

Sport de haut niveau et technologie



JO Grenoble, 1968
JC Killy



Slalom



Géant



Descente



Sport de haut niveau et technologie

1. Cituis, Altius, Fortius

2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024

3. Challenges de demain



1. Citius, Altius, Fortius

Sagaie de Lascaux



Bois de renne

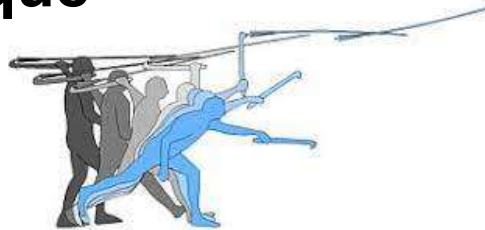
Magdalénien (23 000 et 17 000 ans)

Dimension
Hauteur : 45 cm
Epaisseur : 1 cm

Optimisation du MATERIEL

Principe physique

$$V = R\omega$$



Crédit Photo : SEMITOUR Périgord



1. Citius, Altius, Fortius

Equipe de France de Rugby



Optimisation du
SPORTIF

Principe physique

$$P = mV$$





1. Citius, Altius, Fortius

Le principe : le sportif est « plastique »



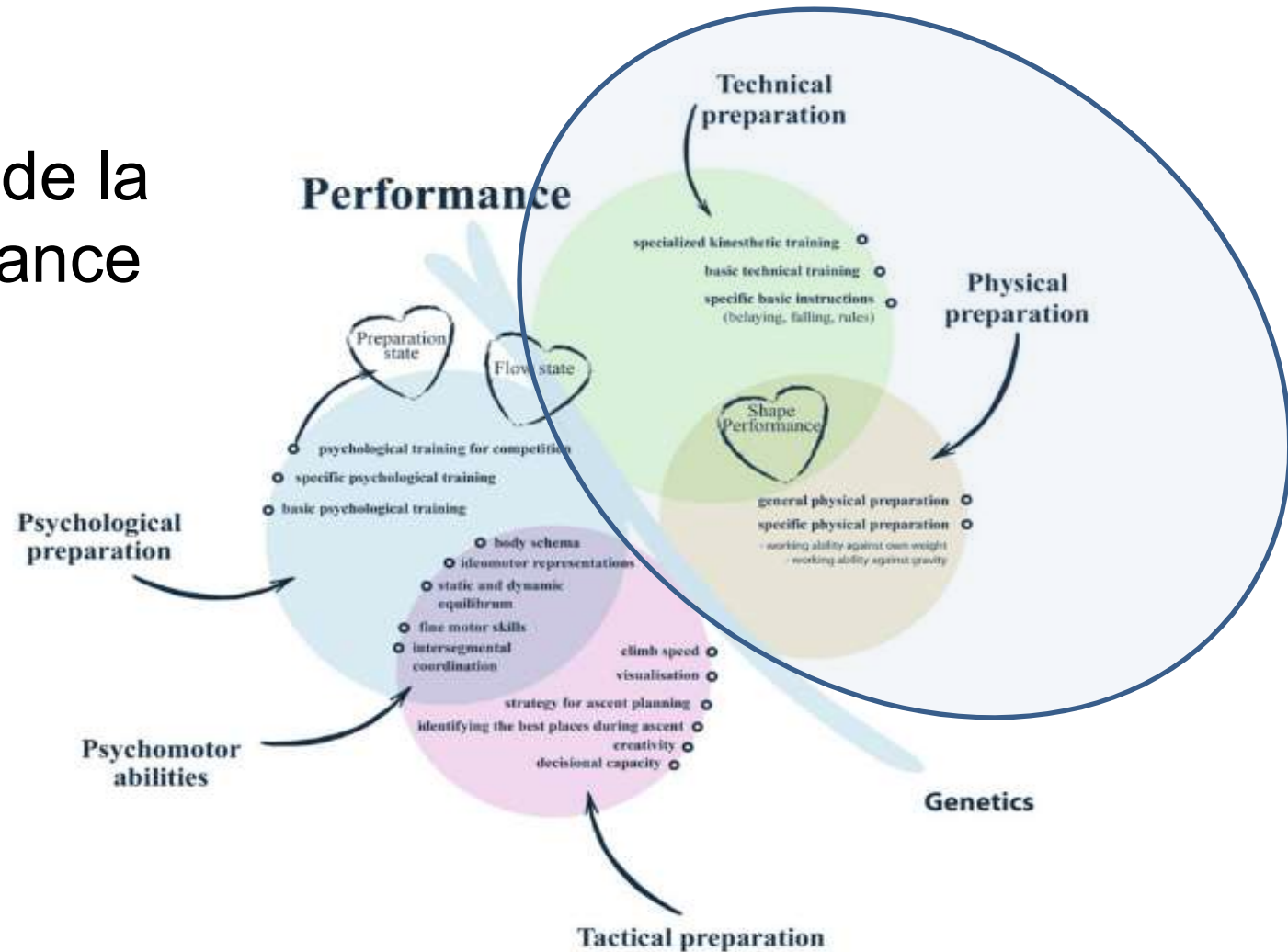
La question : Comment optimiser ses changements ?



1. Citius, Altius, Fortius

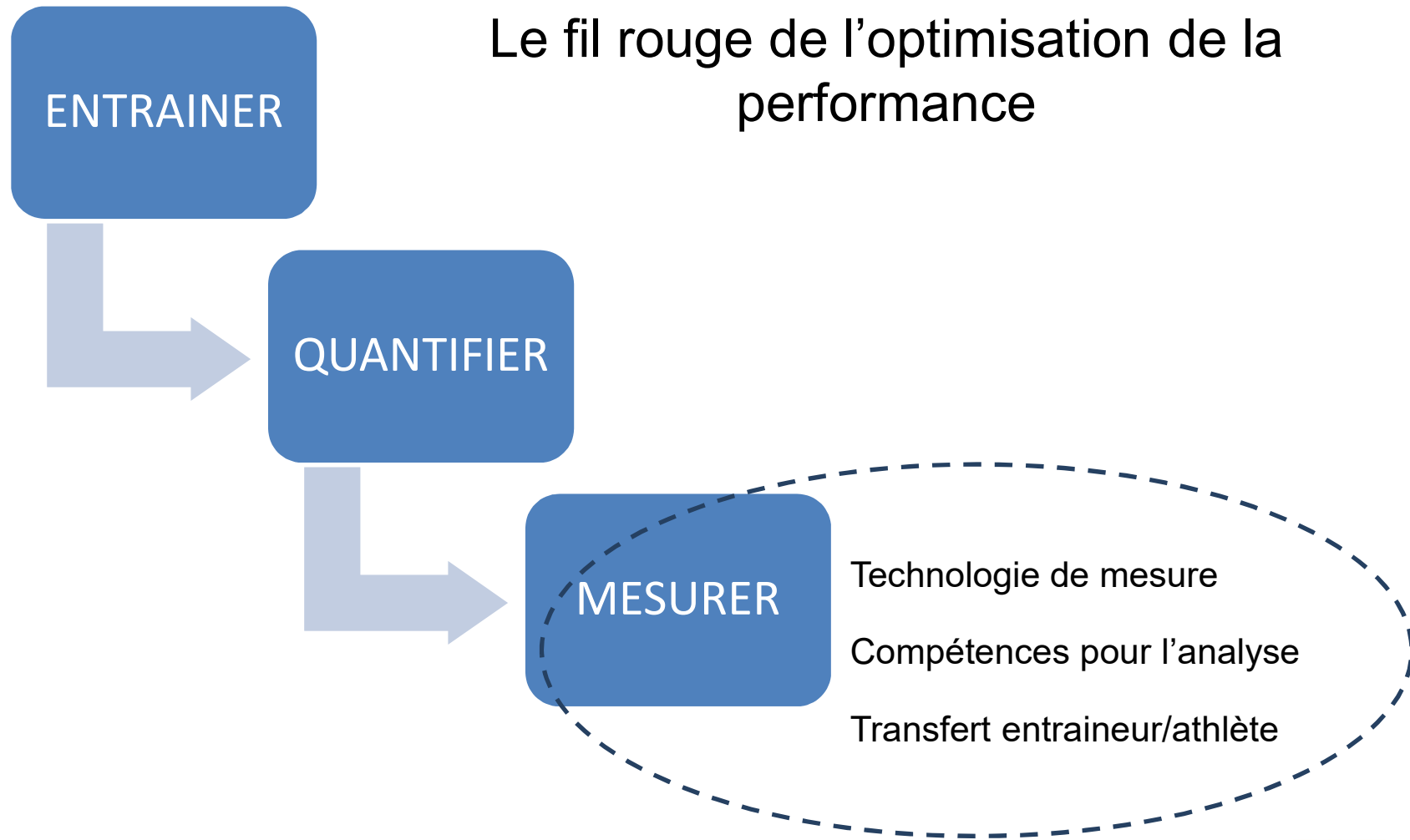
A. Trifu, M. I. Stănescu, F. Pelin /Journal of Educational Sciences & Psychology

Modèle de la performance





1. Citius, Altius, Fortius





2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024

JO : Rendez-vous historique (1924-2024)



Projet PerfAnalytics

<https://perfanalytics.fr/>



Projet SportPerfHealth

<https://sportperfhealth.univ-grenoble-alpes.fr>



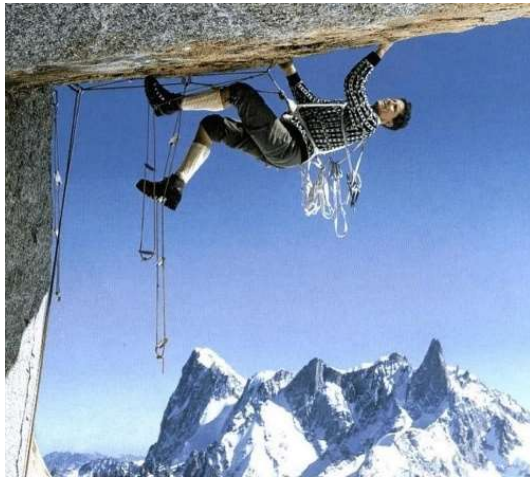
Favoriser les technologies de ruptures

- Préparation **technique** : Mur d'escalade connecté
- Préparation **physique** : Innovations physiologiques

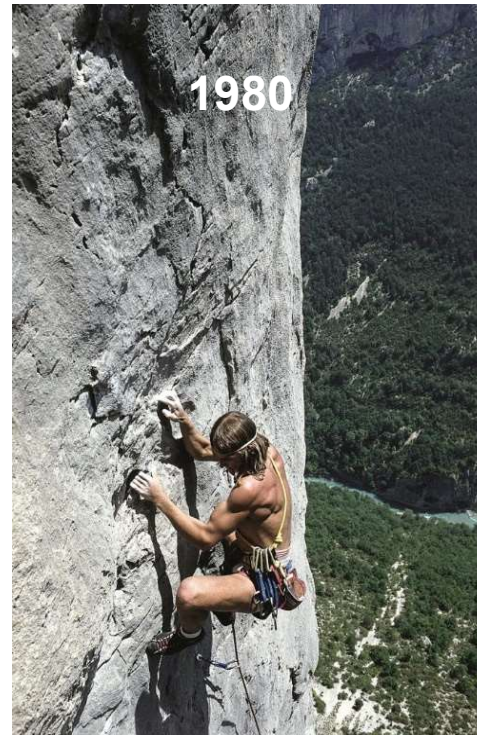


2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024

Evolution de l'escalade



1950



1980



Vitesse



Bloc



Corde

2020



2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024

Epreuve de bloc





2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024

Epreuve de difficulté





2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024

Epreuve de
vitesse





2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024



Un Mur d'escalade connecté :

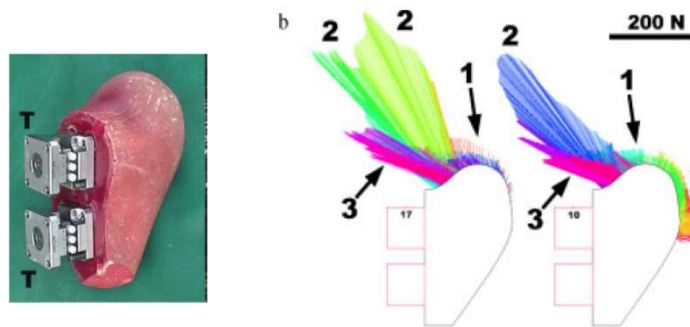
- *Pour mesurer les efforts aux appuis*
- *Modulable, reconfigurable*
- *Utilisable « normalement »*
- *Qui retourne un feedback en « temps réel » à l'utilisateur/entraîneur*



2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024

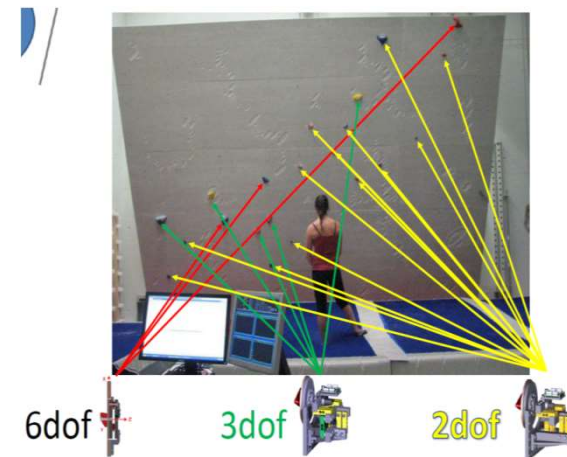
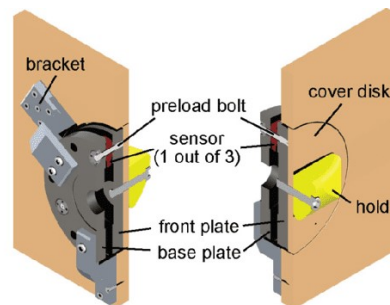
Murs connectés dans le monde ?

Bayreuth University, Allemagne (Fuss. 2008)



ETH Zurich, Suisse (Wolf. 2014)

- ✓ Peu adaptable
- ✓ Couteux
- ✓ Difficilement utilisable





2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024

Murs connectés dans le monde ?

Kyushu University, Fukuoka, Japon (Iguma et al., 2019)



✓ Mur dénaturé (style verrue)



2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024

Murs connectés dans le monde ?

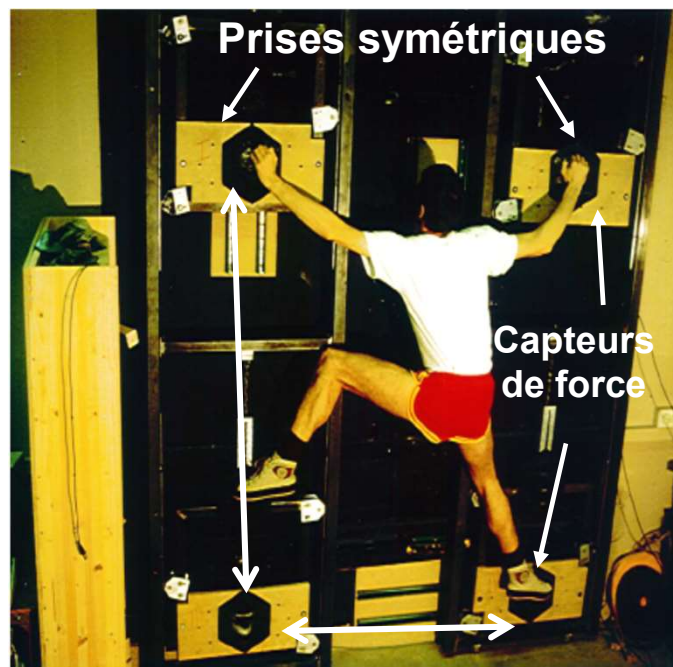
UGA, université pionnière !!

Prises artificielles

→ Rougier et Blanchi en 1990

capteurs 1D

Entre-prises@



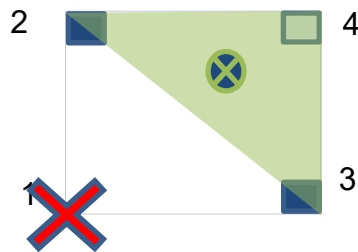
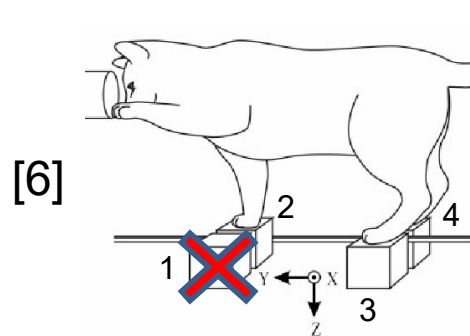
Scumberger@
U.4000

Ajustable à la taille des grimpeurs



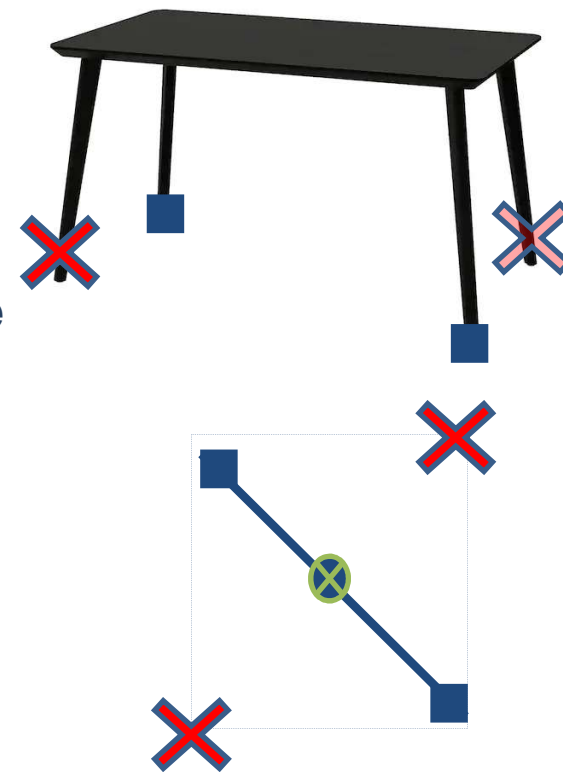
2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024

Une idée novatrice : De l'analyse posturale chez l'animal à la biomécanique du grimpeur !



→ Etudier rôle du **système nerveux central** dans l'équilibration

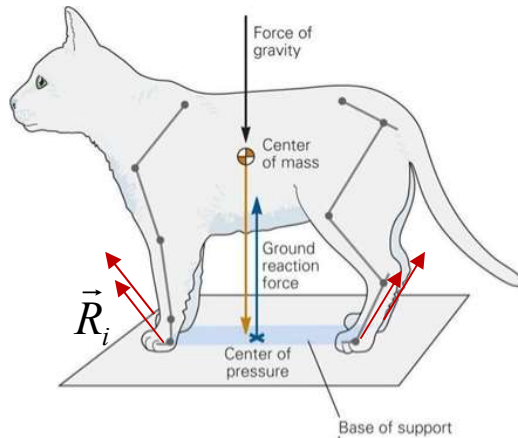
Centre des pressions



[6] Schepens and Drew, 2004, *J. Neurophysiol.*



2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024



[1]

Center of gravity (CG)

$$\sum_1^n \vec{M}_{/G}(\vec{p}_i) = \vec{0}$$



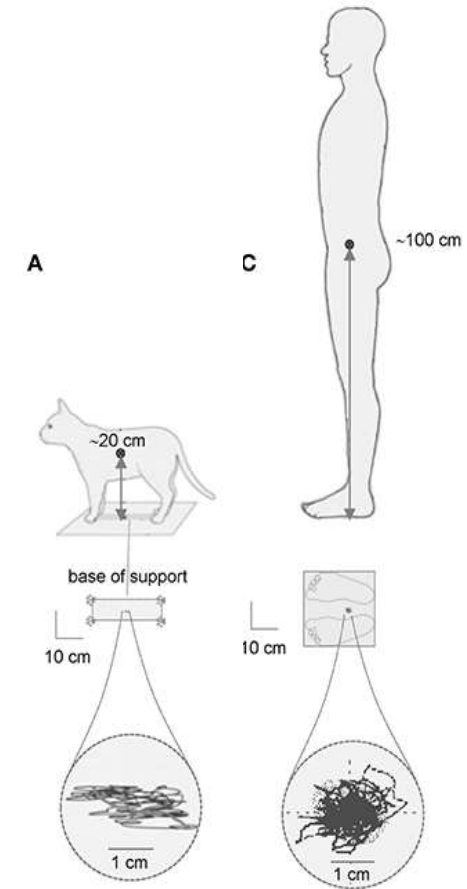
Répartition des poids segmentaires

Center of Pressure (CP)

$$\sum_1^n \vec{M}_{/CP}(\vec{R}_i) = \vec{0}$$



Répartition des forces de pression



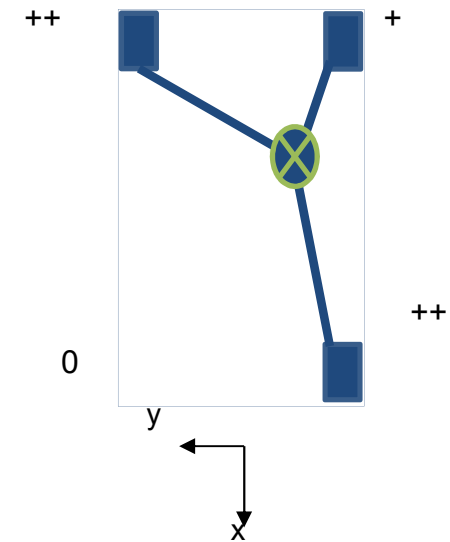
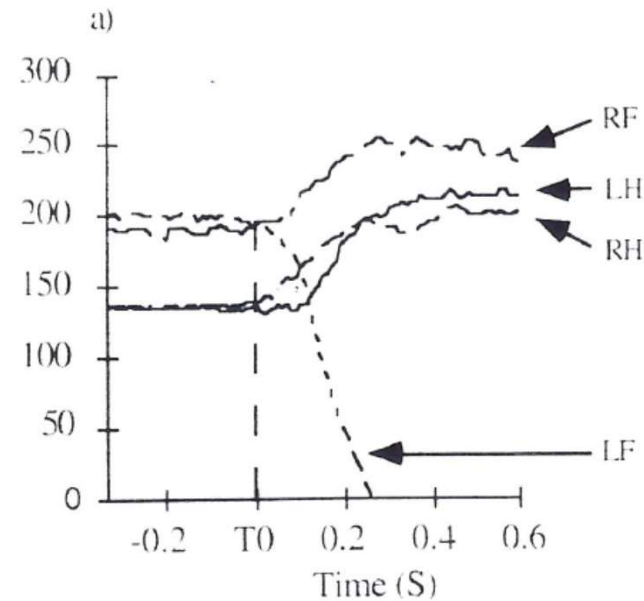
[2]

[1] Zelenin et al., 2010 *J. Neuro*

[2] Yvanenko and Gurfinkel, 2018 *Front. Neurosci.*



2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024



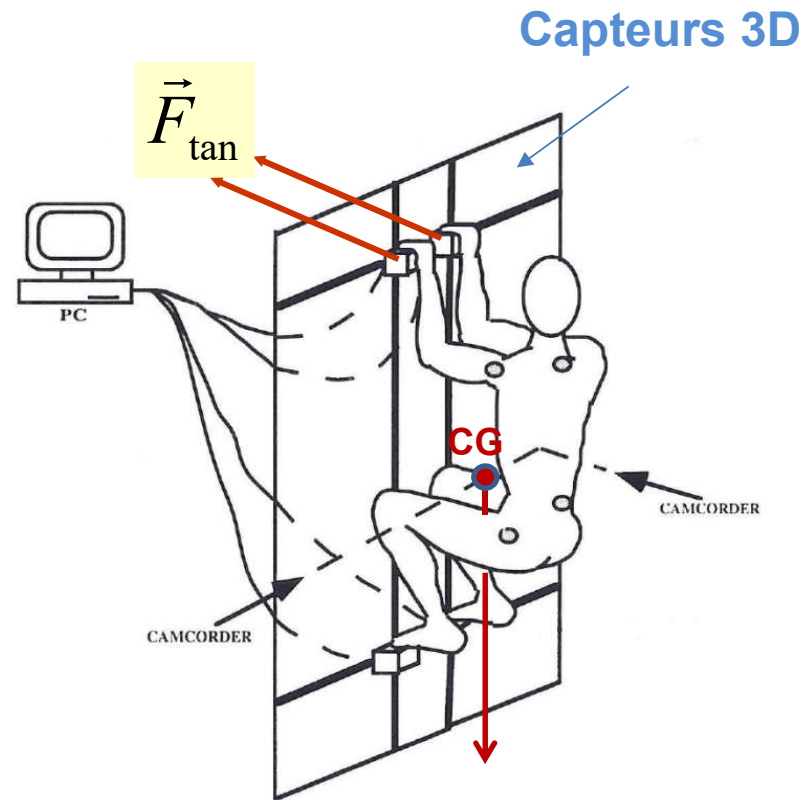
[6]

[6] Schepens and Drew, 2004, *J. Neurophysiol.*

Par analogie avec le centre des pressions CP
 → centre d'accrochage

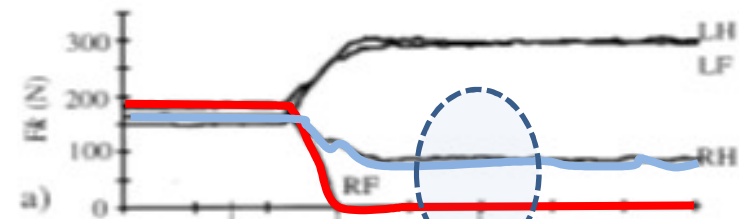


2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024

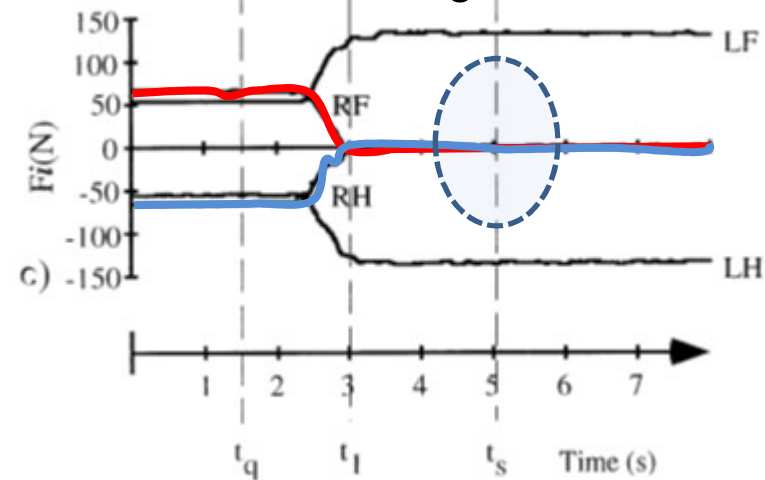


Quaine et al., 1996, *J. Appl. Biomech.*

Forces verticales



Forces tangentielles



→ Une infinité de coordinations possibles !

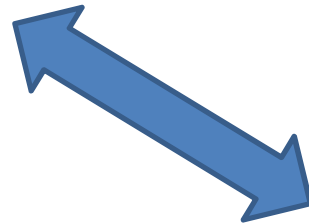
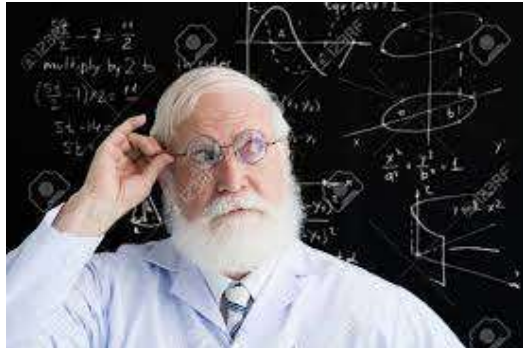


2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024

Un challenge commun : Comprendre ces coordinations !

Pour le chercheur

Résoudre un système mathématique
Indéterminé → fonctionnement du SNC



Pour le grimpeur

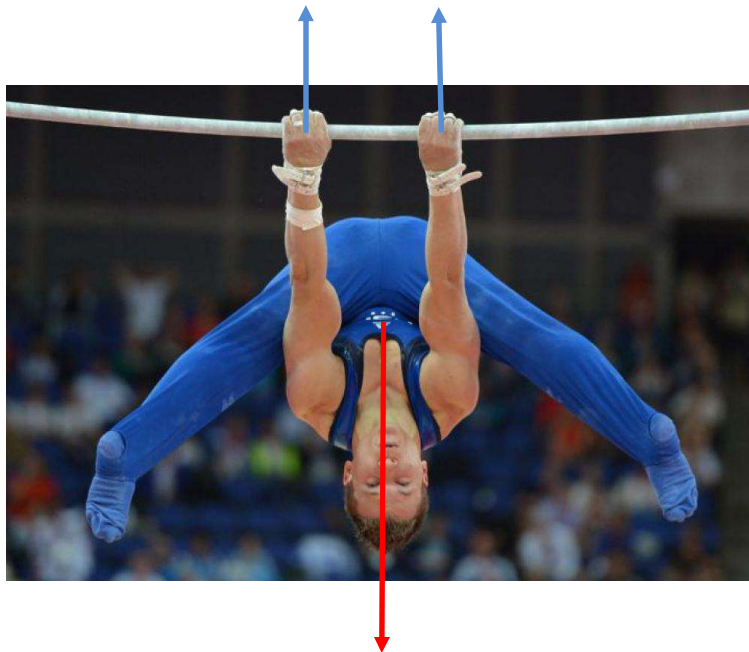
Trouver la méthode optimale pour
le passage → médaille d'or



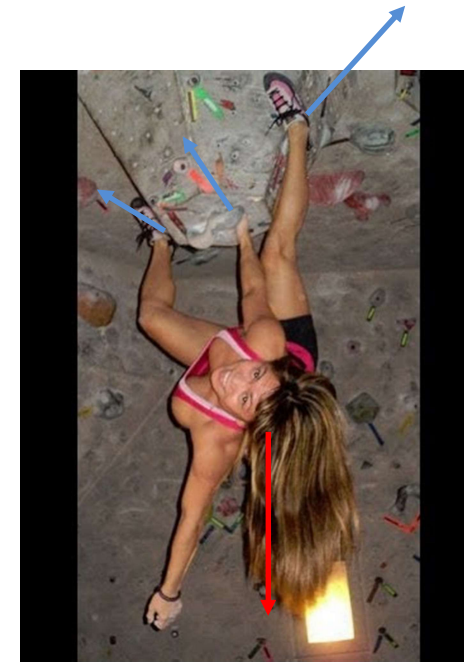
2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024

➤ Classe de problèmes
mathématiques sous déterminés

2 équations, 2 supports :
une unique combinaison de force



2 équations, 3 supports :
une infinite de combinaisons de force



Conditions
statiques

$$\begin{cases} \sum \vec{F}_e = \vec{0} \\ \sum \vec{M}_G(\vec{F}_e) = \vec{0} \end{cases}$$



2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024

Optimisation numérique : chercher à minimiser un critère optimal de fonctionnement du système

Mouvement humain :

minimisation de la dépense énergétique

Linéaire [11, 12]

$$f(t_i) = \sum_1^i (t_i)$$

Non-linéaire [13]

$$f(t_i) = \max \left(\frac{t_i}{PCSA_i} \right)$$

[11] Crowninshield et al. 1978 *J. Biomech.*

[12] Pedotti et al, 1978 *Math. Biosci.*

[13] Rasmussen et al., 2001 *J. Biomech.*

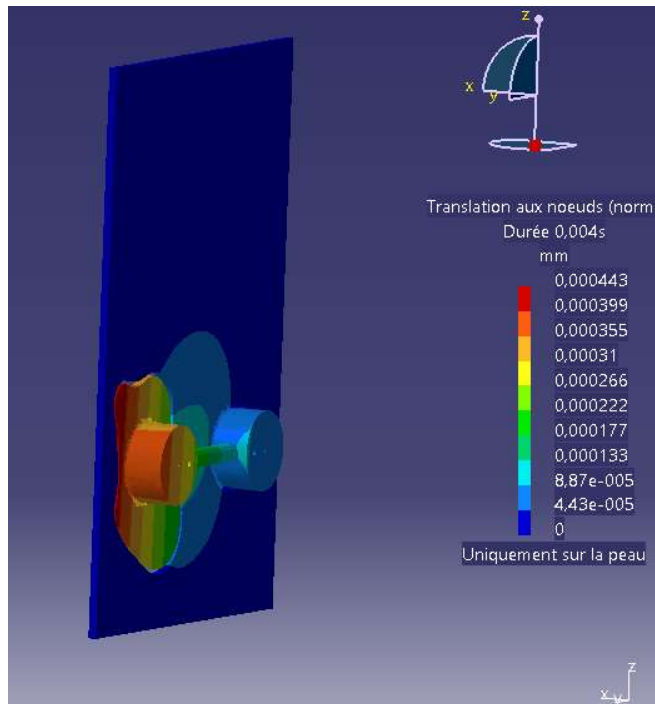


2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024

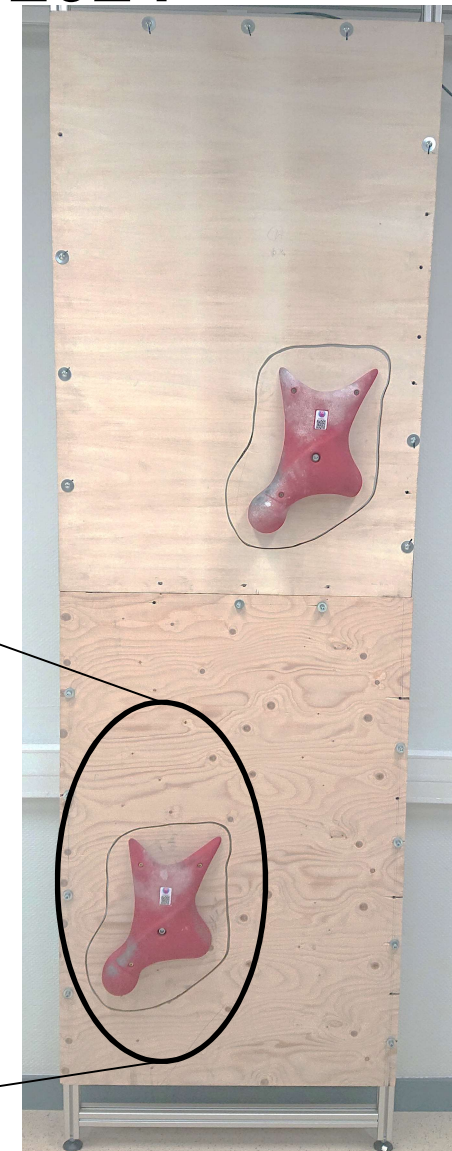
Maquette recherche au laboratoire

Observations du montage des capteurs:

- Vibrations
- Amplitude de mouvement
- Découpe



Prestataire SENSIX





2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024

Maquette recherche au laboratoire



Prestataire ENTRE-PRISES

Mur d'escalade modulable :

- Mesure des efforts aux appuis
- Mesure cinématique MOCAP

Conception polyvalente :

- Liberté de positionnement des prises connectées
- Prise non connectée ajoutable (MOCAP)
- Inclinaison jusqu'à 45°

Paramètres d'évaluation de la performance

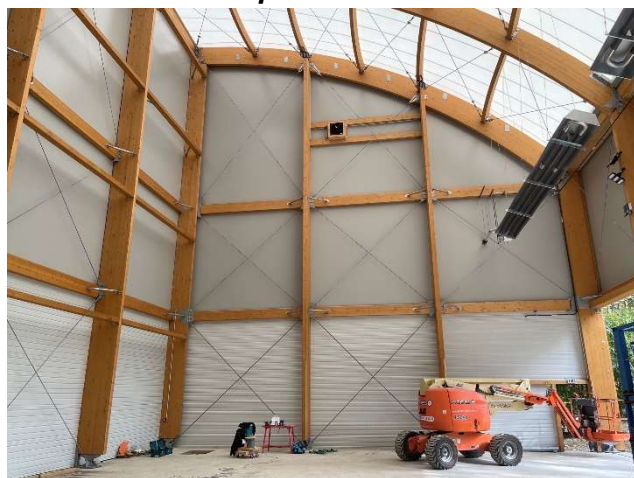
- Centre de pression (COP)
- « Coefficient de friction » (COF)
- Temps de contact (Tcont)
- Impulsion ($F_{moy} \times T_{cont} / BW$)
- Facteur de lissage
- Entropie (Hausdorff)
- Jerk



2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024



Sept 2022



Mise en production au pole France escalade de Voiron



Avril 2023



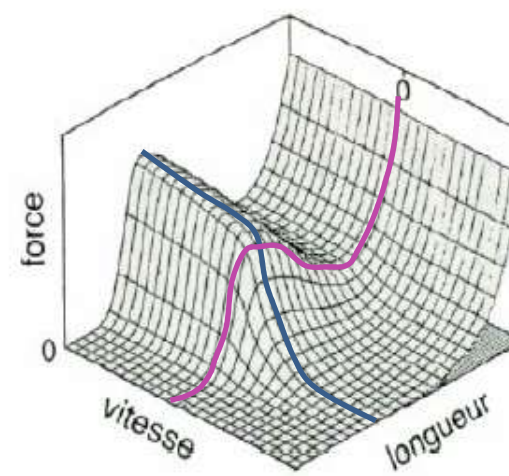
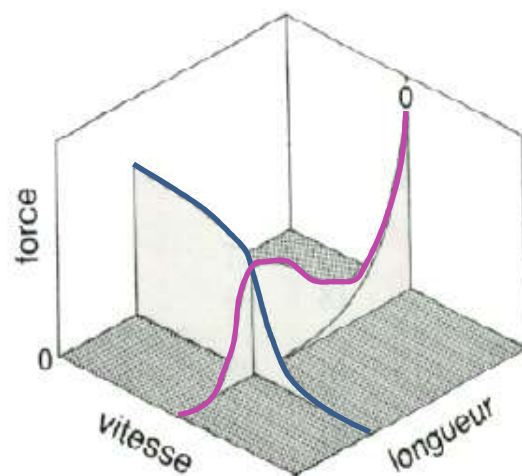
2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024

Innovations physiologiques

Isocinétisme



Relations caractéristiques de la
mécanique musculaire

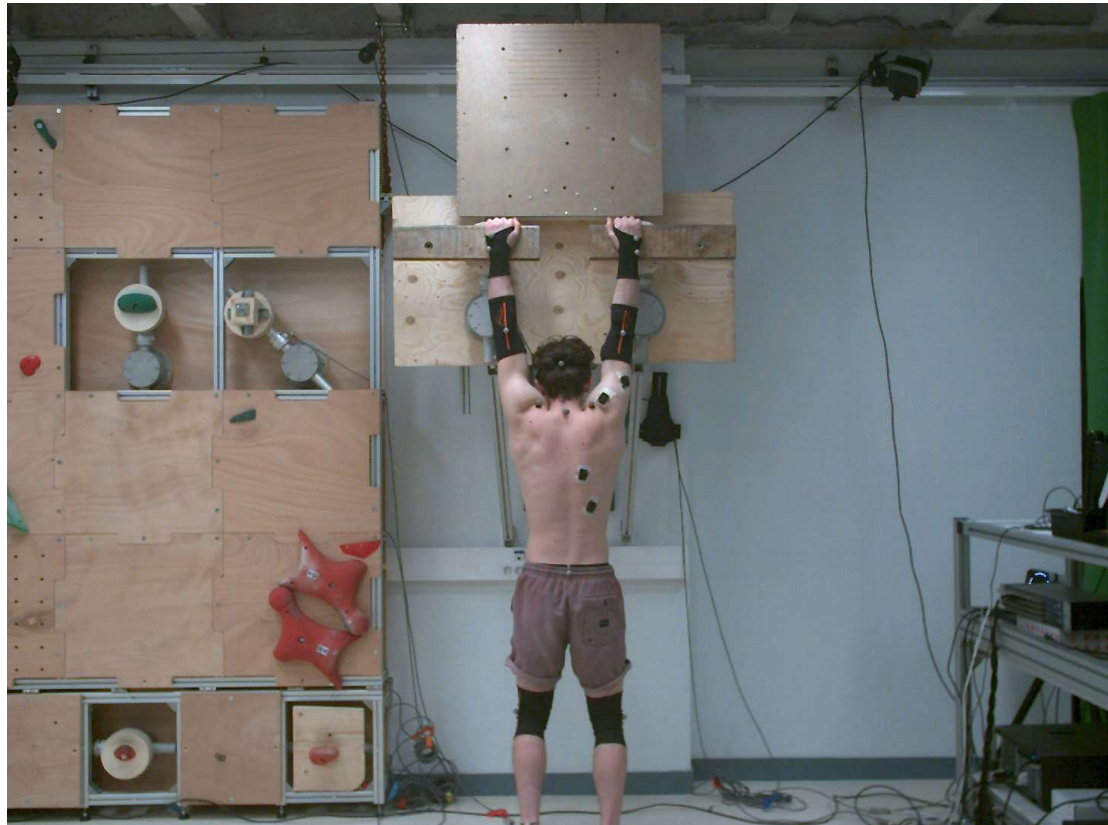




2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024

Innovations physiologiques

Musculation bras/tractions



Ischémie (BFR)



Entraînement à 30% max

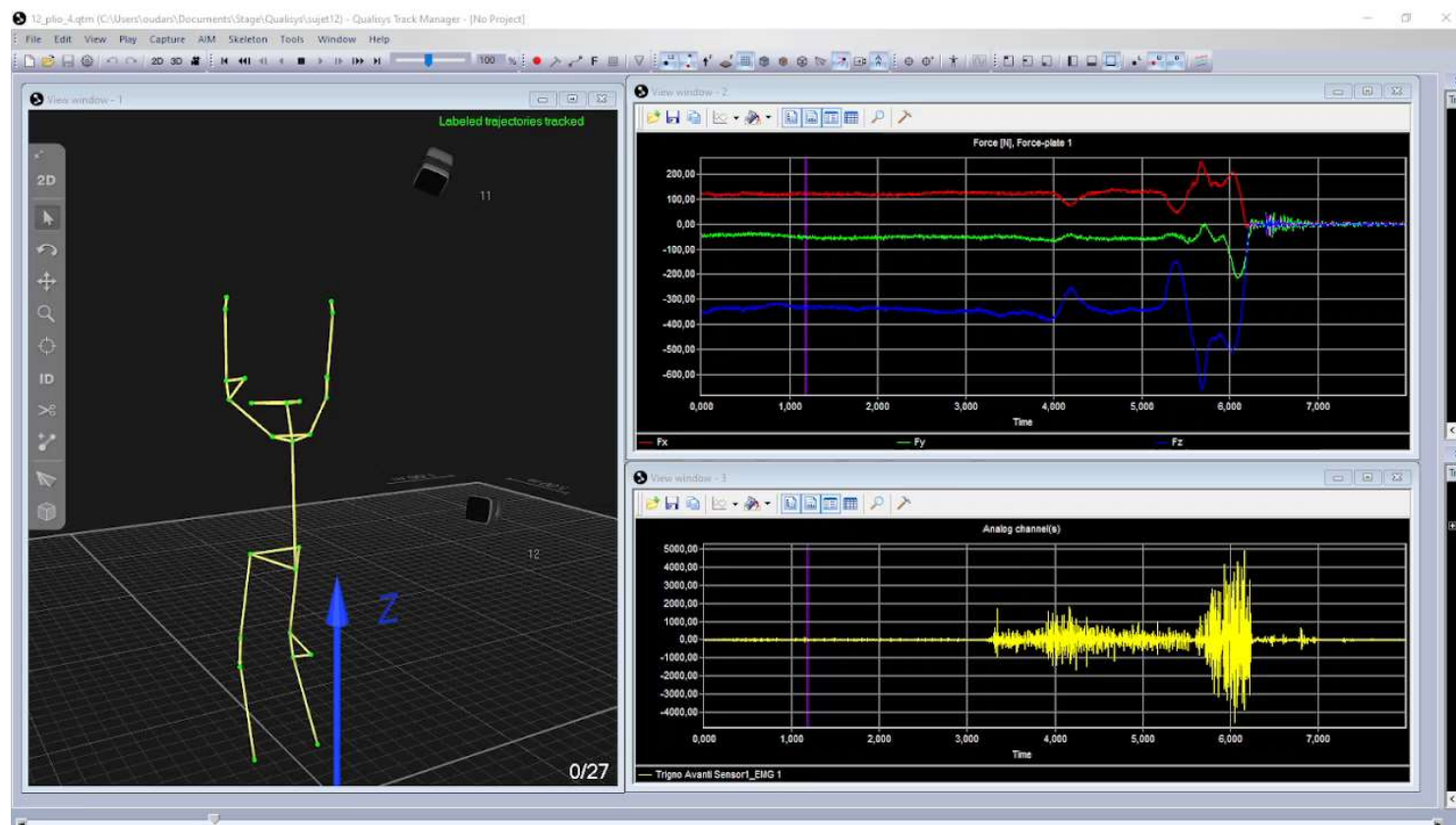
**→ Effets similaires à
80% ?**



2. Accompagnement de l'équipe de France Escalade JO Paris 2024

Innovations physiologiques

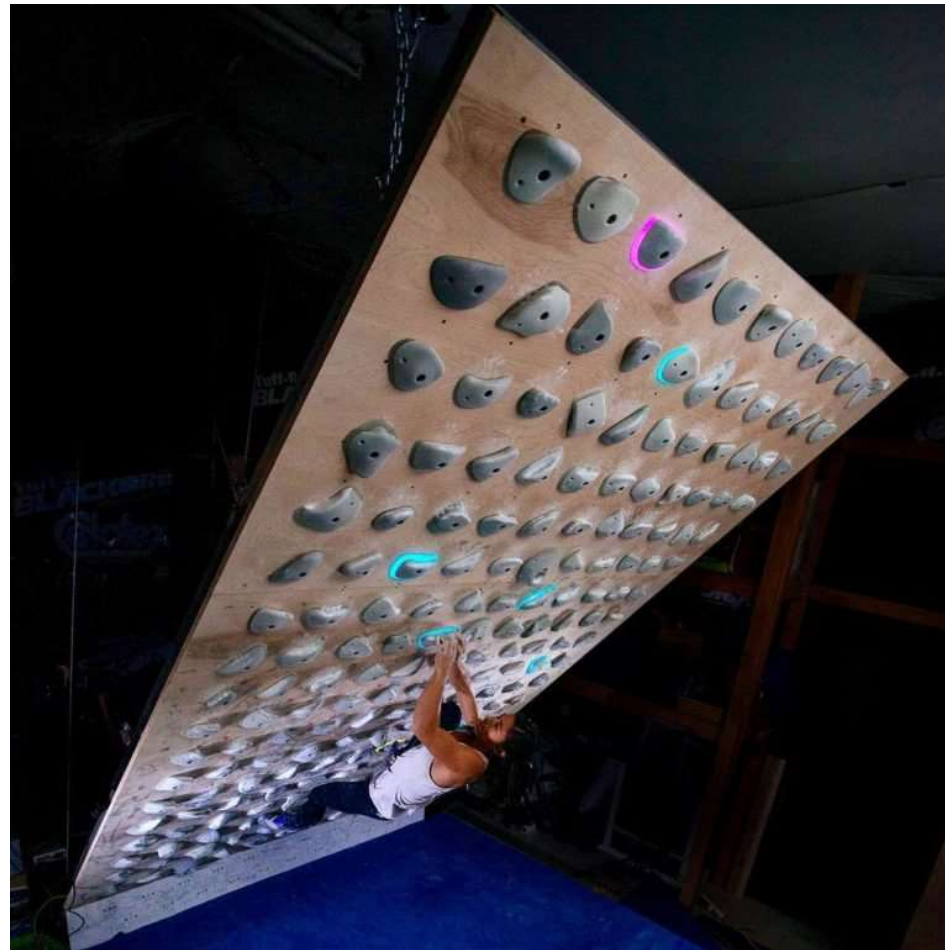
Musculation bras/tractions





3. Challenges de demain

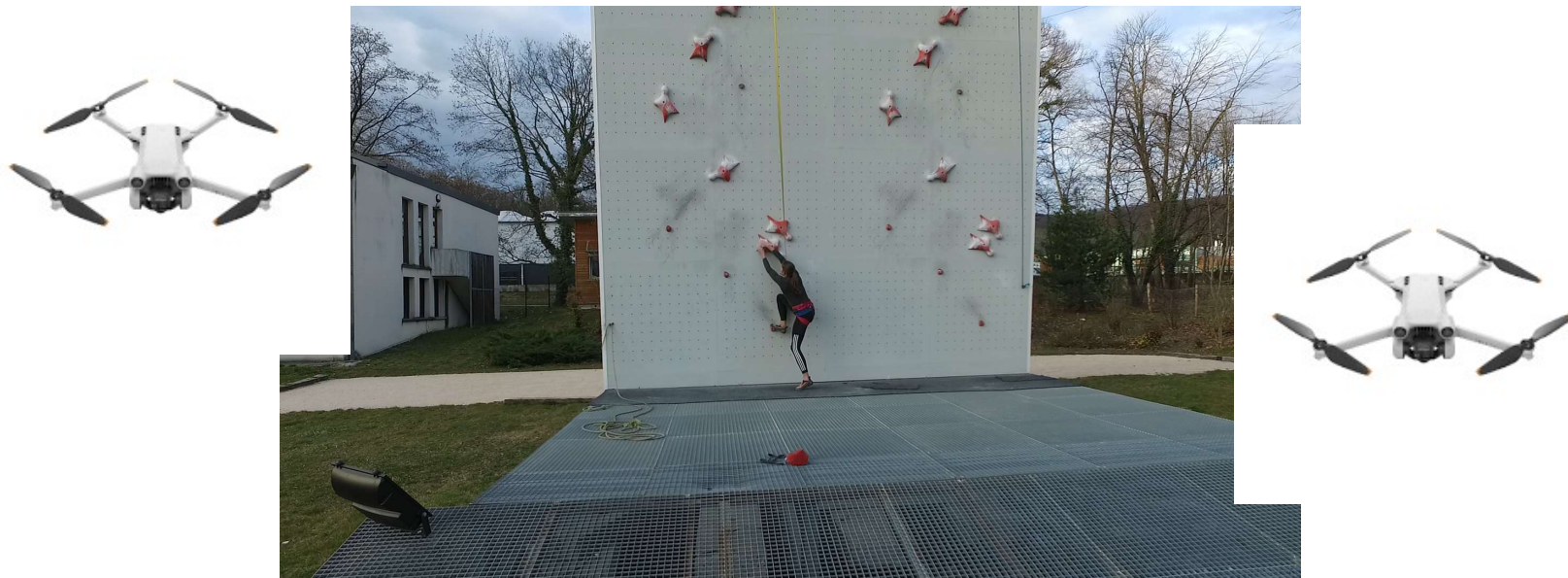
Mur connecté en version industrielle ?





3. Challenges de demain

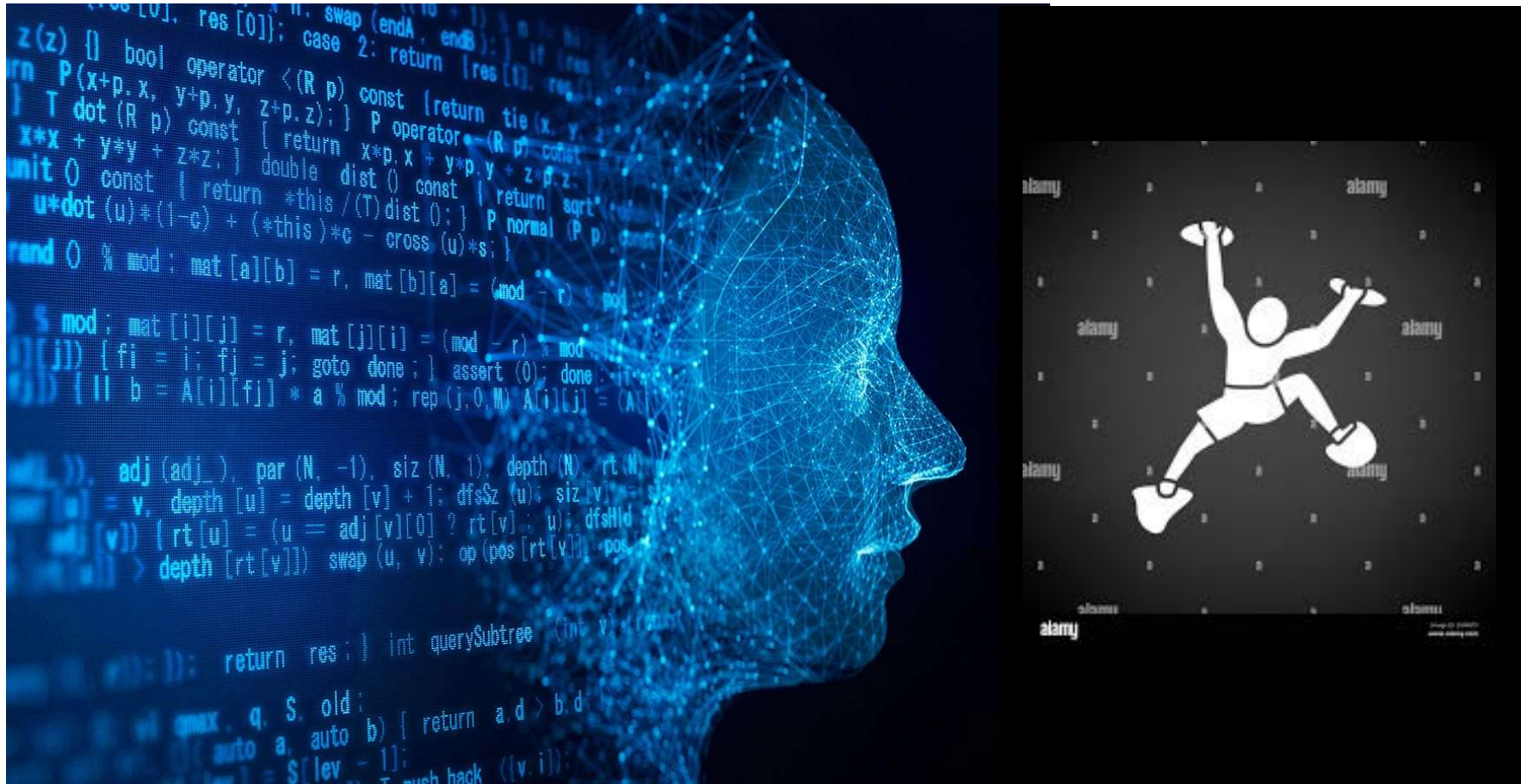
Capture du mouvement par flottille de drones





3. Challenges de demain

IA → Trouver la méthode optimale pour le passage



A photograph of a person climbing a rock face at sunset. The sun is low on the horizon, creating a warm orange and yellow glow. The sky is a mix of blue and purple. The rock face is on the right side of the image, and the climber is visible near the top. There are some trees and bushes in the foreground and middle ground.

Merci de votre
attention