

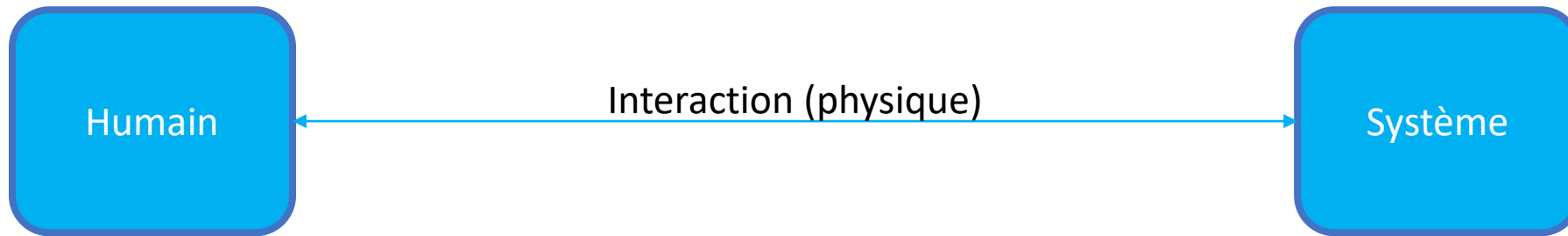
Interaction Humain-Matériel



► Charles Pontonnier

Interaction en biomécanique

Modèles Musculo vs le monde



Interaction en biomécanique

Modèles musculo vs le monde



Humain

Interaction (physique)

Système

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q}) = F + E$$

Quantités
d'accélération

Forces internes

Forces externes

Interaction en biomécanique

Modèles musculo vs le laboratoire



Humain

Interaction (physique)

Estimation des efforts externes

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q}) = F + K^t \lambda + E$$

Mise à l'échelle
Modélisation

Redondance musculaire
Contraintes



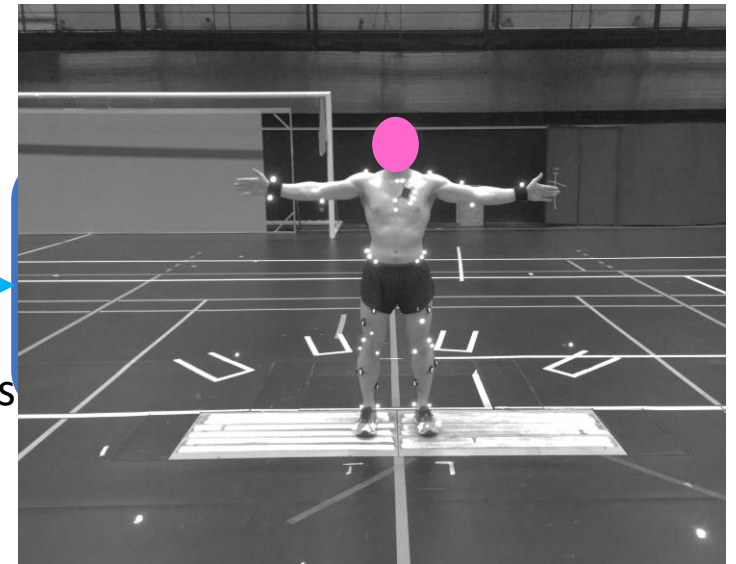
Force



Activité musculaire



Mouvement



Laboratoire

+ Analyse du mouvement
+ Conditions contrôlées
+ Prototypage des méthodes

Interaction en biomécanique

Modèles musculo vs le sport

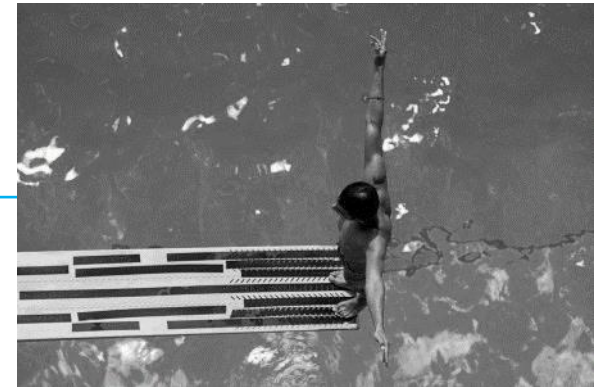


Humain

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q}) = F + E$$

Prédiction des actions d'interaction
Cosimulation

Système déformable



Matériel sportif/environnement

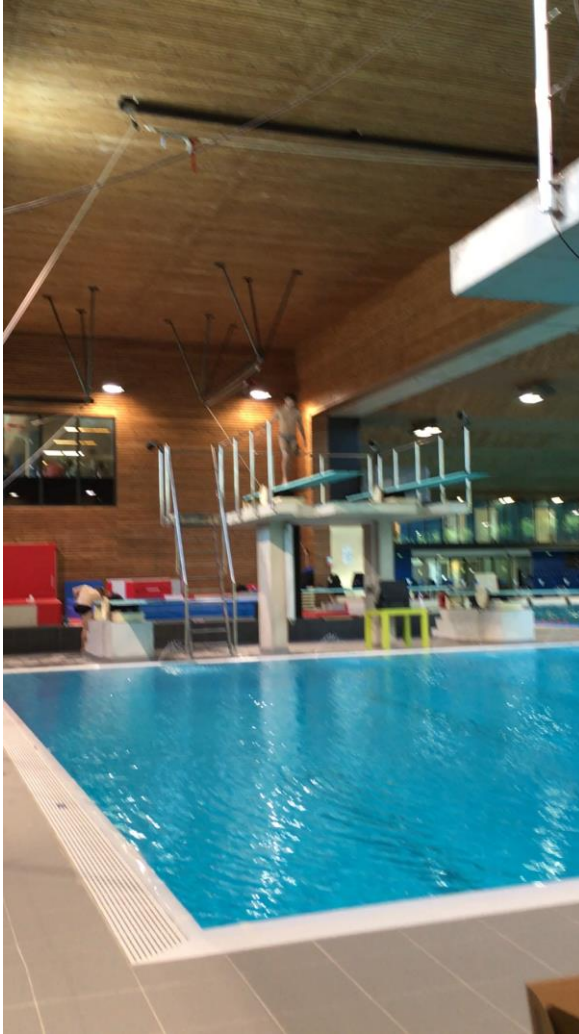
- + Analyse de l'interaction (synergie)
- + Prévention des blessures
- + Optimisation de la performance
- + Optimisation du matériel

Interaction plongeur plongeoir

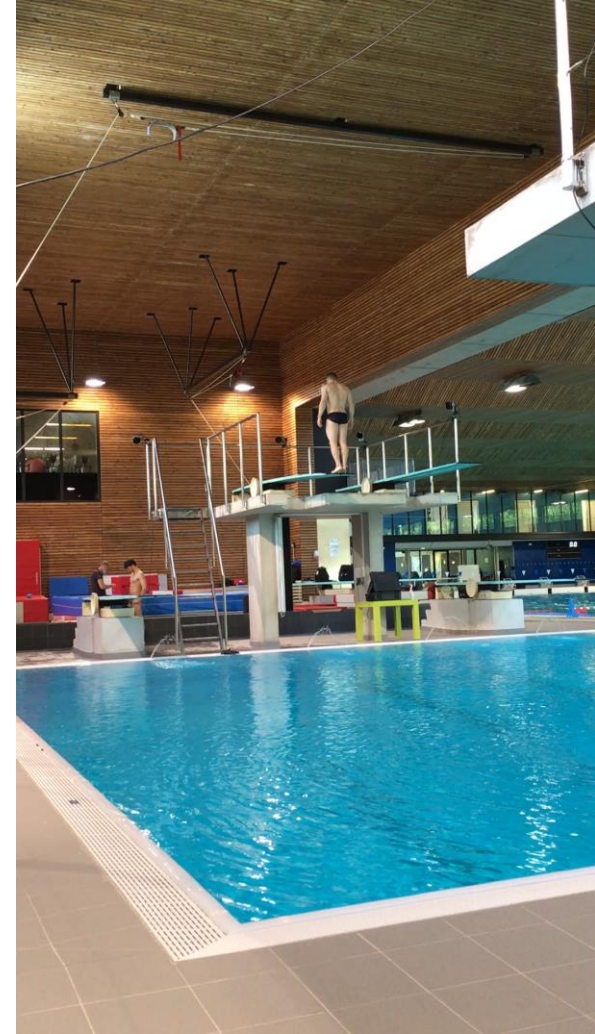


► Thèse de Louise Demestre

Interaction en plongeon olympique (thèse Louise Demestre)

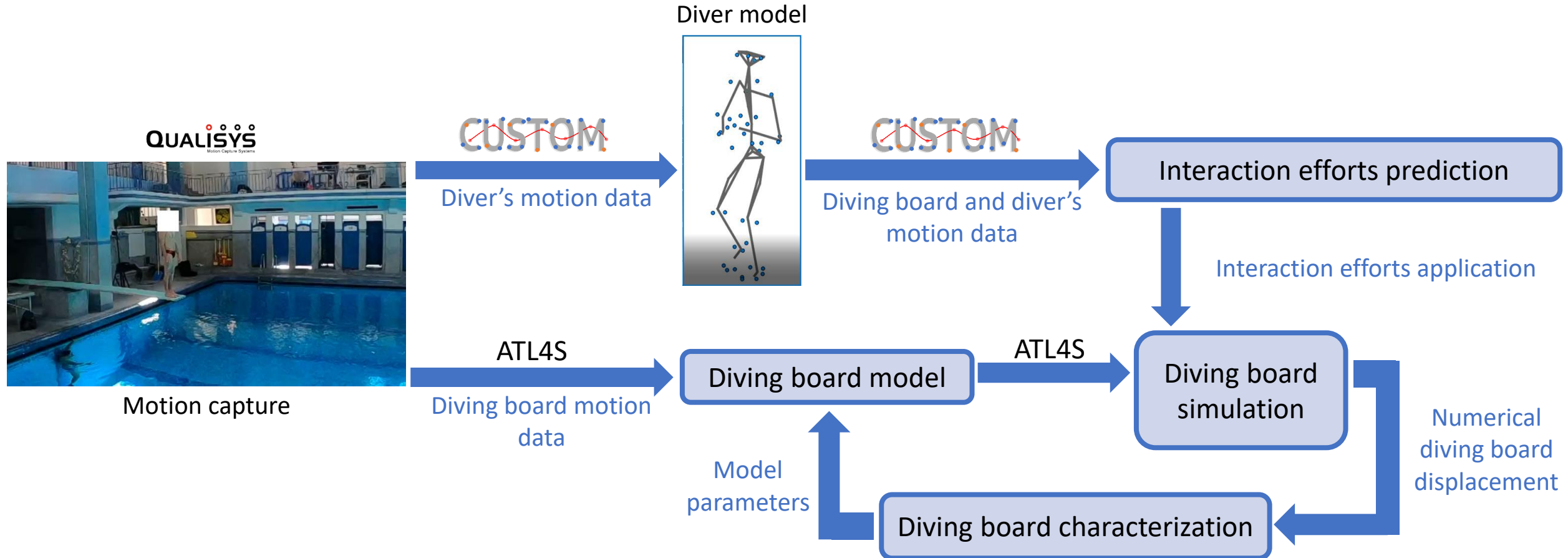


XXX



XXX

Modèle d'interaction



A. MULLER, C. PONTONNIER, P. PUCHAUD, G. DUMONT, CusToM: A MATLAB TOOLBOX FOR MUSCULOSKELETAL SIMULATION, JOURNAL OF OPEN SOURCE SOFTWARE, OPEN JOURNALS, 4 (33), 1-3 (2019)

S. GRANGE, ATL4S—A TOOL AND LANGUAGE FOR SIMPLIFIED STRUCTURAL SOLUTION STRATEGY. LOCATED AT: GEOMAS INSA-LYON (2021)

Modèle du plongeur

18 segments, 44 degrés de liberté

Masses et inerties [Dumas2006]

Mise à l'échelle géométrique [Puchaud 2019]

$$H(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + C(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + G(\mathbf{q}) = \mathbf{f}_e + \boldsymbol{\tau}$$

Quantité d'intérêt !



Dumas, R., Cheze, L., & Verriest, J. P. (2007). Adjustments to McConville et al. and Young et al. body segment inertial parameters. *Journal of biomechanics*, 40(3), 543-553.

Puchaud, P., Sauret, C., Muller, A., Bideau, N., Dumont, G., Pillet, H., & Pontonnier, C. (2020). Accuracy and kinematics consistency of marker-based scaling approaches on a lower limb model: a comparative study with imagery data. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 23(3), 114-125.

Modèle de contact



Points anatomiques définis sur le pied comme des « points de contact »

On limite la force max par point de contact

On définit des seuils pour la détection du contact (position et vitesse)

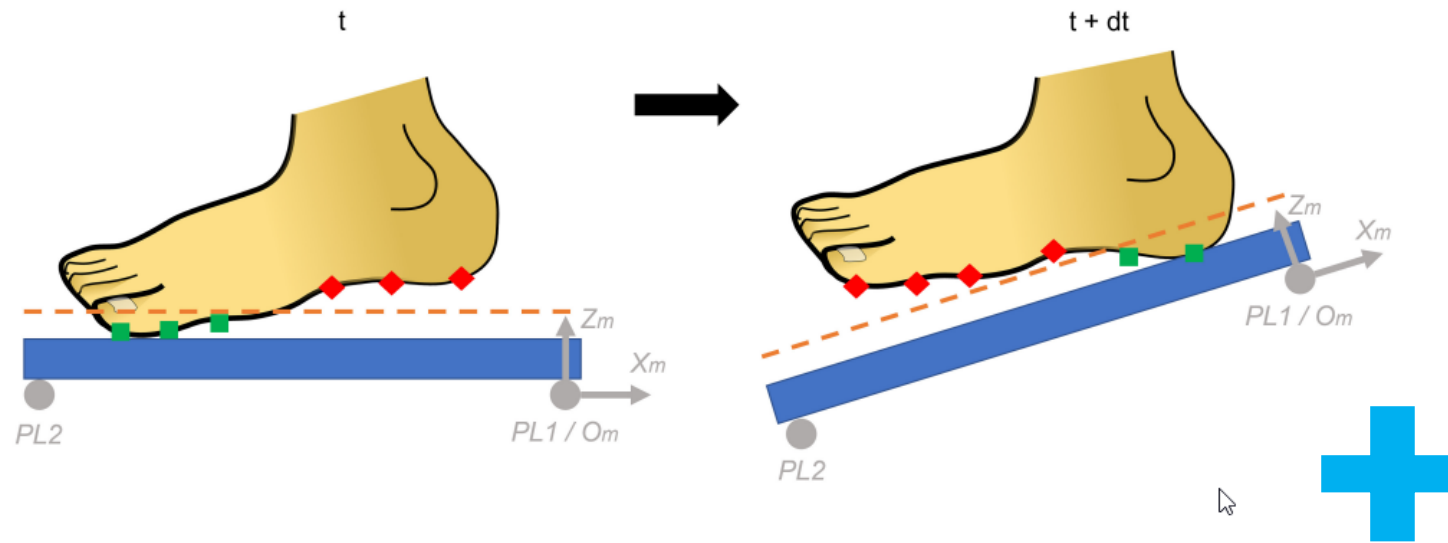
$$\min_{\mathbf{f}_e} \sum_{i=1}^{2N_f} \|\mathbf{F}_i\|^2$$

On minimise la somme de la norme des forces au carré en chaque point de contact

$$s. t. \begin{cases} M_s(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + C_s(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) + G_s(\mathbf{q}) + \mathbf{f}_e = \mathbf{0} \\ \forall i \in [1, 2(N_f + N_h)], \mathbf{F}_i < \mathbf{F}_{i_{max}} \end{cases}$$

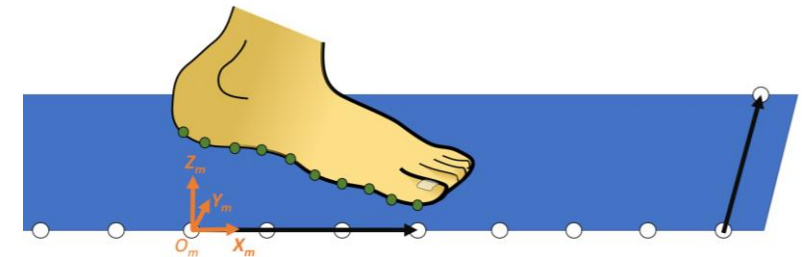
En respectant l'équilibre dynamique et les forces maximales disponibles par point de contact

Repère mobile (à recalculer à chaque instant)



On repère les pieds sur le plongeur à chaque frame

On définit un repère local pour le contact



Modèle de tremplin

Tremplin



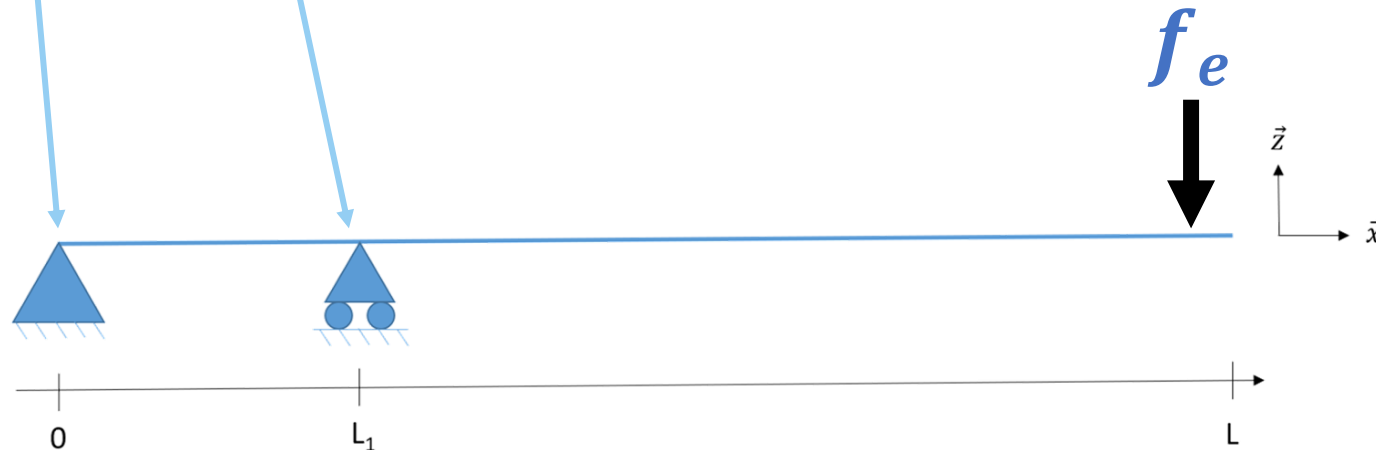
Paramètres mécaniques apparents

Densité ρ

Module d'Young E

épaisseur h

Coefficient de restitution e



Modèle éléments finis (49 nœuds)

Contact unilatéral (géré par complémentarité)

Méthode de caractérisation

$$\phi(E, \rho, h, e) = \frac{1}{\phi_0} \sum_{i=1}^{nb_trials} \sum_{m=fulcrum}^{nb_markers} \frac{1}{n_e^i A_m^i} \sum_{k=1}^{n_e^i} \left(U_{exp}^i(x_m, t_k) - U_{num}^i(x_m, t_k) \right)^2$$

Incréments en temps (pointing to n_e^i)

Amplitude maximale (pointing to A_m^i)

Déplacement expérimental (pointing to U_{exp}^i)

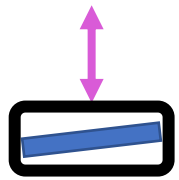
Déplacement numérique (pointing to U_{num}^i)

4 essais (2 courses d'élan, 2 départ arrêtés)

Les points d'observation sont situés au-delà du fulcrum (appui)

Recuit simulé

100 tirs (répartition statistique du résultat d'optimisation → k-means clustering sur la distance euclidienne d'un vecteur solution à l'autre)



Résultats moyennés sur l'ensemble des essais – Caractérisation sur les essais étudiés

Plongeurs	Validation – sans élan	Validation – avec élan	Application – avant
Erreur max à l'extrémité (m)	$0,29 \pm 0,00$	$0,24 \pm 0,00$	$0,53 \pm 0,06$
Erreur max à l'extrémité (%)	59 ± 1	51 ± 2	49 ± 6
Erreur max à l'appui (m)	$0,04 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,03$
Erreur max à l'appui (%)	51 ± 11	68 ± 4	52 ± 13
Erreur moyenne maximale (m)	$0,06 \pm 0,00$	$0,06 \pm 0,01$	$0,15 \pm 0,03$
Erreur normalisée maximale (%)	12 ± 1	17 ± 7	18 ± 5
Intervalle corrélation max	[0,89 – 0,95]	[0,89 – 0,93]	[0,83 – 0,92]
Retard associé max (s)	$0,01 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,00$	$0,04 \pm 0,03$

- $\frac{EI}{b} = 2,65 \cdot 10^5 Pa$
- $\rho = 855 kg.m^3$
- $e = 0,099$

- $\frac{EI}{b} = 2,50 \cdot 10^5 Pa$
- $\rho = 1150 kg.m^3$
- $e = 0,999$

Erreurs maximales
élevées

Erreurs moyennes
satisfaisantes

Corrélation satisfaisante

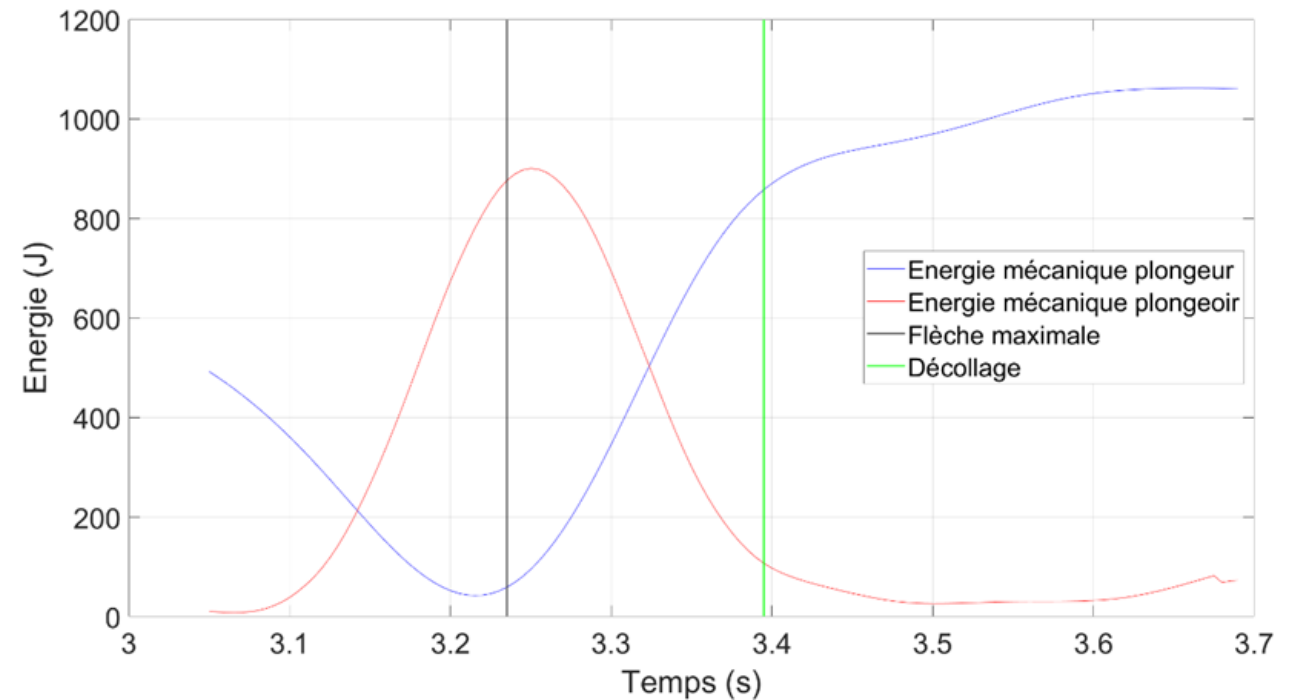
Discussion

Les solutions appartiennent toutes au même cluster → cohérence des résultats d'optimisation

Connaitre la réaction du plongeur = connaitre son comportement vibratoire

Connaitre le modèle = connaitre son énergie mécanique

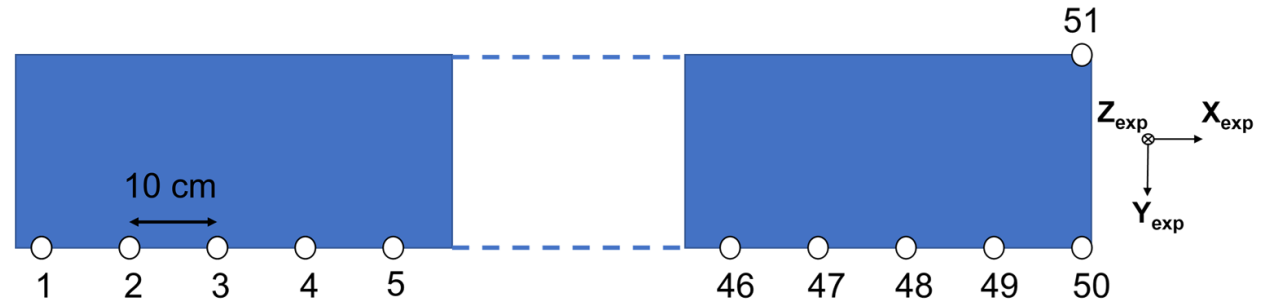
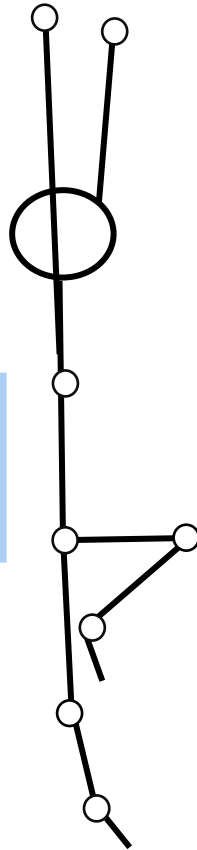
➡ Etude énergétique du plongeon



Application a l'ETUDE ENERGETIQUE DU PLONGEON



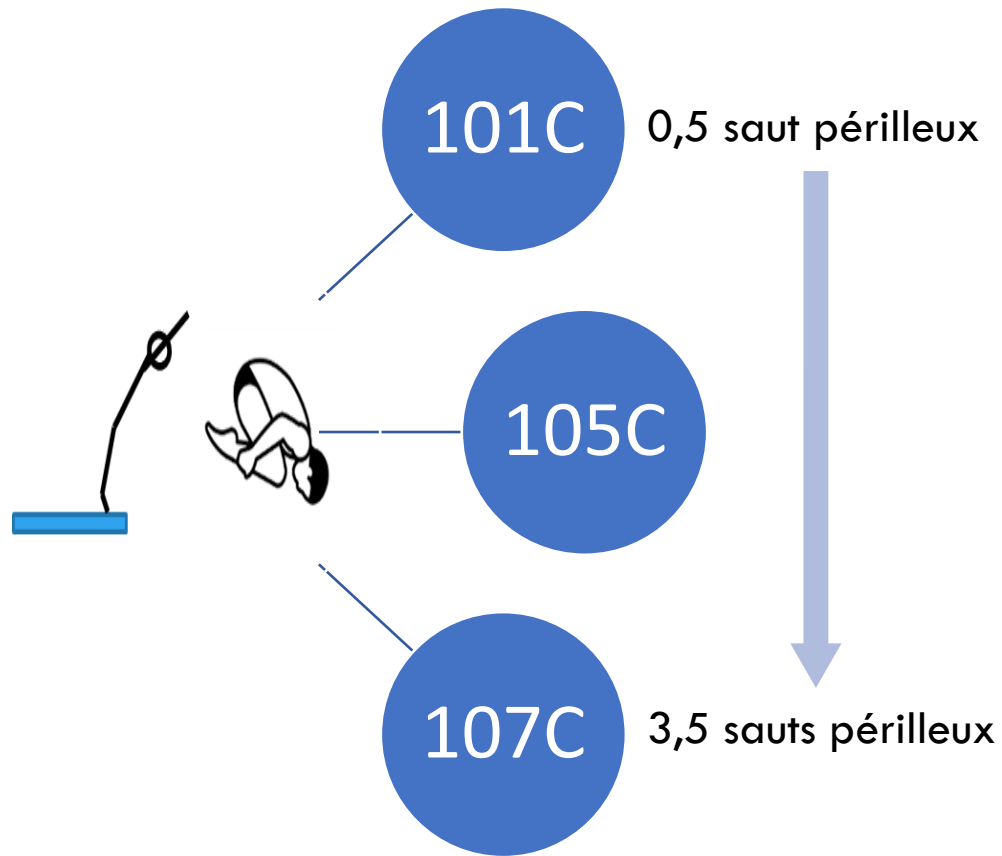
- 1 plongeur de niveau international
- 6 types de plongeurs différents
- 3 itérations → tendances



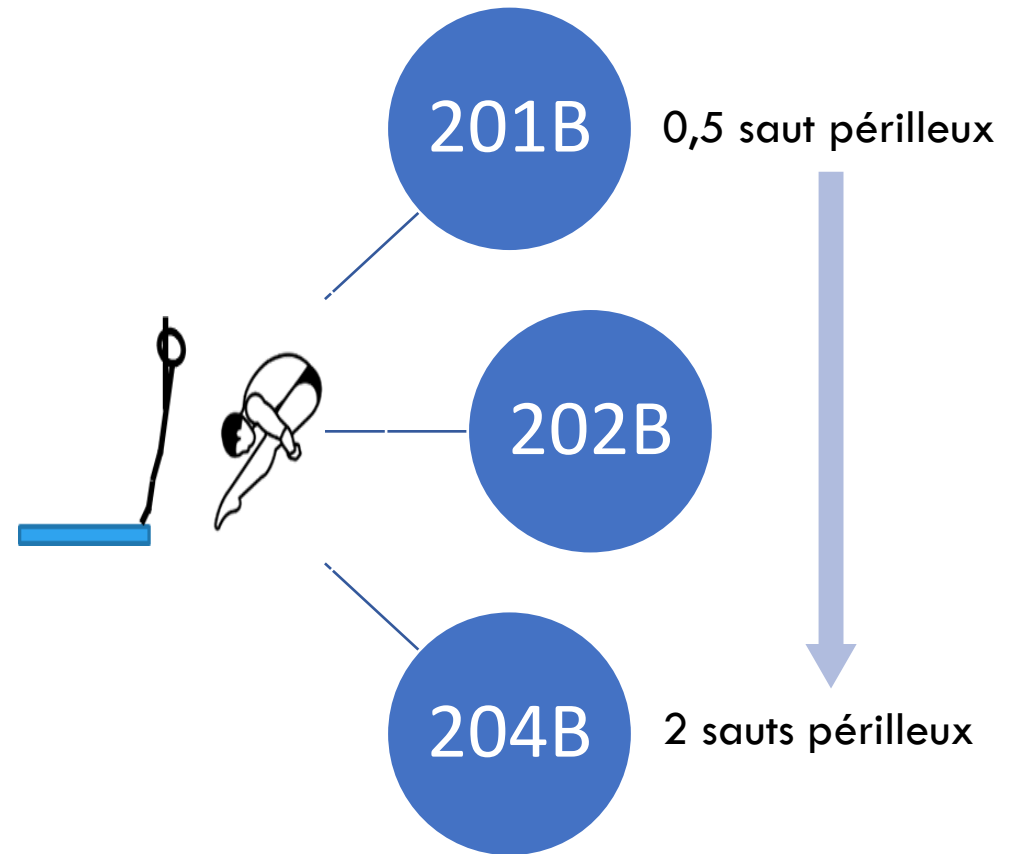
1 plongeur 1m



Plongeurs étudiés

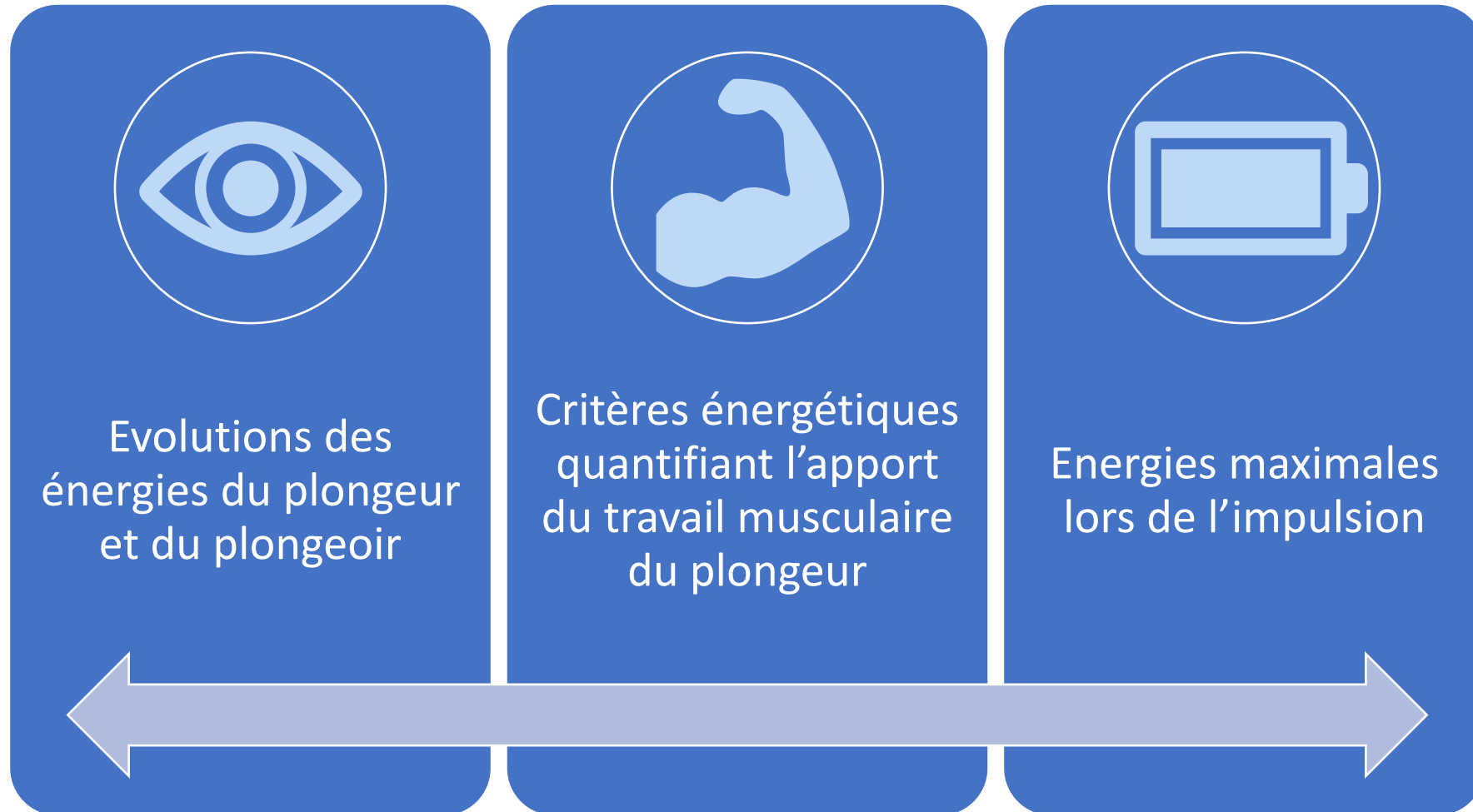


- Plongeurs avant
- Position groupée



- Plongeurs arrière
- Position carpée

Etude des transferts d'énergie



Calcul des énergies du plongeur et du plongeoir



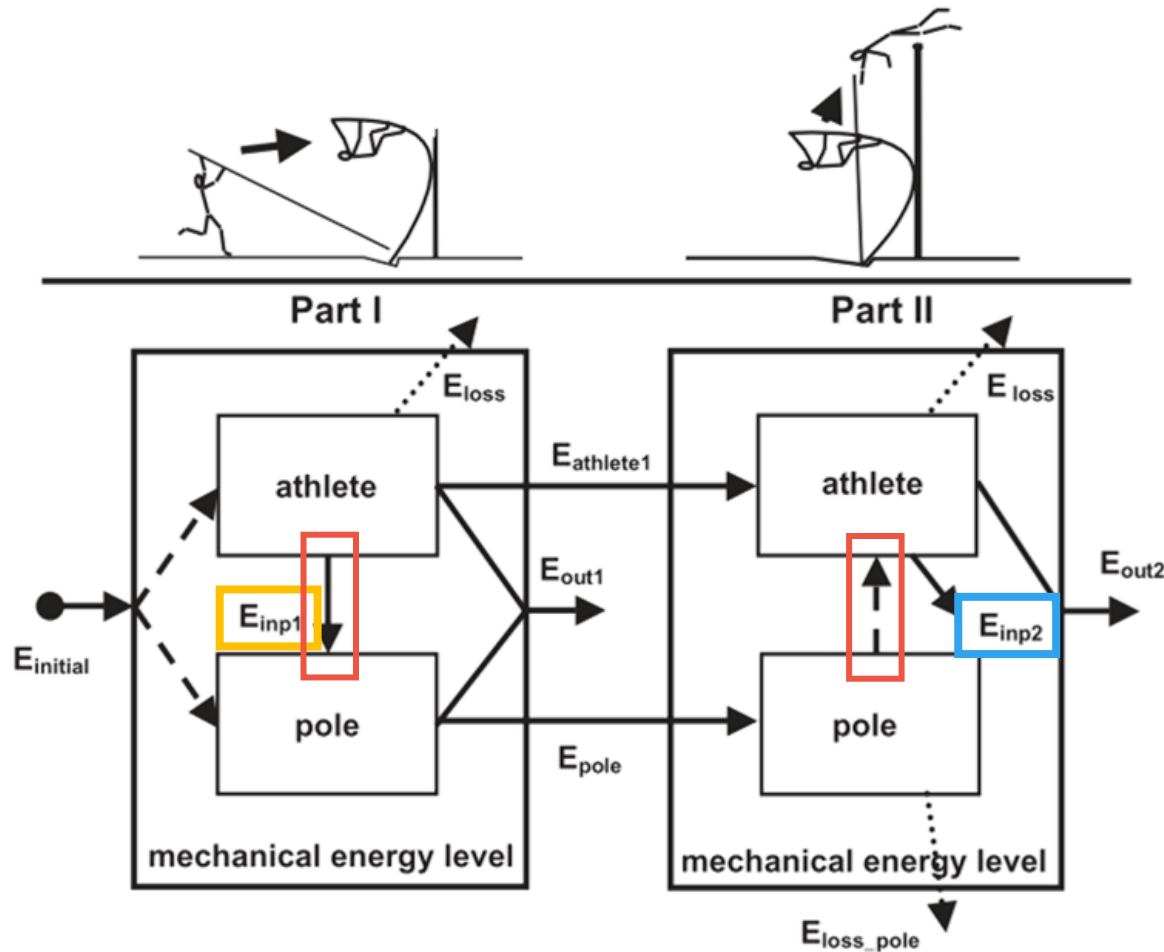
- $E_{p_{\text{plongeur}}} = Mg(h - h_{\text{min}})$
- $E_{c_{\text{plongeur}}} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{2} m_j v_j^2 + \frac{1}{2} I_j \omega_j^2$

Calcul des énergies du plongeur et du plongeoir



- Prise en compte de tous les nœuds
- Energie potentielle de déformation
- Energie cinétique du plongeoir

Etude énergétique du saut à la perche

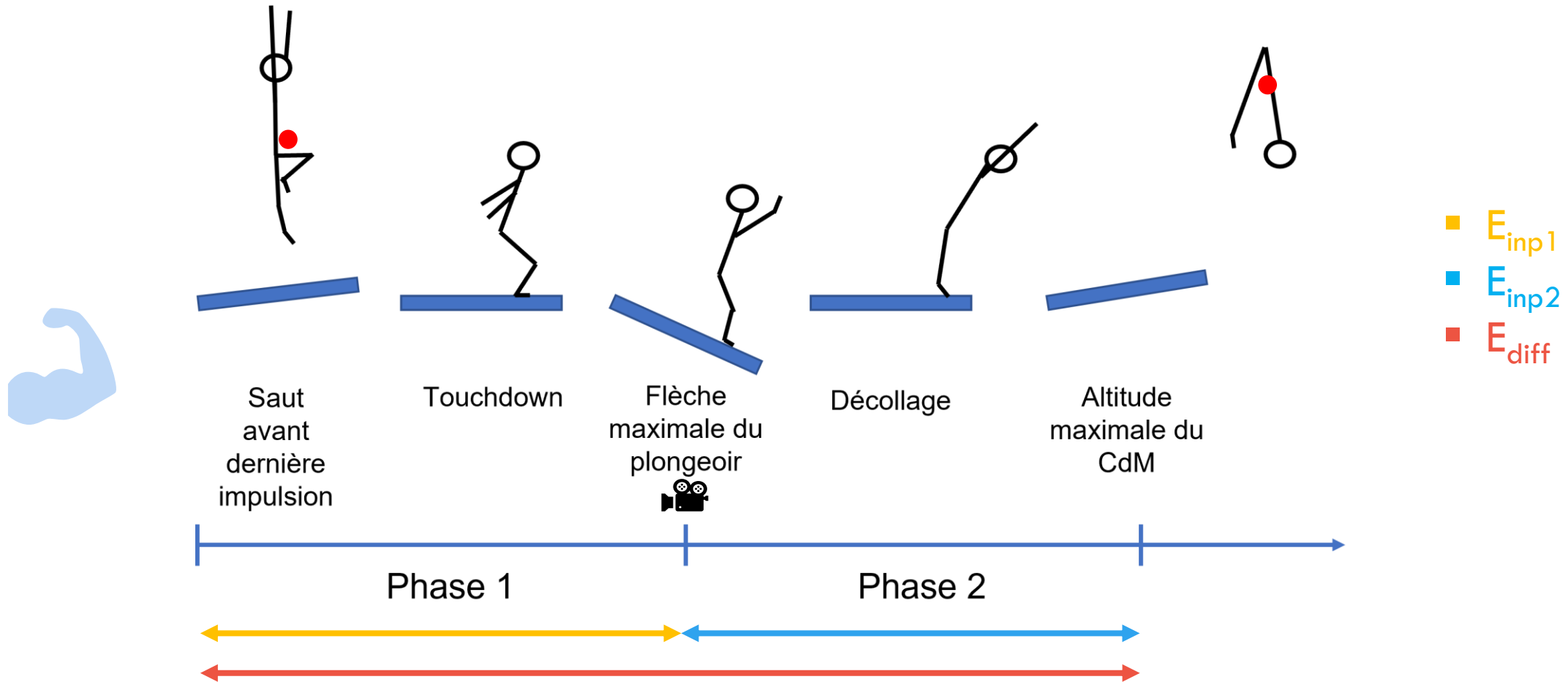


$$E_{inp1} = E_{out1} - E_{initial}$$

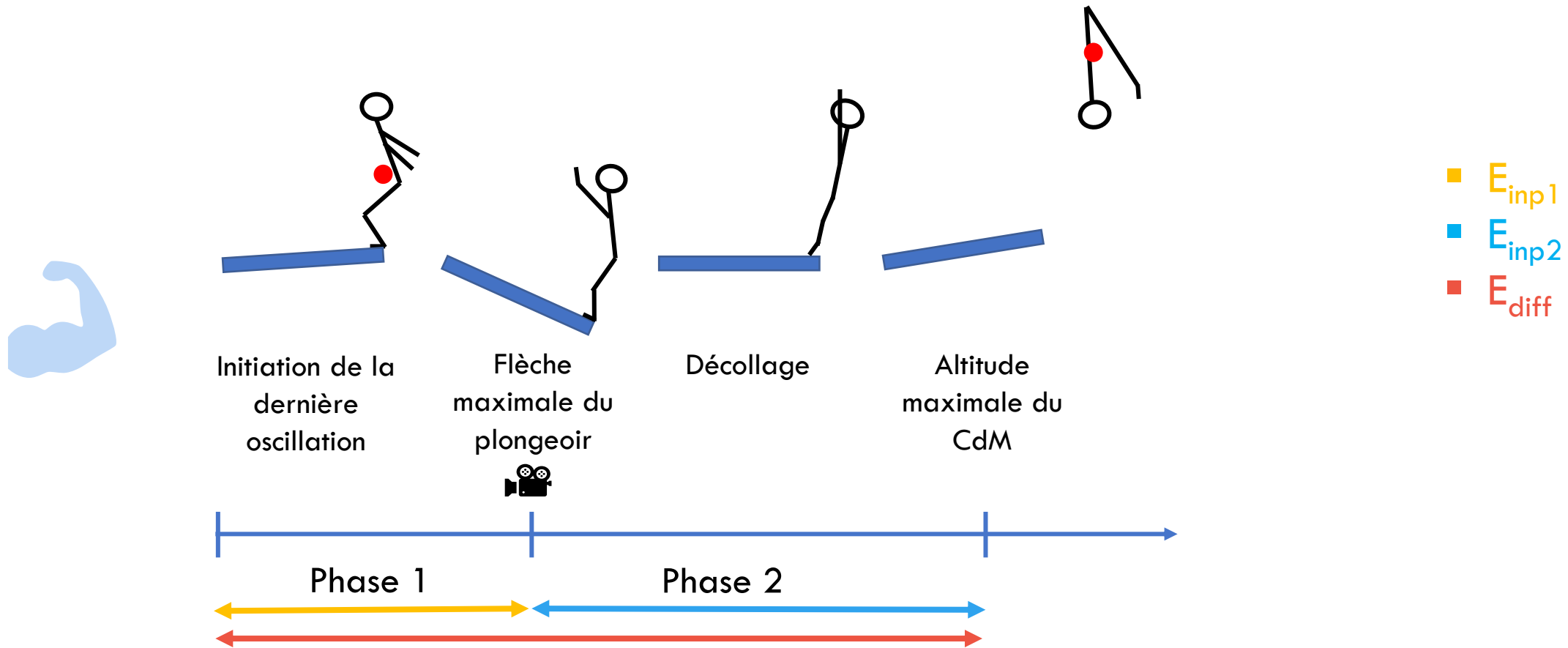
$$E_{inp2} = E_{out2} - E_{out1}$$

Etude énergétique du plongeon sur tremplin

– plongeurs avant

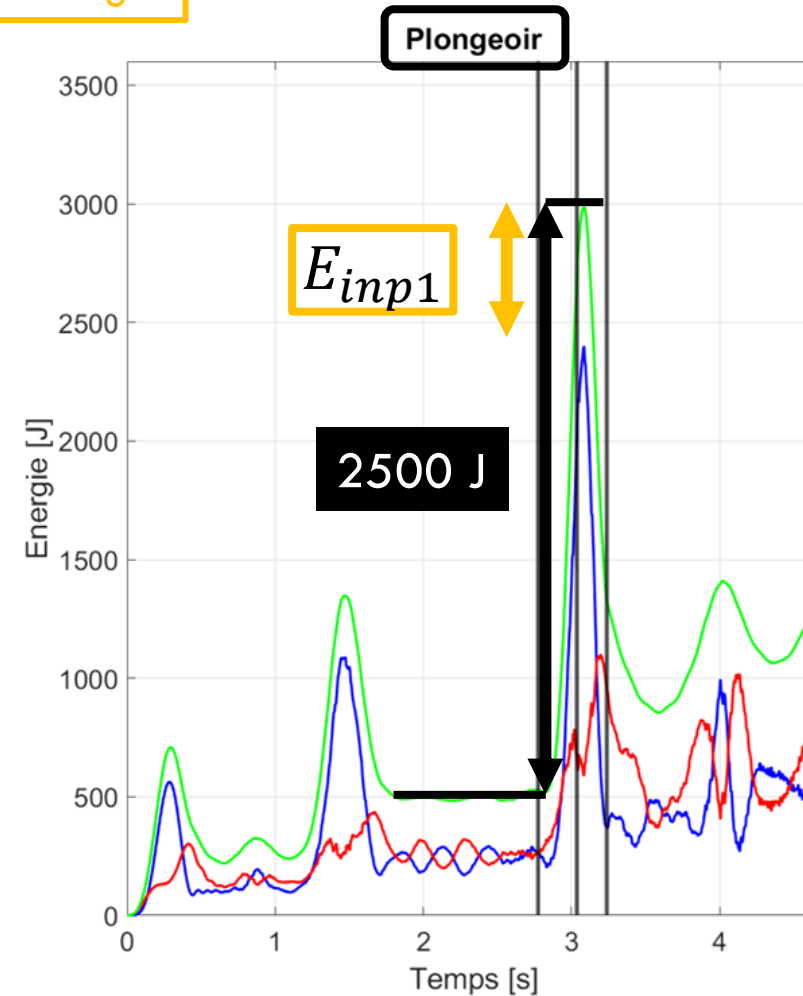
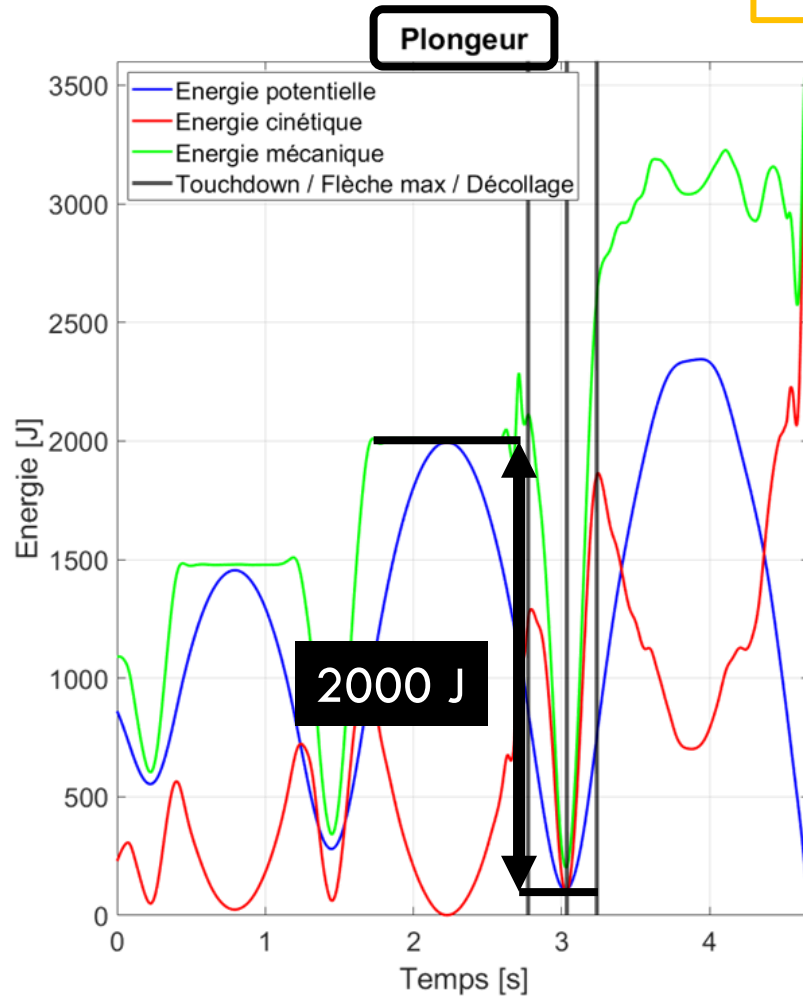


Etude énergétique du plongeon sur tremplin – plongeurs arrière

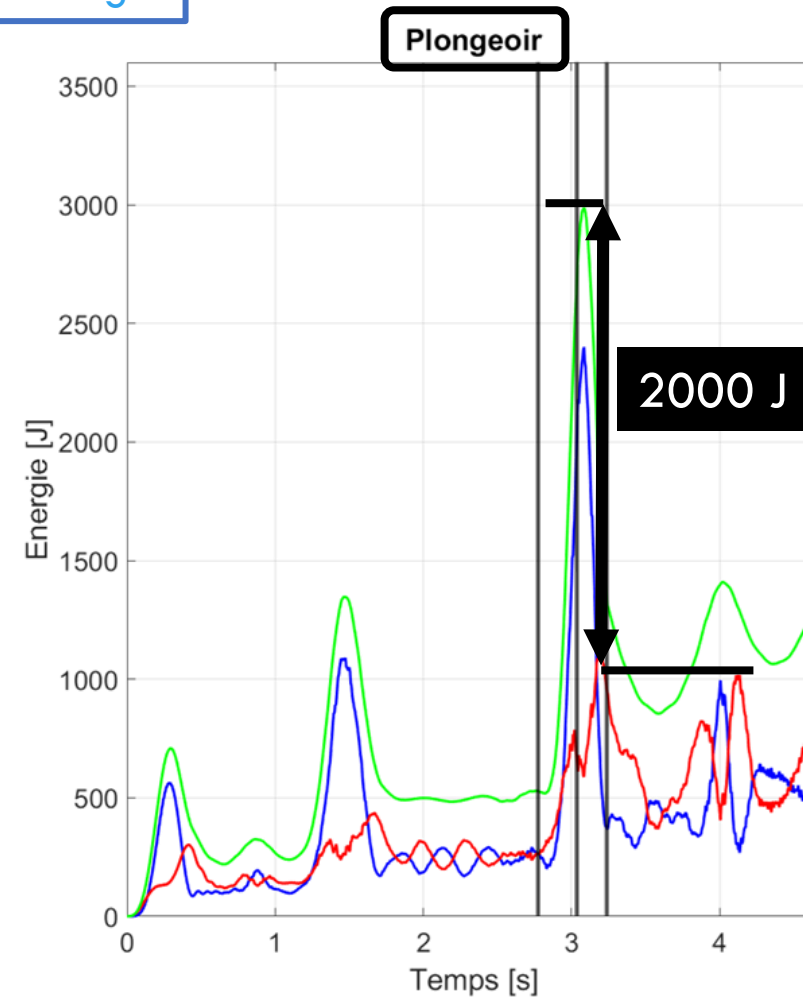
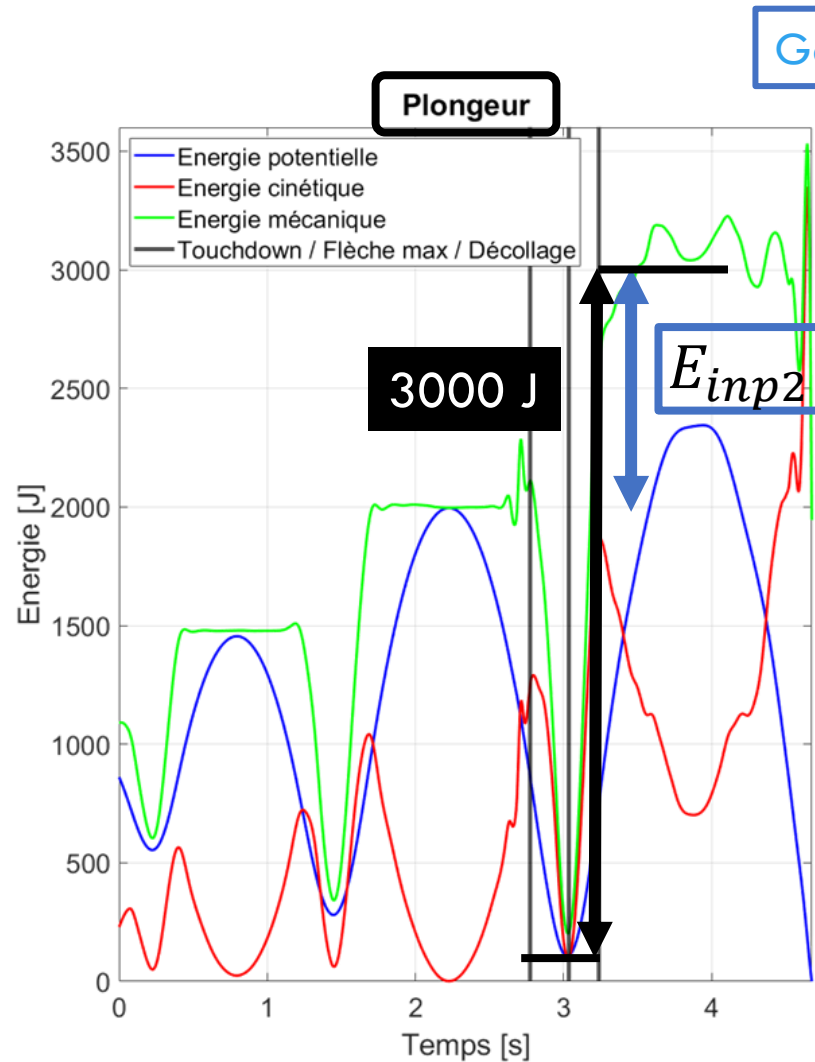


plongeurs avant – évolution des énergies

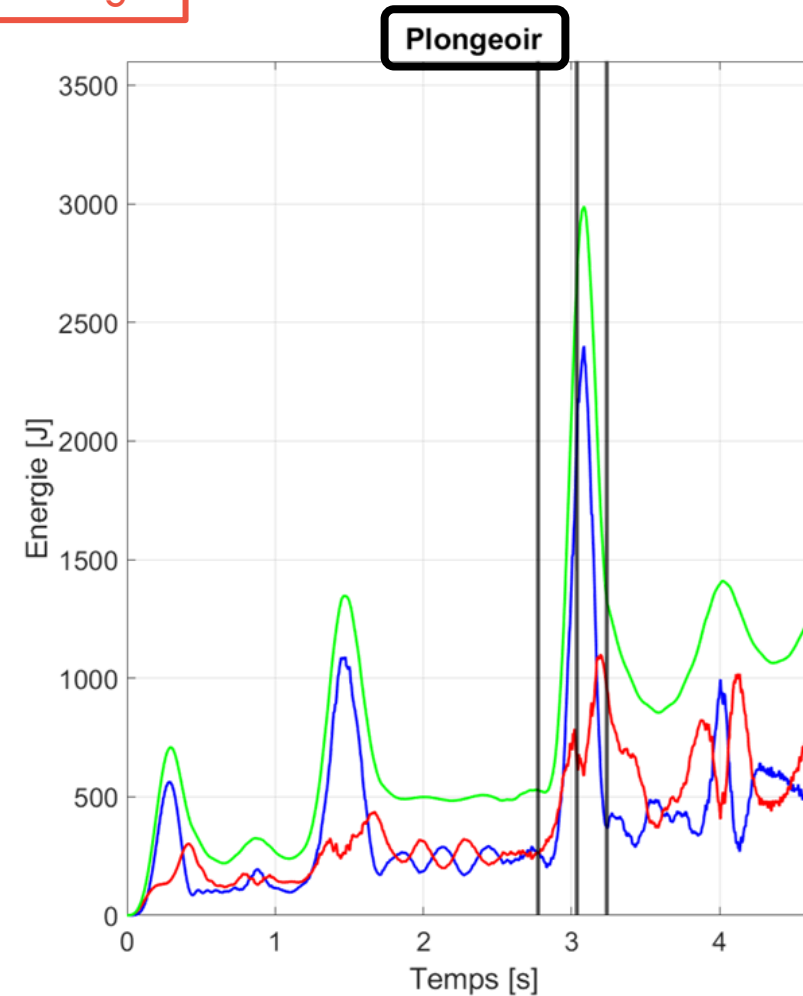
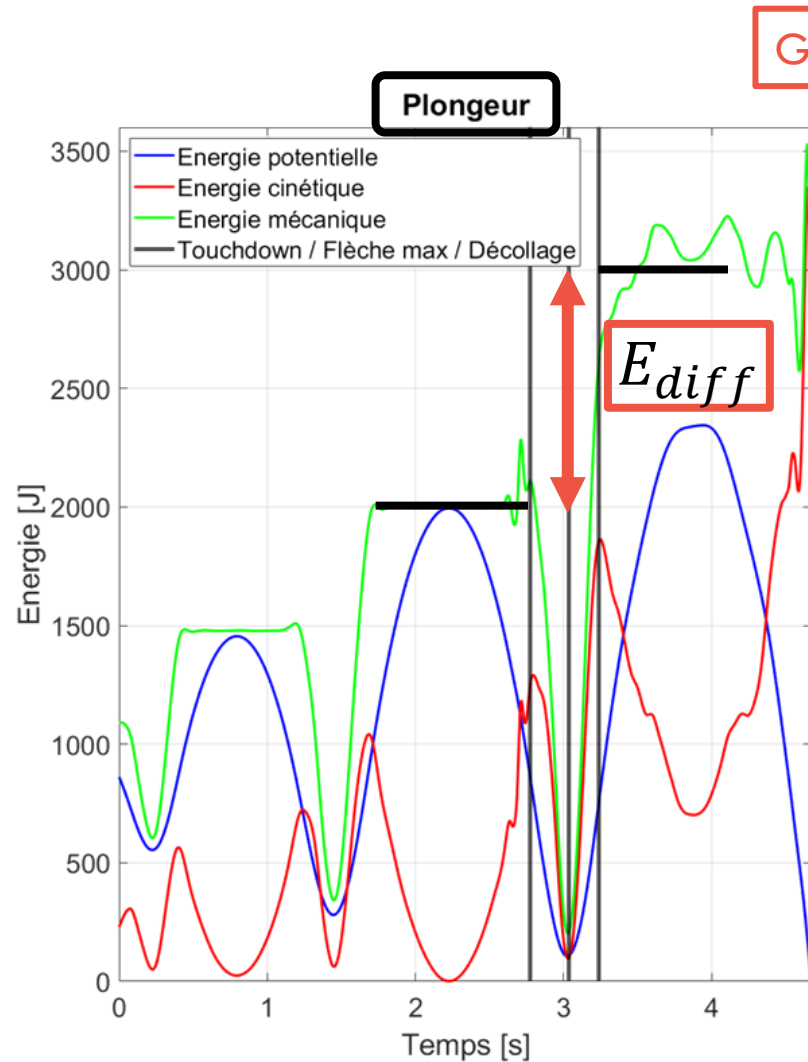
Gain d'énergie



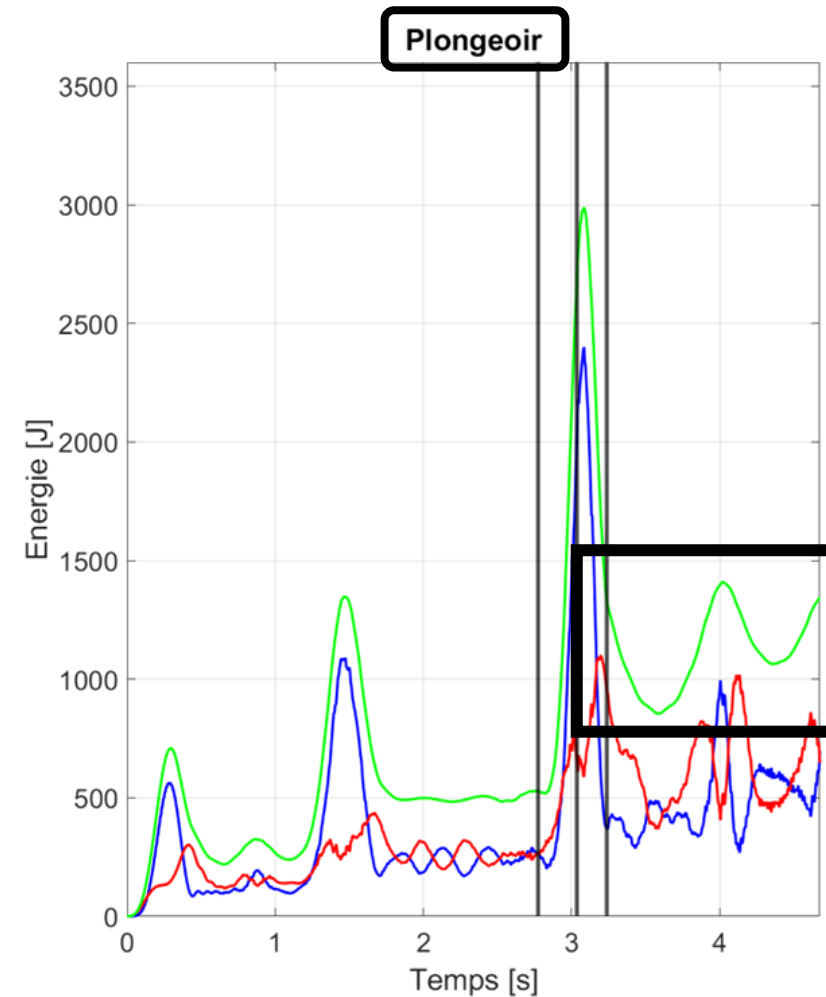
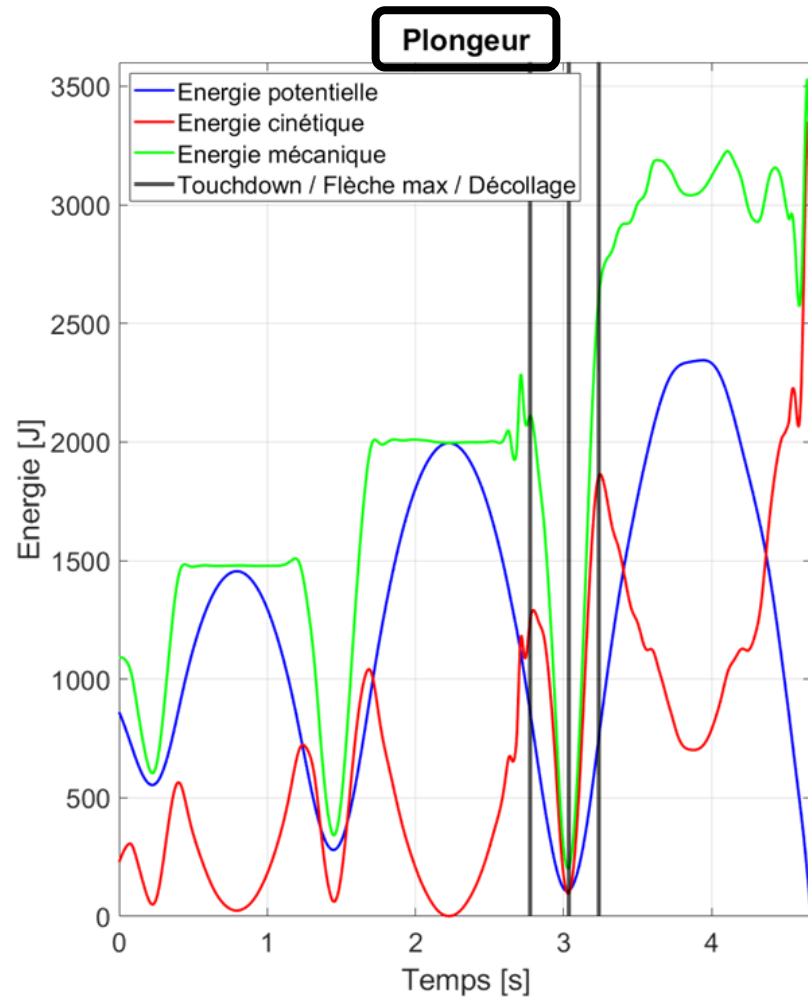
plongeurs avant – évolution des énergies



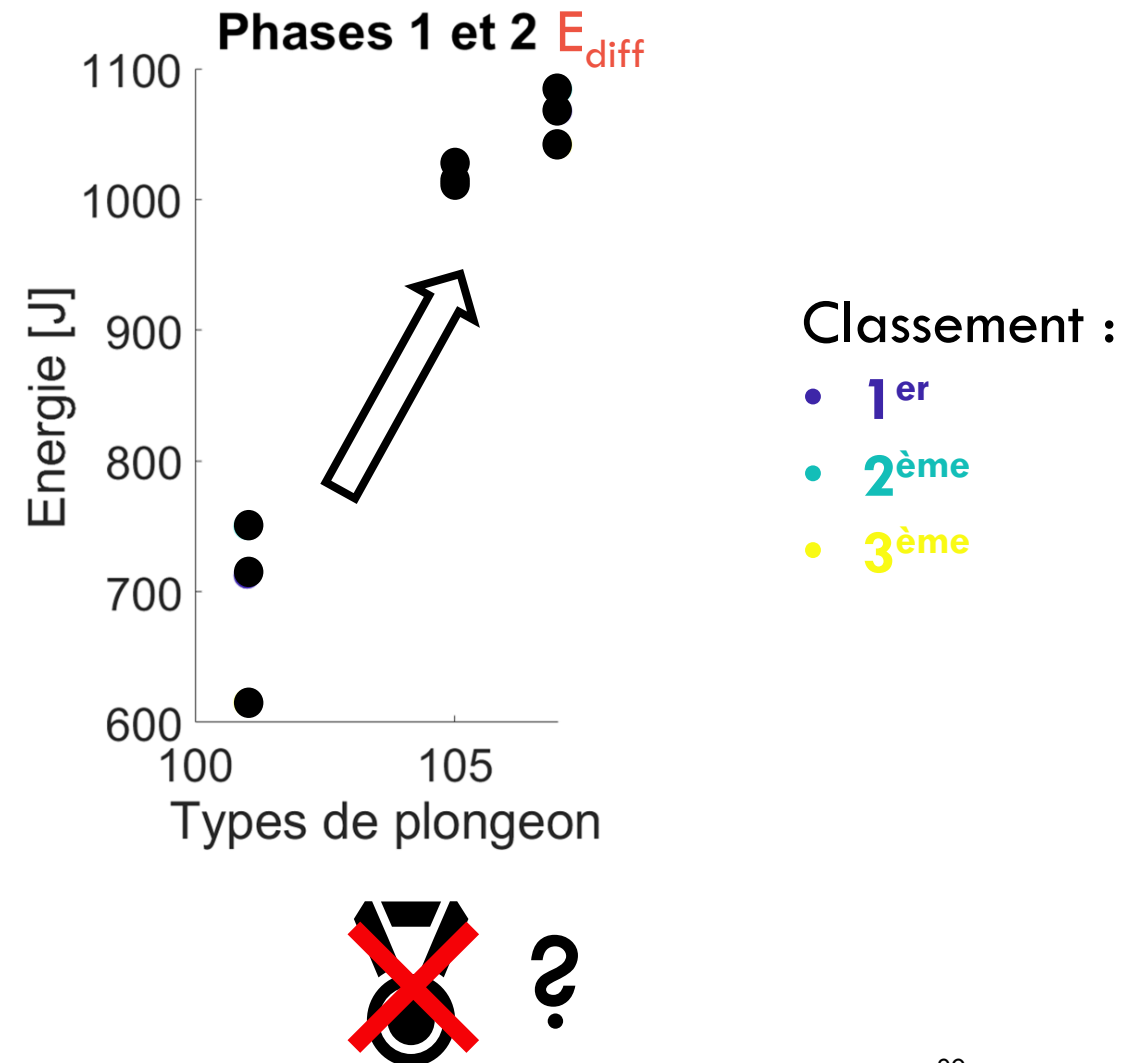
plongeurs avant – évolution des énergies



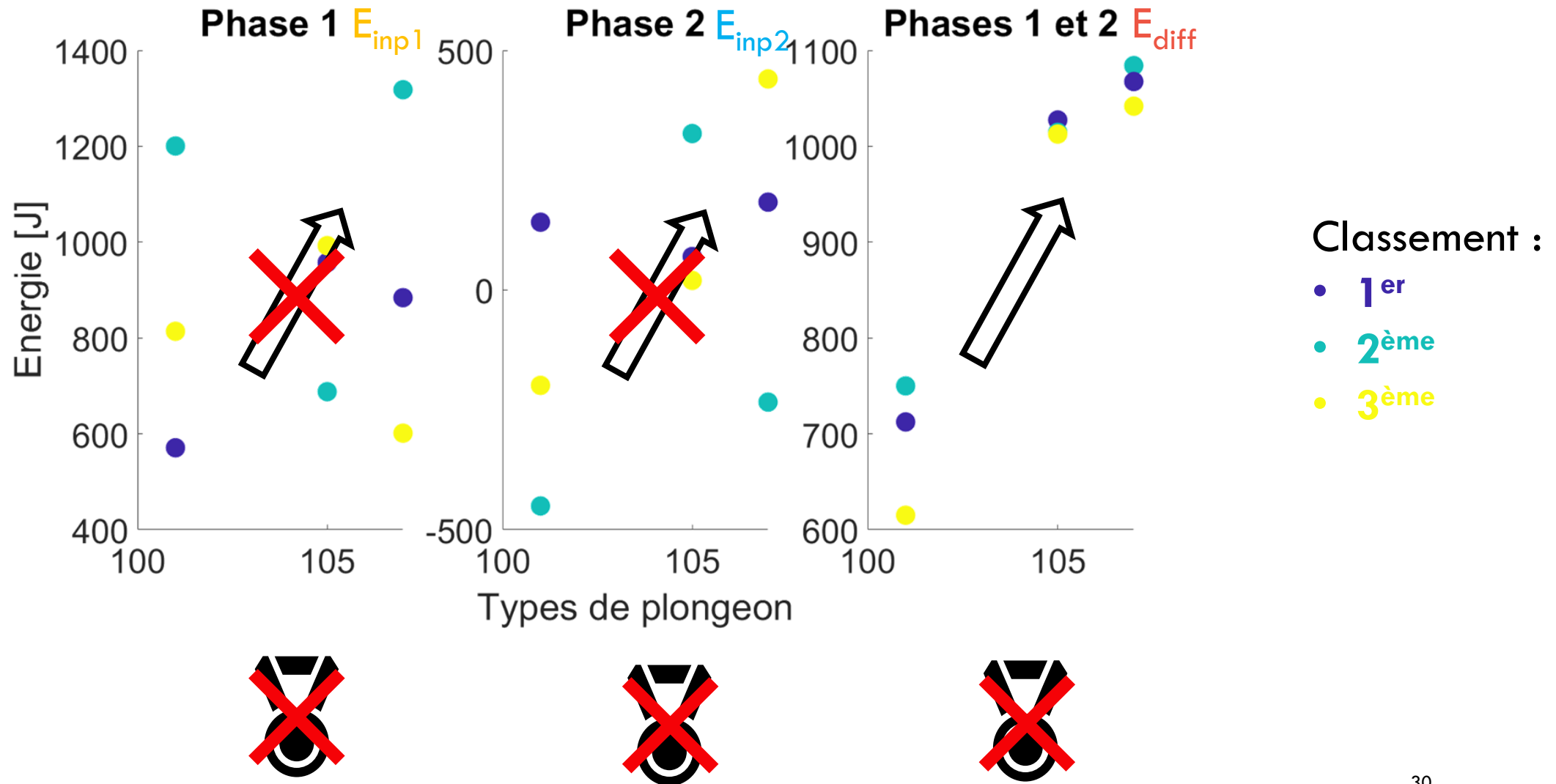
Plongeurs avant – évolution des énergies



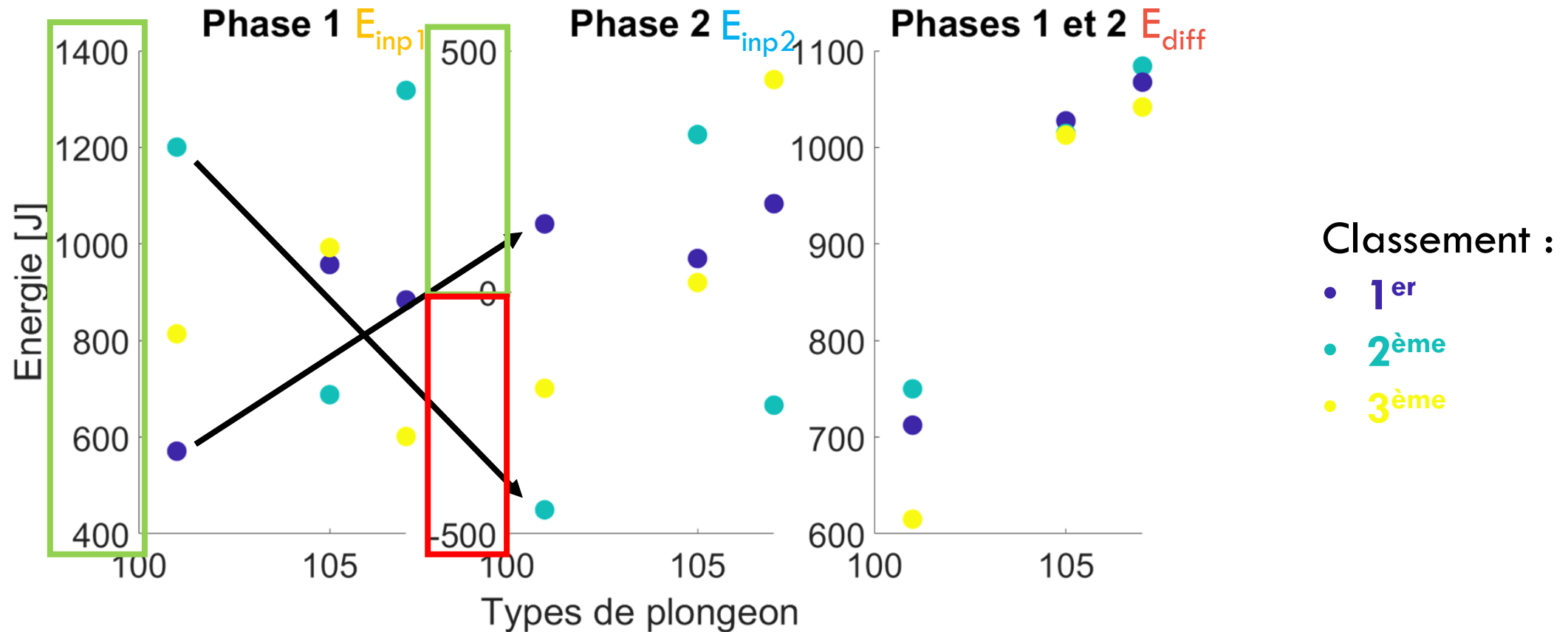
plongeurs avant – Critères énergétiques



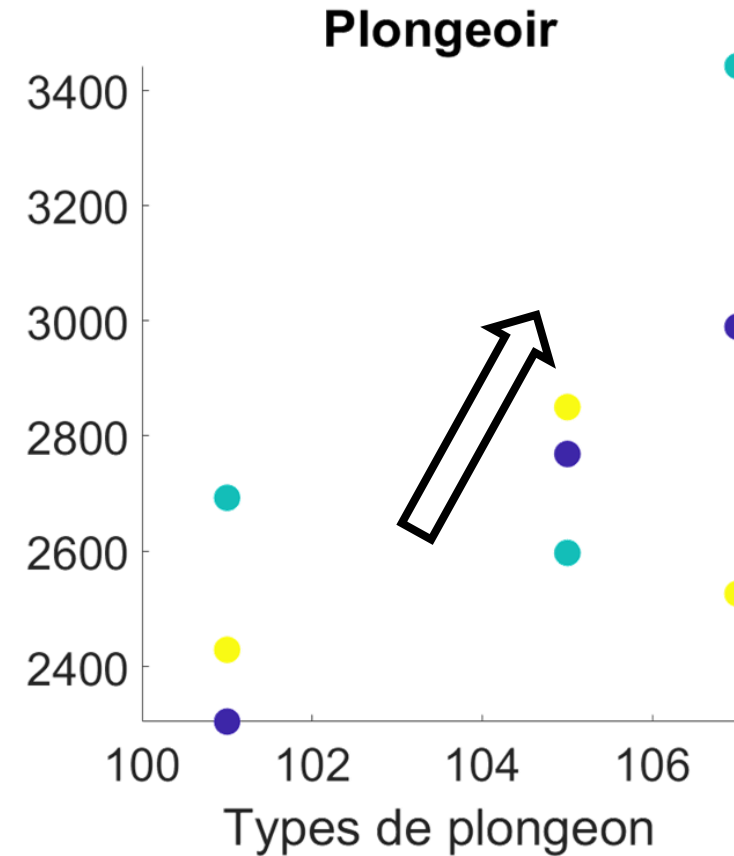
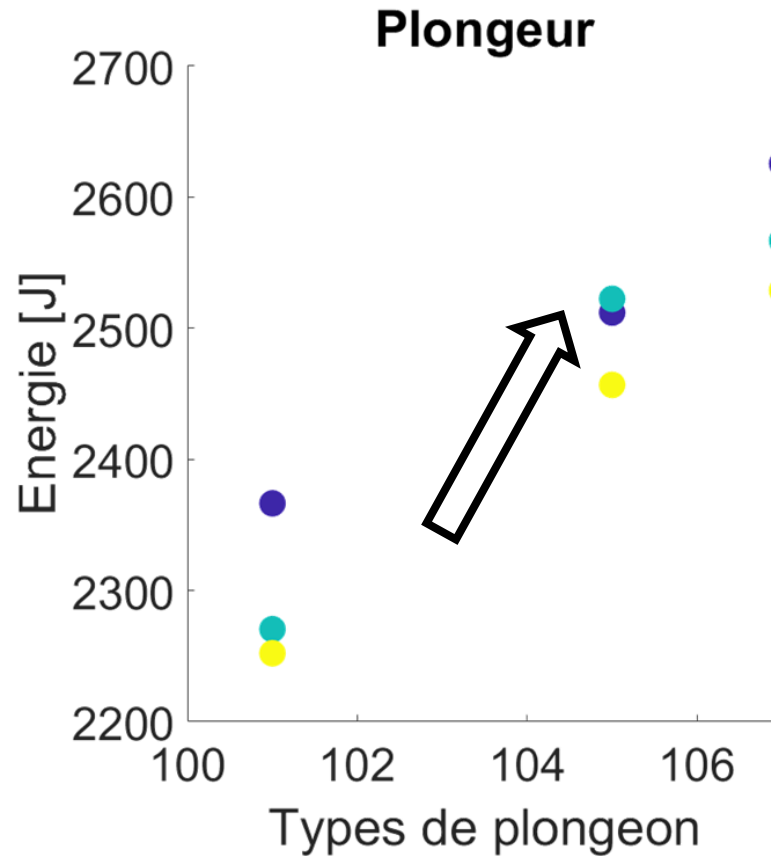
plongeurs avant – Critères énergétiques



plongeurs avant – Critères énergétiques



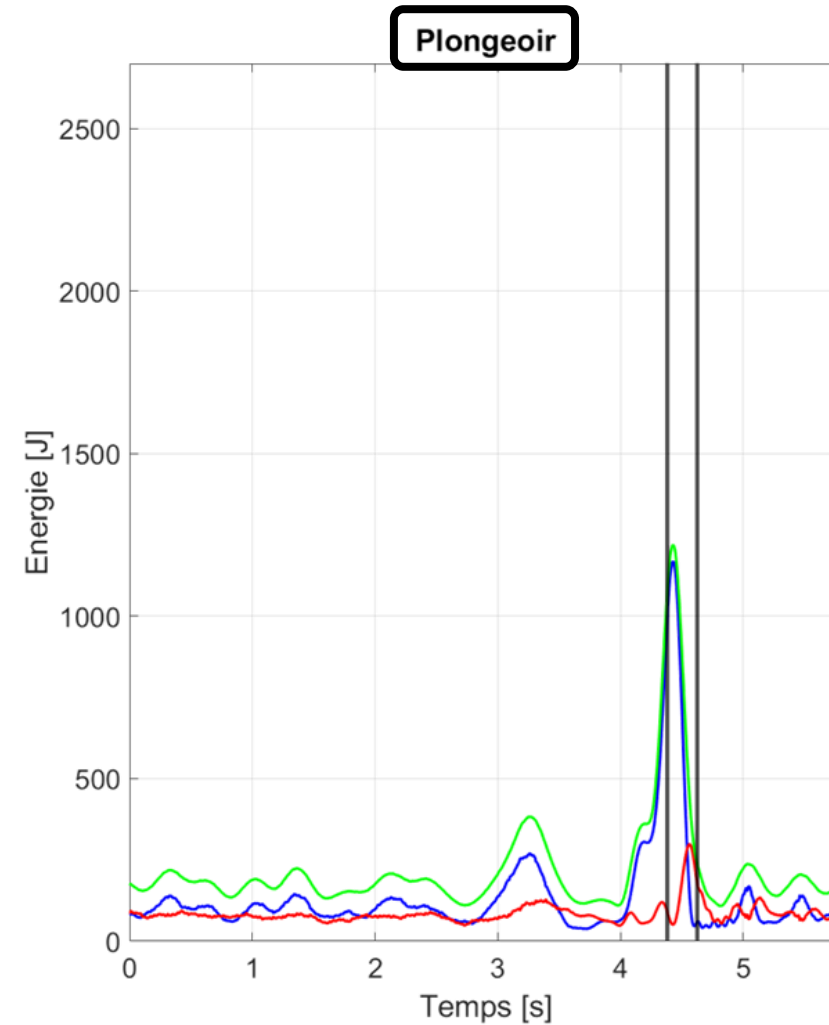
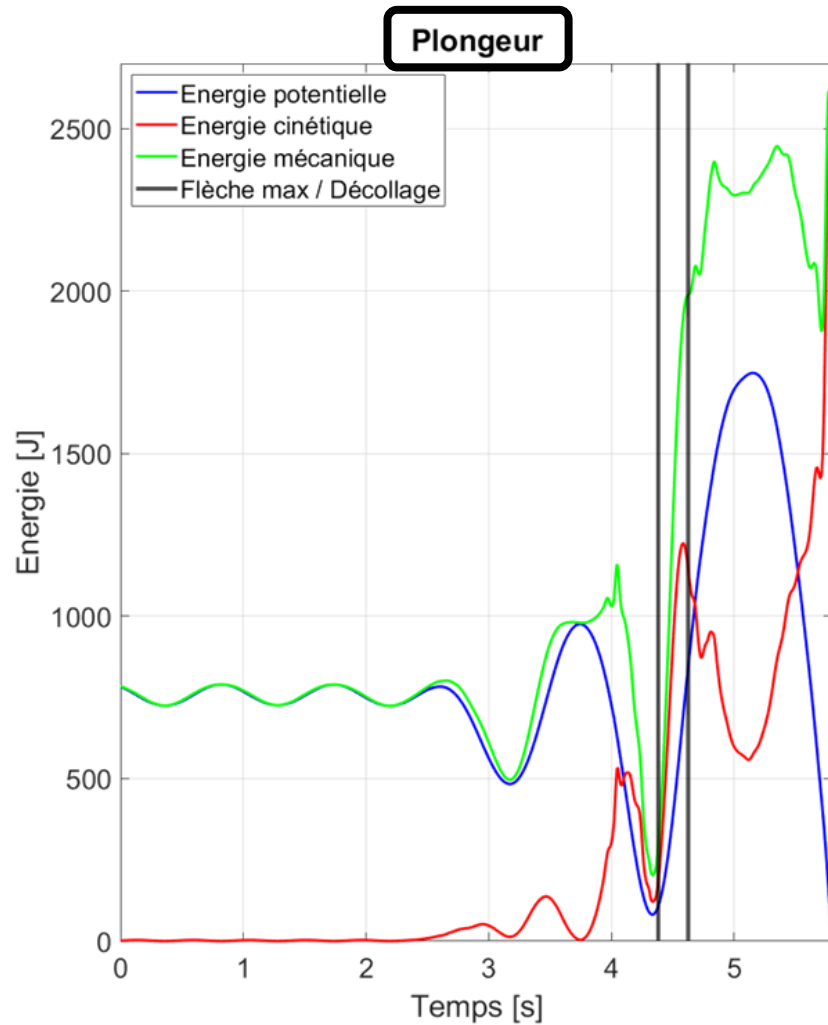
plongeurs avant – énergies maximales



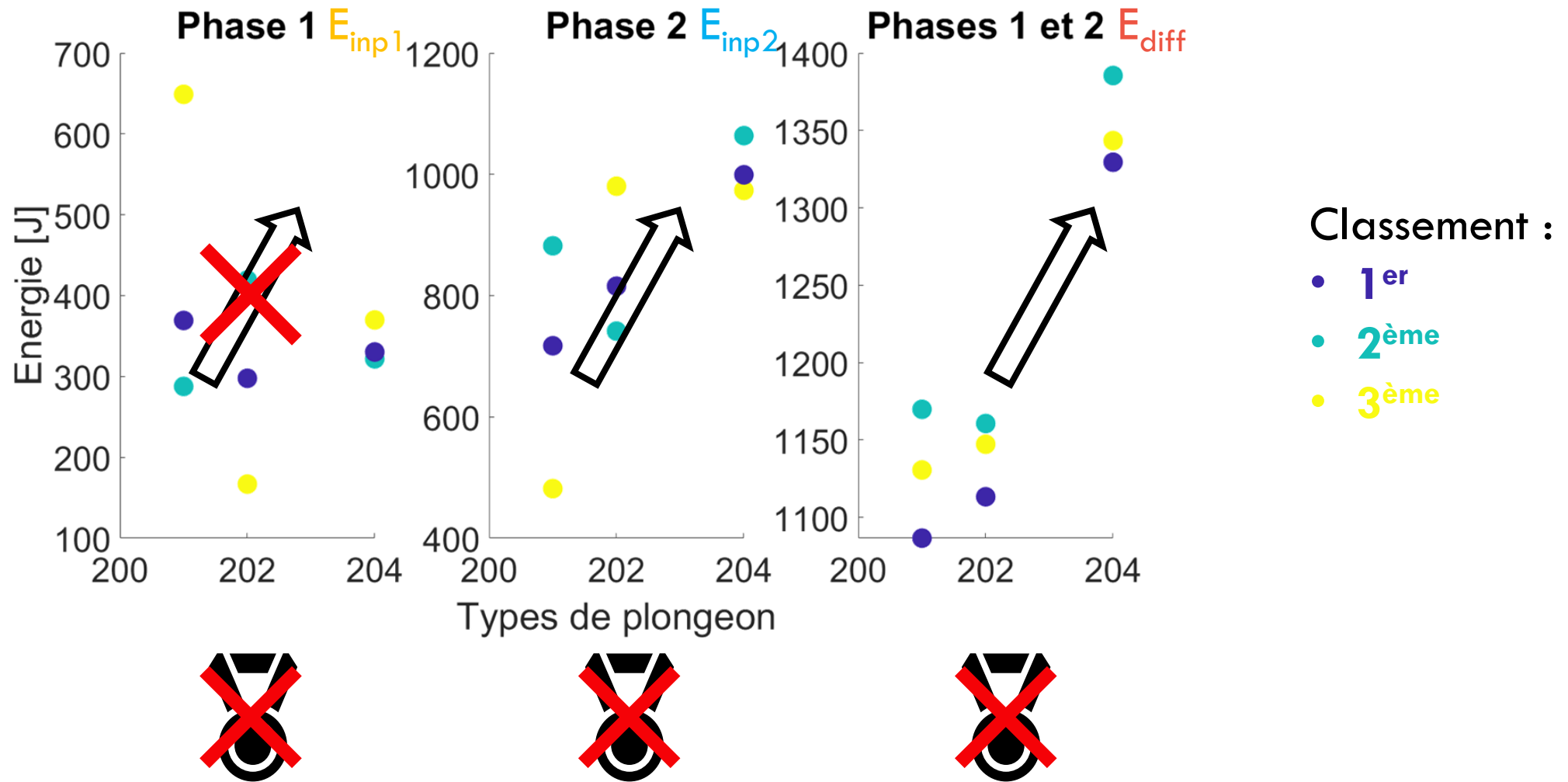
Classement :

- 1^{er}
- 2^{ème}
- 3^{ème}

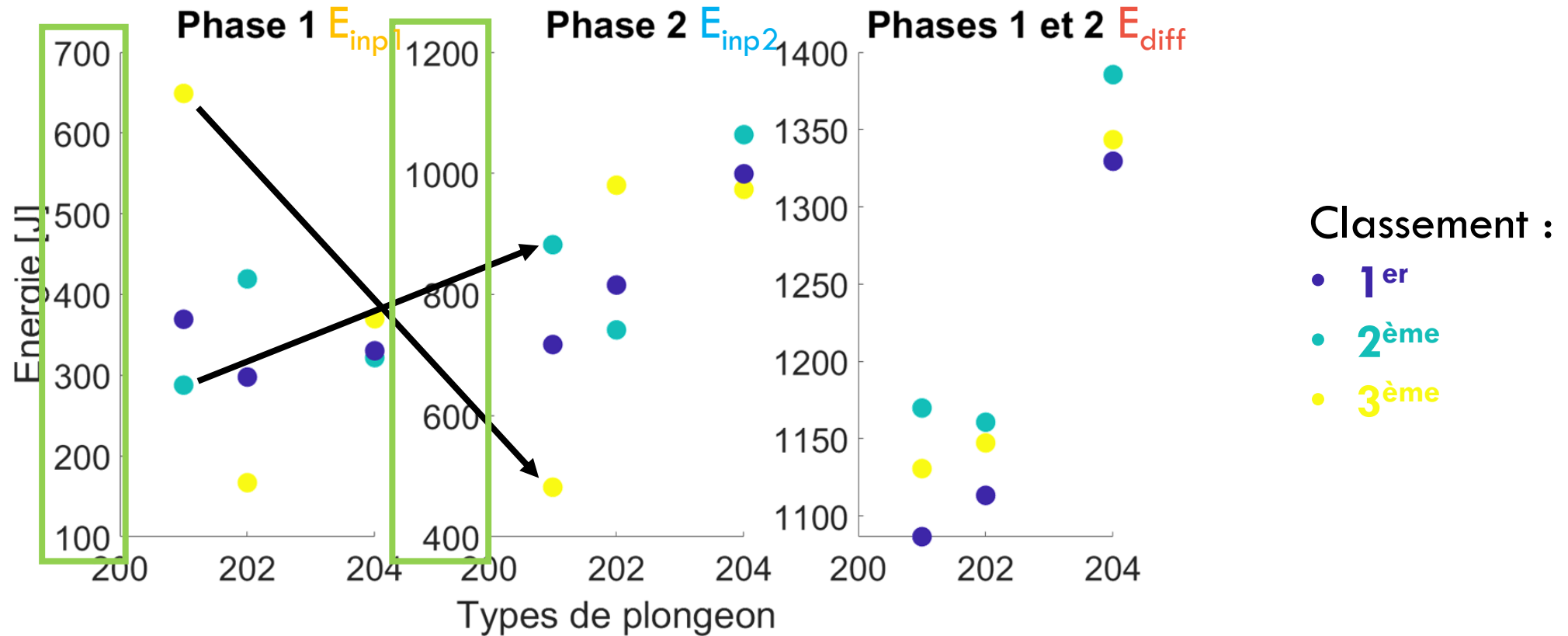
plongeurs arrière – évolution des énergies



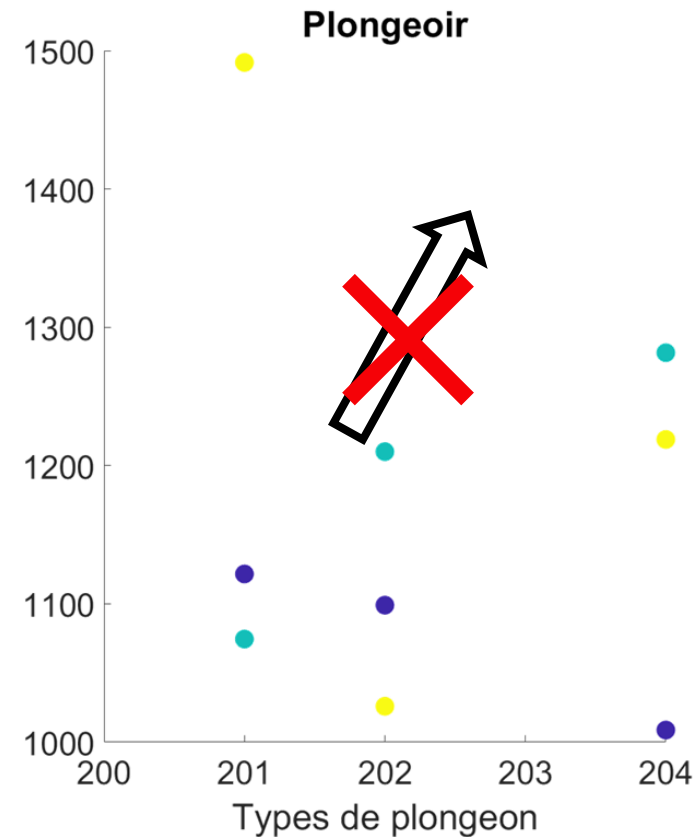
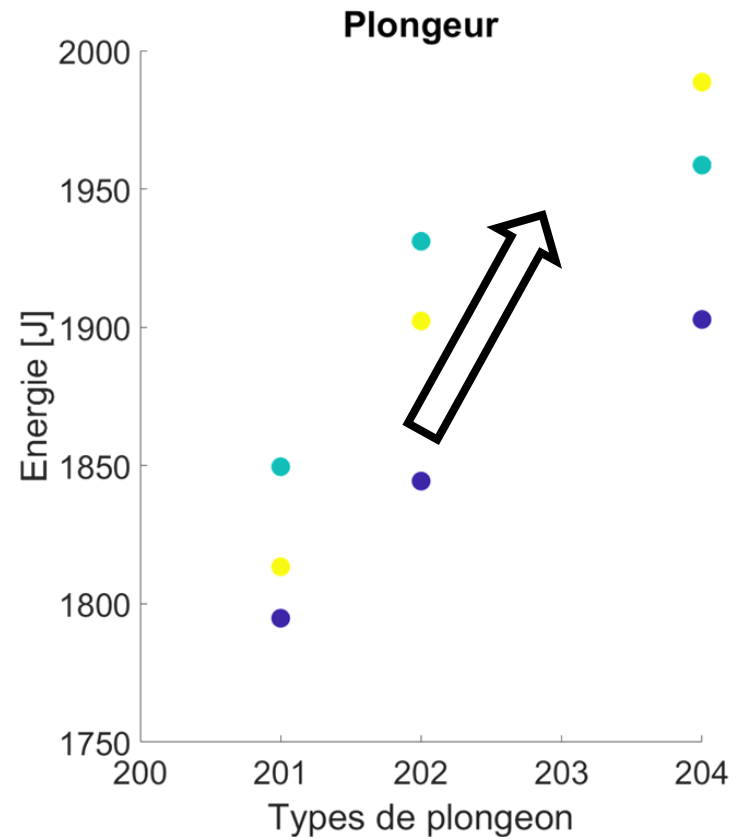
plongeurs arrière – Critères énergétiques



plongeurs arrière – Critères énergétiques



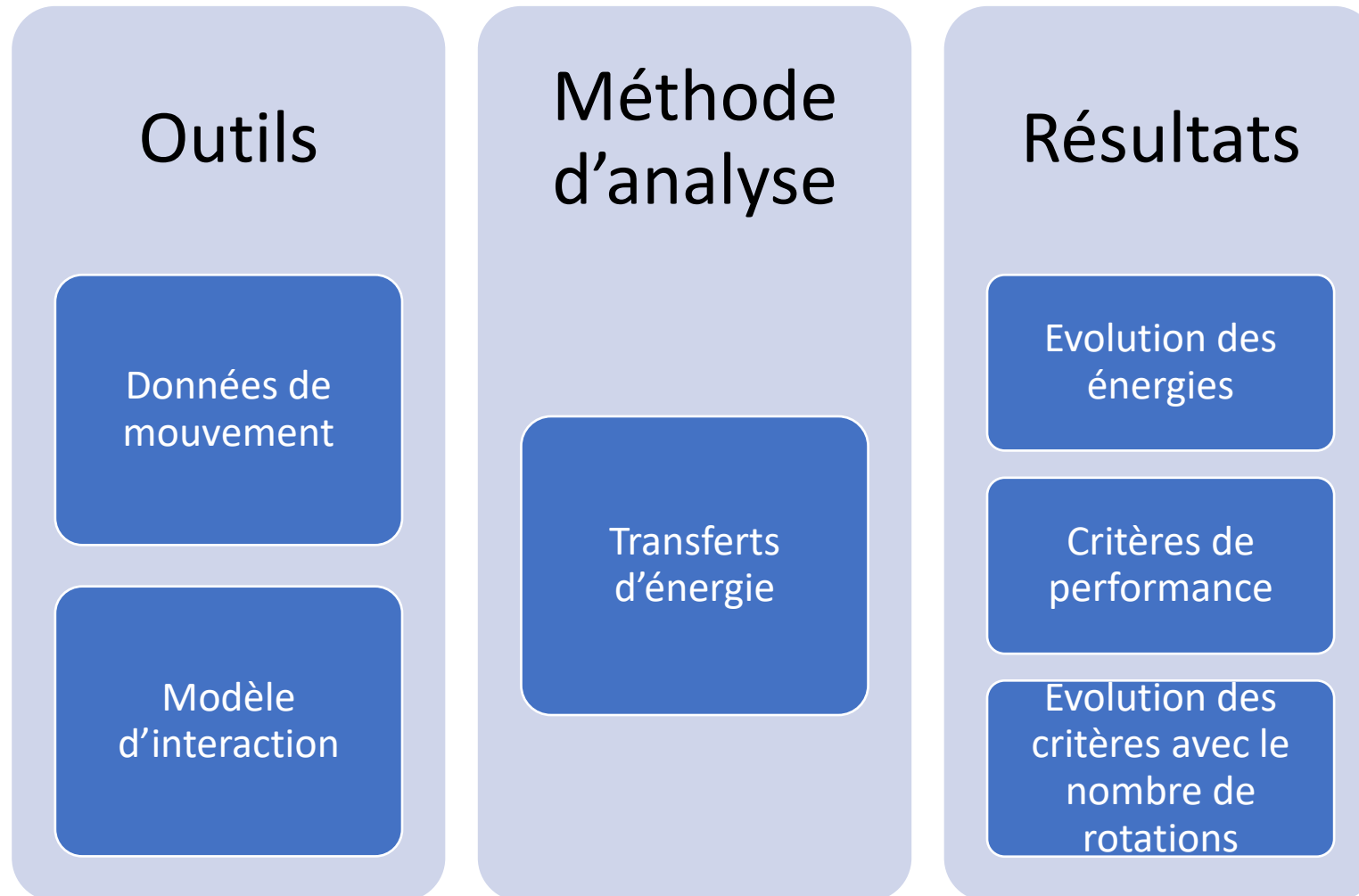
plongeurs arrière – énergies maximales



Classement :

- 1^{er}
- 2^{ème}
- 3^{ème}

Conclusion – Analyse de la performance

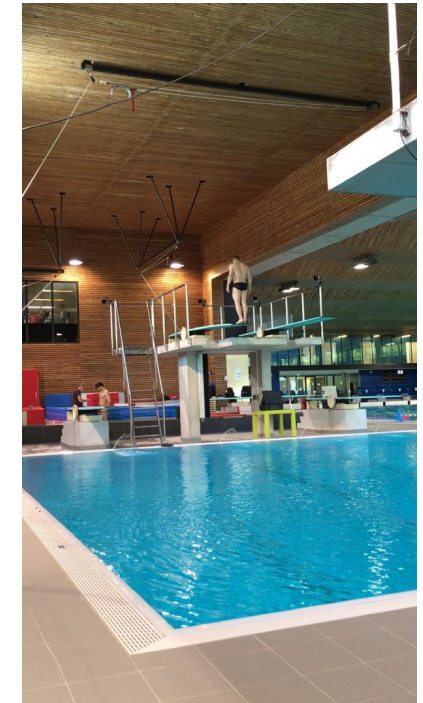
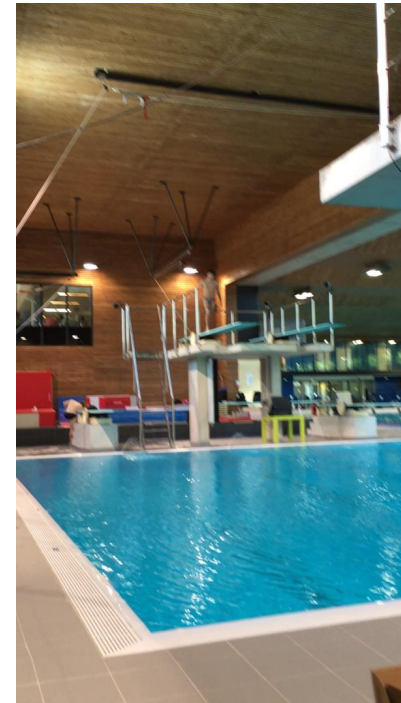


Conclusions & perspectives

Profils énergétiques des plongeurs de l'INSEP + moments cinétiques + ...

Corrélation avec la cinématique

Retours à l'entraineuse



Etude de la réception à la gymnastique (interaction gymnaste – tapis) → prévention des blessures

Interaction Gymnaste-Tapis

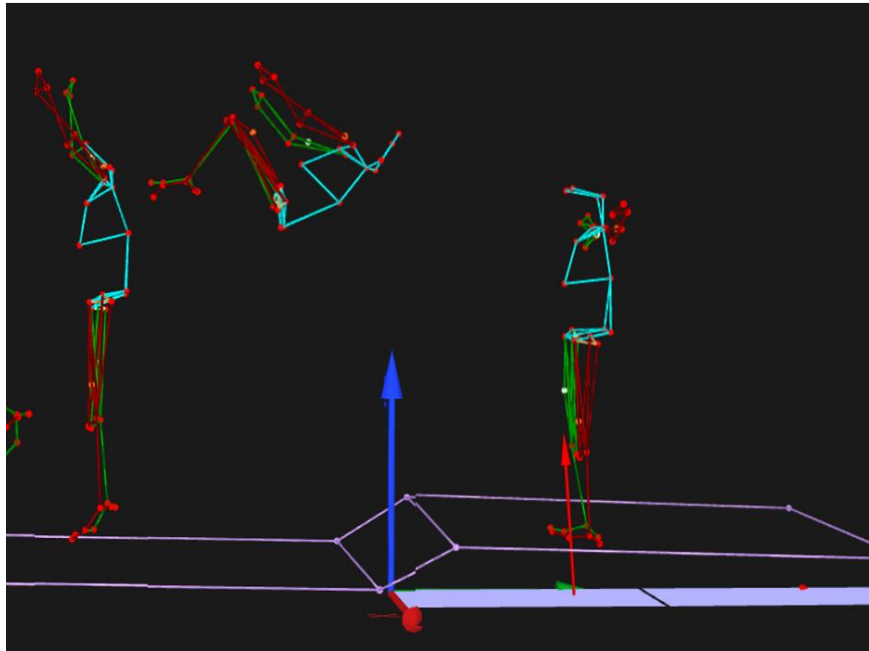


► Thèse de Rebecca Crolan



Prediction of low back load during gymnastics landings for the prevention and follow-up of athlete injuries

Rébecca Crolan, Diane Haering, Mathieu Ménard and Charles Pontonnier



<https://www.urgencedos.com/wp-content/uploads/2018/09/lumbago-lombalgie.jpg?x16441>

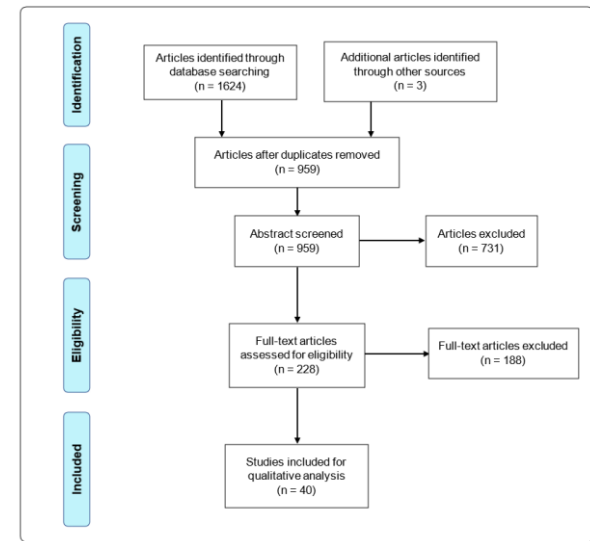
Review

❑ Gymnast landing strategy \neq other sport

❑ Drop landings **do not represent** gymnastic landings (Christoforidou et al. (2017))

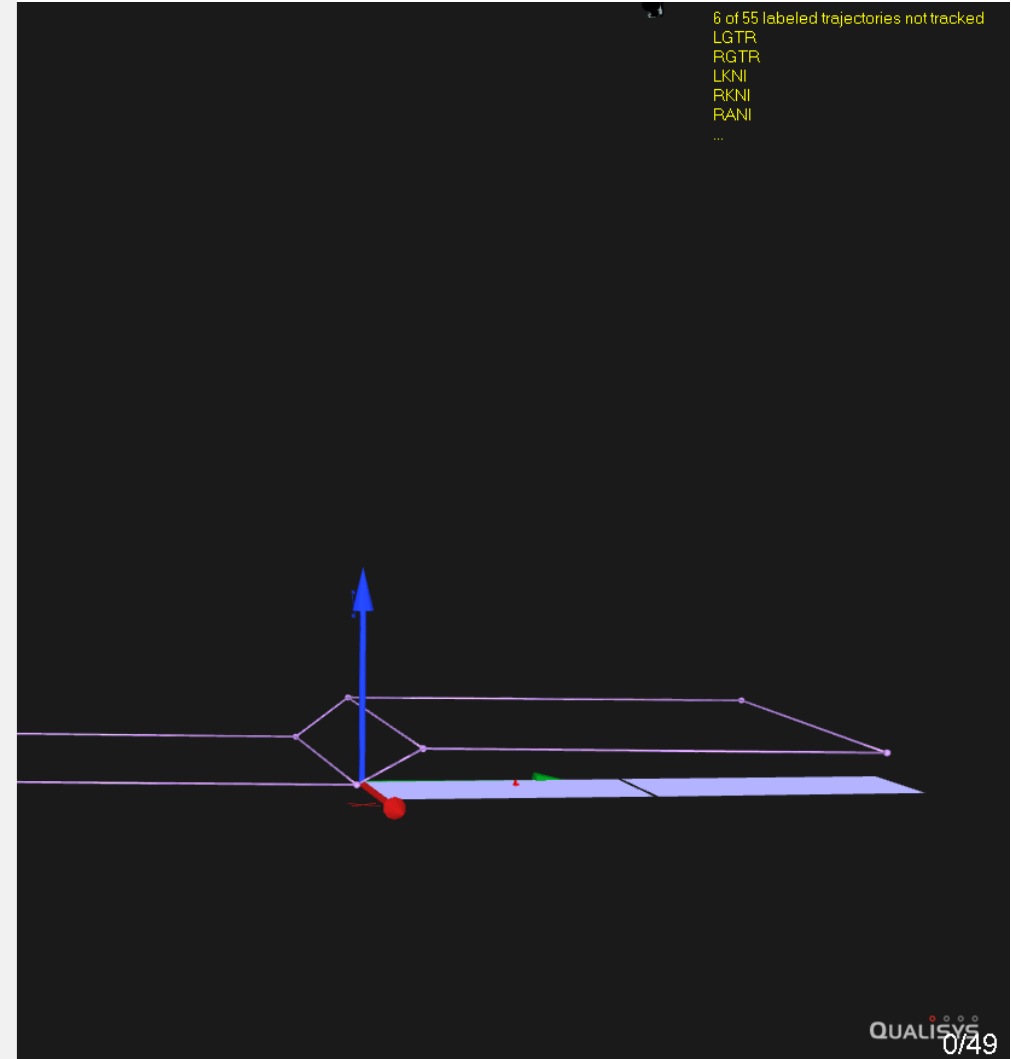
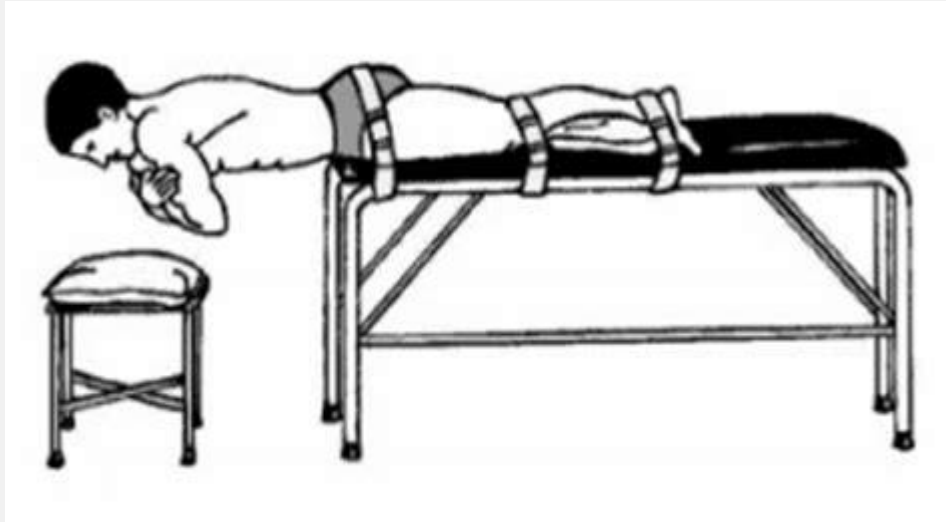
❑ Protocol without landing mat is not representative as well (Niespodziński et al. (2021))

❑ Study of **progressive** fatigue (Zhang et al. (2021))



Procedure

Sorensen Test



Data Analysis

Prediction

Develop a machine learning model to predict kinematics and kinetic moment, based on IMUs.

With reference to :



5 IMUs data



Motion Capture



Custom Modelisation

In progress

Fatigue Parameters

Study the variation of the landing strategy with the onset of fatigue.

With reference to :



Height of back somersault



Sorensen Test + RPE scale



EMGs data

Study Time Frequency Analysis with model develop in S2M laboratory, Fabien Dal Maso , Canada.

History of low back injury

(with Romane Bidet, osteopathy student)

Identify the relationship between the injury history and the landing strategy.

With reference to :



Health history questionnaire

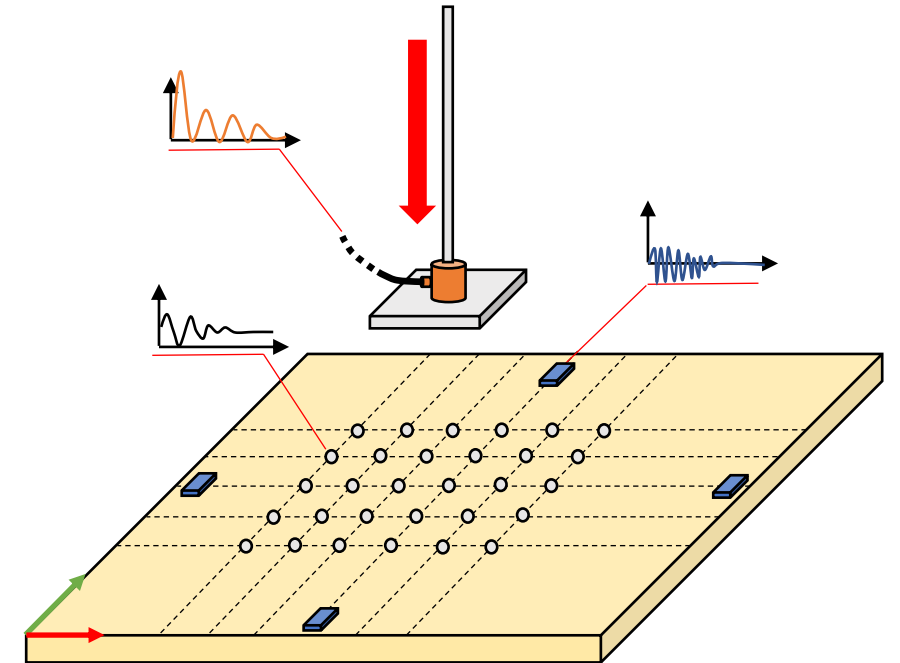


Sorensen Test + RPE scale



Landing strategy

Landing Mat caractérisation (Adrien Gaggioli internship)



Machine Learning based source localization (in collaboration with Mathieu Aucejo)

Interaction en biomécanique



©Össur

Brüggemann, G. P., Arampatzis, A., Emrich, F., & Potthast, W. (2008). Biomechanics of double transtibial amputee sprinting using dedicated sprinting prostheses. *Sports Technology*, 1(4-5), 220-227.

Rigney, S. M., Simmons, A., & Kark, L. (2017). Mechanical characterization and comparison of energy storage and return prostheses. *Medical Engineering & Physics*, 41, 90-96.

Makimoto, A., Sano, Y., Hashizume, S., Murai, A., Kobayashi, Y., Takemura, H., & Hobara, H. (2017). Ground reaction forces during sprinting in unilateral transfemoral amputees. *Journal of applied biomechanics*, 33(6), 406-409.

Frère, J., L'hermette, M., Slawinski, J., & Tourny-Chollet, C. (2010). Mechanics of pole vaulting: a review. *Sports biomechanics*, 9(2), 123-138.

Morlier, J., & Mesnard, M. (2007). Influence of the moment exerted by the athlete on the pole in pole-vaulting performance. *Journal of biomechanics*, 40(10), 2261-2267.

Frère, J., Sanchez, H., Vanhaesebrouck, R., & Cassirame, J. (2021). Effect of simplifying the body model to compute the energy parameters in pole vaulting. *Sports Biomechanics*, 1-13.

