine des mécanismes physiques qui opèrent à l'échelle de la surface, le laboratoire est en mesure de proposer des modèles mathématiques équivalents, traduisant l'effet de l'objet sur l'écoulement fluide de manière simplifiée et offrant une simulation précise sans nécessiter des ressources de calcul importantes.

De tels modèles existent déjà et ont notamment été développés pour l'aéronautique. Il y a plus d'un siècle, Ludwig Prandtl a proposé l'idée de séparer l'écoulement en deux régions : une fine région proche de l'objet, appelée « couche limite » et où les effets visqueux sont essentiels, et tout le reste de l'écoulement, où les effets visqueux peuvent être négligés. Cette méthode a permis des progrès scientifiques et technologiques majeurs.

Au LFMI, une version améliorée de cette méthode a été utilisée, capable de fonctionner même dans des zones où le fluide s'écoule dans le sens inverse du reste de l'écoulement. Le couplage de ces résultats à une méthode de calcul approché du champ de vagues a permis de simuler de manière efficace l'écoulement autour de différentes coques de bateau d'aviron en partenariat avec l'École polytechnique de Paris et le CNRS. Ces études ont en particulier permis de mieux comprendre pour quelles raisons les performances de coques asymétriques sont meilleures en aviron.

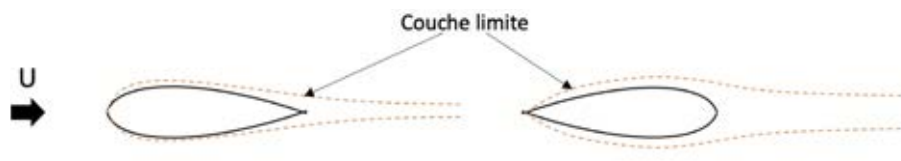


Schéma de l'asymétrie engendrée par l'épaississement du profil par la couche limite.

Les systèmes d'information géographique au service du sport et de la santé

### Trajets actifs

Le Groupe d'épidémiologie moléculaire géospatiale (GEOME) utilise les systèmes d'information géographique (SIG) et l'analyse spatiale pour étudier les données de santé. Ces informations permettent d'intégrer la dimension géographique comme déterminant de la santé.

Dans le cadre d'un projet pilote mené avec les Transports publics de la région lausannoise (TL), l'équipe de recherche a utilisé ses expertises pour permettre de proposer des itinéraires piétons liés aux transports publics. En se basant sur les informations disponibles dans des bases de données de topologie (réseaux routier et d'itinéraires pédestres), d'indice de végétation, d'irradiance, de température au sol, de pollution (particules fines et bruit), de tracé et d'horaire des transports publics, l'algorithme est capable de

définir le trajet optimal en fonction des critères de sélection qui lui seront donnés. Au travers d'une interface dédiée, l'utilisatrice ou l'utilisateur peut sélectionner une destination en intégrant un objectif d'effort (déclivité, temps de marche, énergie), un type d'environnement (silencieux, ombragé) et le système lui proposera un itinéraire couplant transport public et déplacement pédestre.

Le potentiel d'un tel système est multiple. Il ouvre la voie à des applications de transport multimodal permettant d'optimiser les trajets des usagers, à la proposition de nouveaux services permettant de développer la pratique d'activité physique en ville (marche, course à pied, etc.) grâce à des parcours personnalisés et facilement accessibles en bus, ou à l'optimisation du positionnement des arrêts de bus d'une ligne en fonction de la qualité des alternatives piétonnes disponibles.



Proposition d'itinéraire piéton liés aux transports publics généré par le dispositif sur la base des critères de l'utilisateur.





# FAN EXPÉRIENCE

**Le sport est aussi un spectacle et l'expérience du public a toute son importance. Au stade ou à la télévision, les technologies offrent de nouvelles expériences pour (re)découvrir les matchs.**

**Les technologies et les appareils personnels de plus en plus performants et connectés permettent déjà l'inclusion de nouvelles applications et l'accès à de nouvelles données sur les sites des événements sportifs ou chez soi.**

**Ces développements sont en augmentation et ouvriront, ces prochaines années, d'autres perspectives aux fans, spectatrices et spectateurs qui pourront ainsi vivre un événement sportif différemment.**

Créer des nouveaux espaces immersifs mobiles pour renforcer l'engagement des fans et la prévention auprès des jeunes sportives et sportifs

### Conférer à l'audio-visuel un nouvel impact dans le sport

Si les technologies telles que écrans, projecteurs ou systèmes acoustiques progressent depuis des décennies, peu d'études abordent la conception d'espaces immersifs en fonction de leur impact cognitif, émotionnel et sociétal. L'EPFL+ECAL Lab, centre de recherche en design de l'EPFL, fait un travail de pionnier récompensé par le Prix Design Suisse, des publications académiques telles que Siggraph et Leonardo, ainsi que de nombreuses expositions. Les travaux ont débuté sur la valorisation d'archives audio-visuelles numérisées : comment leur redonner vie ? Comment exprimer leur contexte ? Les travaux, menés en collaboration avec l'Atelier de la conception de l'espace de l'EPFL (ALICE), ont permis d'apporter des réponses inédites et globales : elles englobent la représentation du contenu, la conception des

interactions, des interfaces et des dispositifs physiques. Les prototypes, testés et désormais exploités dans des contextes événementiels et culturels, constituent une plateforme expérimentale pour renforcer l'engagement des amatrices et amateurs de sports.

En janvier 2020, ces travaux de recherche en design ont franchi un pas supplémentaire : sous l'impulsion de la consultation SportAdo du CHUV, ils ont été mis au service de la prévention contre la maltraitance des jeunes sportives et sportifs. L'EPFL+ECAL Lab a proposé plusieurs dispositifs immersifs opérationnels pour les Jeux olympiques de la jeunesse 2020, afin de mettre en oeuvre un nouveau protocole de prévention proposé par l'équipe de médecins, d'expertes et d'experts, en collaboration avec le CIO. Ces travaux contribueront à définir comment renforcer les campagnes de prévention et comprendre comment concevoir des dispositifs opérationnels efficaces.



Espaces d'immersion utilisés durant les JOJ 2020, auprès du grand public (gauche) et des athlètes (droite).

Comment les stades et les aménagements urbains impactent le comportement de la foule et participent au succès d'un événement sportif ?

### Infrastructures et aménagements urbains favorisant le bon déroulement d'événements sportifs



Intégration urbaine des stades – Londres 2012.



Supporters fêtant la victoire de leur équipe.

Comment accueillir une foule éphémère dans un environnement construit, lui permettre d'exprimer sa passion, ses émotions, tout en évitant les dépassements et les nuisances excessives pour les résidentes et résidents ? Comment trouver des solutions durables qui soient viables lors de manifestations mais également en dehors ?

Lors d'un regroupement sportif, l'individu s'efface au profit du groupe et devient, grâce à l'événement partagé, un public qui vibre et s'engage. La magie du stade opère et participe au succès de la manifestation. Pour que la fête soit belle, la liesse doit s'intégrer harmonieusement aux activités de la ville hôte. Une bonne compréhension de la psychologie des foules et des supportrices et supporters est nécessaire pour identifier la manière dont les aménagements des stades, mais également l'urbanisation, les transports et le mobilier urbain aux alentours des stades doivent être pensés. Un manquement peut être source de tension, occasionnant des débordements aux conséquences parfois catastrophiques. Le Laboratoire de sociologie urbaine (LASUR) dispose des méthodologies et des expertises pour étudier de telles situations et faire des recommandations aux différents acteurs.



Des expertises de traitement du signal pour offrir de nouvelles expériences au public

### Nouvelles opportunités de broadcasting grâce à l'évolution des réseaux sans fil

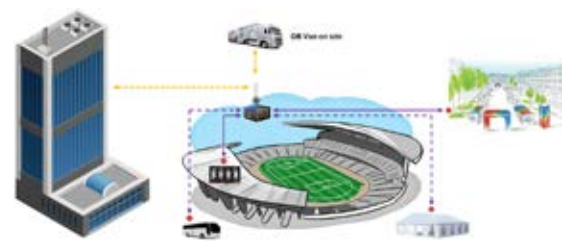
Gérés par des opérateurs de télécommunications, dans le cadre de grandes infrastructures ou en tant qu'entités locales autonomes, les réseaux sans fil offrent de nouvelles opportunités d'accès à divers types de contenus multimédias. Dans les domaines de la diffusion sportive, une telle possibilité ouvre un large éventail d'options.

La technologie des médias numériques évolue rapidement. Les utilisatrices et utilisateurs font pression pour recevoir de nouveaux formats de contenu associés aux dernières fonctionnalités interactives de leurs différents appareils mobiles. Cette tendance à une consommation nomade de contenus numériques ouvre de nouveaux formats mixtes d'engagement des fans.

Quelle est l'expérience d'une spectatrice ou d'un spectateur accédant à du contenu augmenté dans le stade pendant et après le match? Les équipes d'organisation d'événements peuvent-elles proposer une expérience VIP en fournissant un contenu enrichi et des informations commentées par des expertes et experts? Un contenu spécifique, personnalisé et interactif peut-il être proposé à un public de fans à distance? Toutes ces nouvelles façons de consommer du contenu multimédia reposent fortement sur la capacité et les fonctionnalités de la structure de transmission de données.

Avec la multiplication des canaux de distribution, le développement de moyens de production à distance et de solutions d'édition automatisées, il est également possible de démocratiser la diffusion. Les fans pourraient suivre les événements sportifs moins populaires ou les ligues moins bien classées des grands sports

aujourd'hui sans couverture médiatique. L'institut REDS de la HEIG-VD (Prof. Romuald Mosqueron) et le Multimedia Group de l'EPFL (Prof. Marco Mattavelli) peuvent fournir leur expertise dans le traitement du signal, la compression, les systèmes de broadcasting et les infrastructures sans fil. Ils ont développé des solutions de compression multimédia numérique haute performance offrant une latence ultra-faible, une large bande passante sans fil, une connectivité full duplex et diverses capacités de connexion point à multipoints qui sont adaptées pour construire des systèmes de production de contenu intégrés à faible coût.



Exemple de production à distance avec des réseaux 5G privés.



Contenus en direct pour le public sur site avec une connexion privée.

Comment faire revivre des archives audiovisuelles sportives à travers une installation immersive ?

## Heritage Lab

Les sportives, sportifs, clubs, fédérations sportives et organisateurs de manifestations regorgent d'archives photo et vidéo qui ne sont pas valorisées. Travaillées de manière adéquate, elles peuvent pourtant permettre d'expliquer l'évolution d'un sport, compléter les analyses d'un expert ou faire vivre de nouvelles émotions aux fans.

Au travers d'expériences menées depuis 2010 avec le Montreux Jazz Festival et la Fondation Claude Nobs, le Centre d'innovation dans les patrimoines culturels (CHC) de l'EPFL a développé des expertises dans la numérisation des archives, leur préservation à long terme, la création des bases de métadonnées associées et leur mise en valeur au travers d'expériences dédiées issues de la collaboration avec les équipes de recherche de l'école. Depuis dix ans, les laboratoires de l'EPFL et leurs partenaires de l'innovation proposent durant le Montreux Jazz Festival de nouvelles expériences permettant de visiter les archives de la manifestation. Cette mise en situation durant les deux semaines de concerts permet d'enrichir les prestations de l'année grâce au contenu des éditions précédentes et de mieux comprendre comment un contenu historique peut amener une valeur dans un événement ponctuel. Des projets sont également menés pour développer des moyens de récolte de témoignages des festivaliers en utilisant les nouveaux moyens technologiques disponibles. Les effets de cette dimension participative sur l'engagement des visiteurs est étudié et les contenus générés participent à enrichir les archives disponibles.

Les démarches proposées dans le domaine de la musique peuvent être transposées au secteur sportif et ouvrent des perspectives d'expé-

riences nouvelles aux fans. Que ce soit dans les stades, au travers de son smartphone, ou dans des installations dédiées proposées dans les fanzones, la richesse des contenus disponibles peut permettre de proposer de nouvelles activités valorisant le patrimoine sportif et offrir une valeur ajoutée à la manifestation.



Présentation du projet de digitalisation lors du Montreux Jazz Festival, de la capture à la sauvegarde et la valorisation.



Expérience immersive proposée durant le Montreux Jazz Festival.



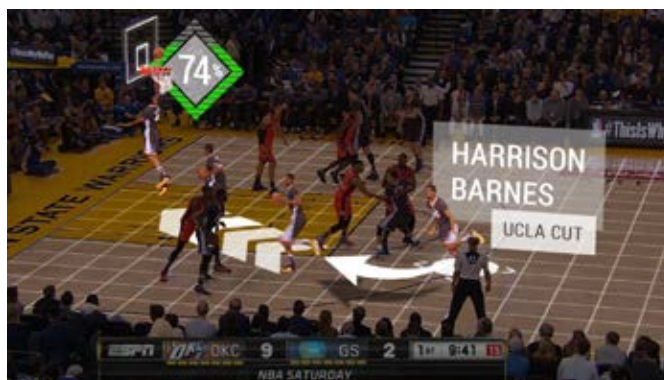
Une aide aux commentatrices et commentateurs permettant d'identifier et de documenter les événements intéressants à présenter lors d'un match

### Augmentation d'information lors des retransmissions

Comment donner accès, de manière simple et ludique, à des informations statistiques concernant les joueuses et joueurs d'un match ? Comment simplifier le travail des commentatrices et commentateurs en leur offrant un outil performant identifiant les faits d'un jeu et les informations intéressantes à commenter ?

La start-up Second Spectrum et le Laboratoire de vision par ordinateur (CVLAB) ont démarré un projet d'analyse des matchs basée sur des outils d'imagerie vidéo. Des données brutes récoltées par les caméras sont extraites les positions exactes de chaque joueuse et joueur et de la balle à tout moment. Ces informations sont analysées par des programmes informatiques qui permettent de déceler les faits de jeu inhabituels et d'intégrer pour chaque athlète des statistiques historiques. Une interface facilite la représentation de cette masse d'information et offre, de manière intuitive, la possibilité à la commentatrice ou au commentateur de naviguer dans le contenu qu'elle ou il peut utiliser pour enrichir ses commentaires lors des interruptions de jeu ou à la fin de la compétition. Le système nécessite encore aujourd'hui un réseau de caméras propriétaire mis en place par Second Spectrum pour capturer l'information du match.

Ces données sont ensuite corrélées aux images filmées à des fins de diffusion. Dans le futur, les développements permettront d'utiliser directement les images de diffusion pour faire les analyses ce qui permettra de simplifier le déploiement du système.



Visualisation d'un mouvement d'attaque.



Visualisation des résultats de tir au panier.

## Visualisation intuitive de caractéristiques et prédiction de résultats de match à partir de données de comparaison par paires

### Kickoff.ai: une plateforme de prédictions de résultats de match de foot

Qui va gagner le championnat d'Angleterre de football cette année? Pour répondre à cette question, et bien d'autres, Kickoff.ai analyse les historiques de résultats de matchs de football et calcule les prédictions de score des matchs à venir. En plus de la prédiction actualisée des scores de plusieurs championnats de football, la plateforme Kickoff.ai donne aussi accès à l'évolution au cours du temps des caractéristiques et compétences des équipes au travers de représentations graphiques très intuitives.

Derrière cette plateforme se trouve un algorithme développé par le Laboratoire de la dynamique de l'information et des réseaux (INDY). Cet algorithme permet d'entraîner un modèle statistique puissant produisant des prédictions probabilistes précises et bien calibrées. L'idée est simple: chaque match est une comparaison entre deux équipes et

en règle générale, la meilleure équipe gagne. L'algorithme développé par INDY est construit sur cette observation de base mais il permet aussi de prendre en compte des paramètres très diversifiés de façon flexible tels que les joueuses ou joueurs sélectionnés, le lieu du match, etc.

Les applications vont au-delà des simples prédictions et du divertissement pour amatrices et amateurs de sport. En associant ce modèle de prédictions de score aux mouvements des marchés de paris, il devient possible d'identifier les potentiels cas de triches et de manipulation de match.

Cette application pourrait aider les fédérations nationales et internationales à lutter contre ce risque de plus en plus présent.

Une autre application possible est l'identification de futurs talents. En intégrant la composition des équipes à la base de données, il devient possible d'identifier automatiquement les jeunes joueuses et joueurs talentueux, aidant les équipes de recrutement à trouver les stars de demain à travers de nombreuses ligues.



Evolution au cours du temps des caractéristiques et compétences d'une équipe.



Prédictions des scores pour une série de matchs.

Données et nouvelles technologies pour créer de nouvelles expériences pour son public

Connecter avec son public

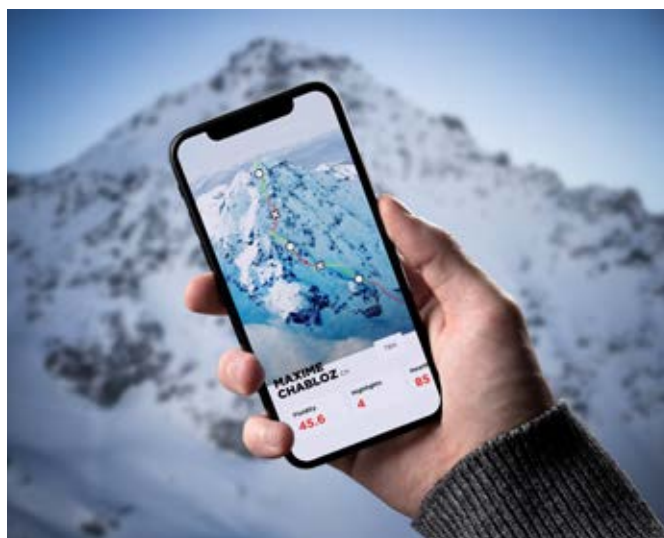
Les entretiens menés lors de différents événements sportifs révèlent que le public n'est pas familiarisé à l'utilisation de nombreuses nouvelles technologies. Ce point met en évidence un potentiel considérable en termes d'amélioration de l'expérience et de l'engagement des supportrices et supporteurs. Le défi est de générer du sens à partir des données récoltées et de trouver des messages et des formats de communication appropriés pour des publics spécifiques.

L'EPFL+ECAL Lab est le centre de recherche en design de l'EPFL. Il combine la recherche académique, la créativité artistique et la compréhension culturelle pour influencer positivement la perception humaine des nouvelles technologies. Avec une équipe transdisciplinaire en design, ingénierie et de psychologie, il a développé une méthodologie entièrement intégrée pour aller au-delà d'un monde dominé par la technologie. Il explore les contextes et les terrains, crée des solutions disruptives, construit des prototypes et évalue finalement leurs impacts émotionnels et cognitifs sur les gens.

L'EPFL+ECAL Lab, en collaboration avec le Freeride World Tour (FWT), a développé un prototype fonctionnel d'une application intégrant de nouvelles technologies numériques (telles que les capteurs, la 5G et le traitement du signal) pour redéfinir le

lien entre le public, les athlètes et la perception de l'environnement. L'expérience a été testée sur le terrain lors de la finale du FWT, le Xtreme de Verbier. Des néophytes, ainsi qu'un public averti et expert, ont interagi avec ce prototype et ont répondu à un questionnaire. Les résultats montrent que, bien que le public ne soit pas conscient des possibilités de ces technologies, leur potentiel est considérable. Ils soulignent la nécessité de comprendre comment ces innovations peuvent représenter plus qu'un flot de données et servir réellement les valeurs d'un sport.

L'expérience a permis de recueillir des informations de grande valeur auprès des utilisatrices et utilisateurs et des personnes organisatrices d'événements et d'identifier les leviers de transformations de la dimension émotionnelle, permettant de déclencher un engagement des supportrices et supporteurs. Les conclusions sont essentielles pour développer des solutions apportant une réelle valeur ajoutée au bénéfice du public, des athlètes et des équipes organisatrices d'événements tout en étant applicables sur le terrain.



Prototype fonctionnel d'une application développée pour le Freeride World Tour (FWT).



Apporter des explications et informations en direct pour une expérience télévisuelle augmentée

### RayShaper: solutions optiques numériques au service du multimedia live

RayShaper, solutions de vision optique numérique, a été fondée en 2019 par le Prof. Touradj Ebrahimi du Groupe de traitement du signal multimédia (MMSPG) et le Prof. Jiangtao Wen de l'Université Tsinghua, tous deux vétérans des technologies multimédias.

La décision de créer RayShaper est le résultat de vingt ans de collaborations fructueuses sur de nombreux projets en lien avec la standardisation internationale, qui ont conduit à des produits et services largement déployés dans le monde entier. Les solutions innovantes de RayShaper se présentent sous la forme de produits ainsi que de services d'imagerie numérique qui permettent de contrôler le fonctionnement d'une matrice multi-capteurs, multi-lentilles et multi-spectrale, en temps réel, avec une faible latence. La solution déployée utilise un signal avancé compatible avec des algorithmes de traitement fonctionnant en parallèle.

Cette architecture permet la capture et le traitement de contenus vidéo dont les résolutions atteignent un milliard de pixels. Ces fichiers peuvent être utilisés pour une visualisation améliorée, une analyse de données et de nombreuses fonctionnalités supplémentaires qu'il était difficile, voire impossible, à diffuser en direct à des fins de divertissement jusqu'à présent. RayShaper apporte aussi des solutions novatrices pour la formation et l'entraînement des équipes sportives. Outre ces nouvelles fonctionnalités, les solutions réduisent considérablement les coûts d'installation et d'exploitation ainsi que la consommation d'énergie.

Les solutions RayShaper peuvent être directement intégrées dans les infrastructures de distribution et d'affichage de contenu existantes, y compris la télévision SD, HD, 4K et 8K, les réseaux sociaux, les services OTT, en plus des infrastructures nouvelles et émergentes reposant sur les technologies de communication 5G, 8K et immersives telles que la réalité virtuelle, réalité augmentée, nuage de points et « light field ». Les dispositifs ont fait leurs preuves

dans des applications sportives telles que la Coupe du monde alpine féminine FIS 2020.

La caméra BeeHive de RayShaper a été reconnue « Top 10 Wildest Gadgets » par l'IEEE Spectrum lors du Consumer Electronics Show 2020 et a reçu le prix « Red Dot Design Concept Best of the Best 2020 ».



Capture conventionnelle (haut) et solution de post-traitement RayShaper (bas).



La solution RayShaper capturant toute la piste de ski de la Coupe du monde FIS avec un système unique fournissant automatiquement (a, b) un suivi de mise au point de haute qualité et une analyse des poses, et (c) une compétition virtuelle en tête-à-tête. (d) La diffusion traditionnelle capte souvent le dos des athlètes.



Développement  
d'un continuum  
d'expériences  
soutenant l'enga-  
gement du public

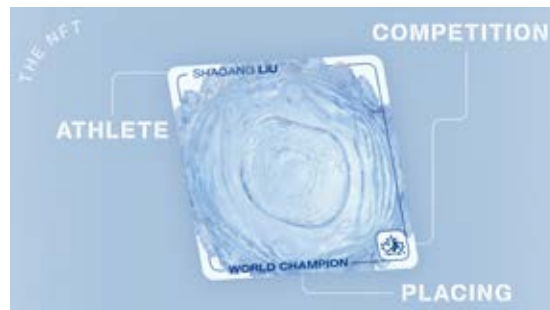
## Engagement des fans

Dans le domaine du sport, un changement majeur est apparu concernant la prédiction des résultats des compétitions grâce à l'introduction de prévisions probabilistes en temps réel au cours d'un match. Une hypothèse est que ces informations peuvent être utilisées pour induire de nouvelles formes d'engagement des supportrices et supporteurs, attirant de nouveaux publics et augmentant l'intérêt pour le sport.

L'EPFL+ECAL Lab a mené un projet avec le Swiss Ice Movement afin d'étudier de nouvelles formes d'engagement des fans pour les sports de glace. Le short track s'est révélé être un cas très intéressant pour la recherche en design. Les sports populaires comme le football ou la NBA, peuvent compter sur une large base de supportrices et supporteurs, mais ils évoluent dans des cultures, des codes, des interactions, des représentations et des modèles commerciaux déjà bien définis. Le short track doit sensibiliser le public, mais il a la liberté de proposer un environnement réellement innovant. L'objectif est de fournir un avantage disruptif aux sports de patinage sur glace avec un impact durable en comprenant les facteurs d'adoption.

Ce projet a permis de développer des scénarios, des visuels et des éléments de maquette proposant un continuum d'expériences soutenant l'engagement des publics potentiellement intéressés : une perception accrue de la performance pendant les événements, la valorisation des résultats avec une expérience durable, l'humanisation du sport à travers l'expression émotionnelle et les dimensions culturelles.

Les partenaires sont maintenant prêts à entrer dans une phase de finalisation des concepts.



Projet d'Andrea Prozati proposant de générer des trophées sur la base des figures des athlètes.



Projet de Lucie Houel permettant de visualiser les trajectoires des différents patineurs.



Projet de Remi Opalinski permettant à des novices de découvrir le short track grâce à un jeu de cartes les invitant à imiter les mouvements caractéristiques de ce sport.



# EPFL

Project: **Projet**: Vice-présidence pour l'innovation, EPFL

Graphisme et impression: Centre d'impression EPFL

Imprimé sur Nautilus, papier 100% recyclé FSC™,  
labellisé Ange Bleu.



Lausanne, May 2024



## Pour plus d'informations

[sportech@epfl.ch](mailto:sportech@epfl.ch)

Pascal Vuillomenet  
+41 21 693 88 13  
[pascal.vuillomenet@epfl.ch](mailto:pascal.vuillomenet@epfl.ch)

Emilie Michel  
+41 21 693 30 03  
[emilie.michel@epfl.ch](mailto:emilie.michel@epfl.ch)

**EPFL**

Vice-présidence pour l'innovation (VPI)  
EPFL Innovation Park – Bâtiment J  
1015 Lausanne, Suisse

[go.epfl.ch/sport](https://go.epfl.ch/sport)