EPITA – Rapport de mi-stage

Nom : XU David

Majeure : IMAGE

Entreprise d’accueil : Université de Montréal

Maître de stage : Felipe Verdugo

Responsable EPITA : Elodie Puybareau

Période de stage : 17 mars 2025 – 15 septembre 2025

Date du rapport : 16 mai 2025

Table des matières

[Chapitre 3 – Introduction (Draft) 3](#_Toc198046175)

## Chapitre 3 – Introduction (Draft)

Cette section présente le contexte général du stage. Le stage se déroule au sein du laboratoire de simulation et modélisation du mouvement de l’Université de Montréal (EKSAP), et s’inscrit dans un projet de recherche en vision par ordinateur appliquée à la capture de mouvements des doigts.  
L’objectif général est d’acquérir une expérience de terrain, de mettre en application les compétences en informatique et d’approfondir une approche scientifique expérimentale.

Le stage de fin d’études représente une étape essentielle dans le parcours de formation d’un ingénieur EPITA. Il permet d’appliquer concrètement les savoirs théoriques acquis durant le cursus, tout en se confrontant aux exigences du monde professionnel. Ce rapport porte sur un stage effectué au sein du laboratoire de simulation et modélisation du mouvement (EKSAP) de l’Université de Montréal (UdeM), dans un environnement de recherche interdisciplinaire.

L’objectif général de ce stage est le développement d’un outil de vision par ordinateur permettant de capturer sans marqueurs (*markerless*) les mouvements de doigts chez les pianistes. Ce sujet repose sur des problématiques complexes liées à la détection de structures fines en mouvement rapide, à l’optimisation de l’acquisition vidéo et à l’analyse biomécanique. Il s’inscrit dans un effort plus large du laboratoire pour rendre l’analyse du mouvement accessible et non-intrusive, notamment pour les domaines de la musique, de la santé et de l’ergonomie.

Le stage m’a permis de confronter mes connaissances théoriques (machine learning, traitement d’images, conception logicielle) à une application réelle. Il s’agit aussi d’une opportunité d’explorer un domaine pluridisciplinaire à la croisée de l’informatique, des sciences du mouvement et de la musique. Au fil des semaines, j’ai pu renforcer mon autonomie, ma rigueur scientifique et ma capacité à travailler dans un cadre international.

Ce rapport a pour but de présenter le cadre, les objectifs, le déroulement et les apports de ce stage. Il s’adresse à un jury d’enseignants et de professionnels souhaitant évaluer non seulement la pertinence technique du projet, mais aussi ma capacité à y apporter une réelle valeur ajoutée en tant que futur ingénieur.

Chapitre 4 – Sujet du Stage

Titre du sujet : Développement d’un outil de capture markerless des mouvements de doigts chez les pianistes.  
Ce projet a été proposé dans le cadre des recherches menées par le laboratoire EKSAP sur la modélisation du mouvement. Mon implication a commencé par une phase de discussion sur les outils techniques et la faisabilité d'une solution markerless.  
Le sujet est en lien direct avec mon cursus en informatique, notamment en traitement d’images et apprentissage automatique.

Le sujet de stage a été défini en collaboration avec le Professeur Felipe Verdugo, enseignant-chercheur à l’UdeM, spécialisé dans l’analyse du mouvement humain. Il s’agit d’un projet de recherche appliqué, centré sur l’implémentation d’un outil informatique permettant de détecter et d’analyser les mouvements de la main, sans nécessiter de capteurs physiques ou de marqueurs.

Le point de départ de ce projet a été une problématique pratique rencontrée dans les études de performance pianistique. La capture traditionnelle à base de marqueurs réflectifs, bien que précise, est contraignante et peu naturelle pour les musiciens. Une alternative markerless, utilisant des caméras vidéo et des algorithmes de vision, offrirait une solution plus légère, non invasive, et potentiellement utilisable en dehors des laboratoires.

Mon rôle a été défini très tôt comme étant à la fois exploratoire et implémentatif. Dès le début du stage, j’ai effectué une veille bibliographique sur les techniques existantes, telles que **MediaPipe**, **OpenPose**, **DeepLabCut**, et évalué leur pertinence pour notre cas d’usage. Cette phase m’a permis de comprendre les enjeux liés à la détection fine des articulations des doigts, les limitations des modèles existants, et les besoins spécifiques liés à la musique (vitesse, précision, occlusion...).

Une fois cette phase complétée, j’ai proposé une première architecture logicielle pour un prototype basé sur **MediaPipe Hands**, adaptée aux conditions expérimentales du laboratoire (multi-caméra, environnement contrôlé, mains partiellement cachées par le clavier). Ce choix a été validé lors d’échanges réguliers avec mon superviseur. Parallèlement, j’ai commencé à développer des scripts de capture synchronisée pour exploiter simultanément les caméras RGB et les systèmes optoélectroniques.

En complément du sujet principal, j’ai également été amené à m’intéresser à l’acquisition de données, à leur annotation, et à la préparation des tests expérimentaux. Ces tâches supplémentaires sont intégrées dans ma planification de stage, car elles ont un impact direct sur la qualité du système développé.

Chapitre 5 – Positionnement du Sujet

Le stage s’insère dans les activités de recherche du laboratoire sur la biomécanique du mouvement et les interfaces technologiques.  
La vision par ordinateur représente une alternative non-intrusive aux systèmes de capture traditionnels. Le projet pourrait à terme bénéficier à la recherche en pédagogie musicale, santé et ergonomie.

Le sujet de stage se situe à l’intersection de plusieurs domaines : vision par ordinateur, biomécanique, pédagogie musicale et interaction homme-machine. L’enjeu est de concevoir une solution logicielle capable de capter en temps réel les mouvements d’un pianiste de manière naturelle, sans équipement lourd ni contrainte matérielle.

**Dans le contexte de l’entreprise (UdeM / EKSAP)**, ce projet est intégré dans un axe de recherche du laboratoire visant à développer des méthodes d’analyse du mouvement adaptées aux activités complexes comme la musique ou la danse. Le but est de comprendre comment le mouvement influence la performance, la fatigue ou l’apprentissage. L’outil markerless répond à un besoin concret : capter des mouvements dans des environnements où l’utilisation de marqueurs est soit impossible, soit perturbatrice.

**Marché et environnement concurrentiel** : la vision markerless appliquée à la biomécanique est un domaine en expansion, avec des applications allant de la télémédecine au sport de haut niveau. Des solutions commerciales existent, mais peu sont adaptées aux contraintes de la musique (détection des doigts, précision millimétrique, gestuelle rapide). Le projet se positionne donc comme une preuve de concept innovante, académique, mais avec des perspectives d’application.

**Lien avec les équipes du laboratoire** : mon travail s’intègre aux projets existants et complète les dispositifs matériels en place. Il entre dans une logique de validation croisée, en comparant les résultats de l’outil markerless avec ceux du système de capture optoélectronique existant. Cette comparaison permettra de juger de la précision du modèle et d’éventuellement proposer des corrections ou des calibrations.

**Lien avec la stratégie long terme** : le développement de solutions autonomes et accessibles est au cœur de la roadmap du laboratoire. À terme, ces outils pourraient être mis à disposition de chercheurs extérieurs, voire d’écoles de musique. Le projet participe donc à la valorisation scientifique de l’infrastructure du laboratoire.

**Lien avec ma formation EPITA** : ce sujet met en œuvre des compétences directement acquises dans ma majeure, notamment en traitement d’images, machine learning, développement logiciel, mais aussi en structuration de projet, documentation et validation expérimentale.

Chapitre 6 – Déroulé du Stage

Réalisation (mars – mai) :  
- Revue de littérature (10%)  
- Début de développement de l’outil markerless (50%)  
- Coordination avec les outils de capture optoélectroniques  
  
Prévisionnel (mai – septembre) :  
- Acquisition de données synchronisées  
- Analyse comparative avec marqueurs  
- Rapport et soutenance finale  
  
Diagramme de Gantt : à insérer ici (voir outil MS Project / GanttProject)

Chapitre 7 – Démarche d’Ingénieur (Draft)

La méthodologie employée repose sur une approche itérative inspirée des pratiques agiles : analyse des besoins, prototypage rapide, tests, validation.  
Les outils utilisés incluent Python, OpenCV, Mediapipe. J’ai dû adapter les algorithmes aux conditions expérimentales réelles.

Dès le début du stage, j’ai adopté une démarche structurée basée sur des cycles courts : exploration, test, validation. Cette approche s’inspire des méthodes agiles utilisées dans les projets logiciels. Chaque semaine a été organisée autour d’un objectif technique clair, validé avec mon encadrant.

**Choix techniques** : j’ai évalué plusieurs solutions open source. Mon choix s’est porté sur **MediaPipe Hands**, pour sa légèreté, sa documentation et sa facilité d’intégration. J’ai néanmoins identifié des limites dans certains contextes (occlusion par les touches, vitesse d’exécution). J’ai alors combiné différentes méthodes (post-traitement, interpolation) pour améliorer la robustesse.

**Adaptation aux contraintes du projet** : j’ai dû tenir compte des contraintes liées à l’environnement expérimental. Par exemple, la faible luminosité, les reflets, ou la complexité du fond visuel (mains en mouvement sur fond noir) ont nécessité des ajustements spécifiques au niveau du traitement vidéo.

**Interaction avec l’équipe** : j’ai été en lien régulier avec les membres du laboratoire pour ajuster mon travail aux besoins du projet global. Nous avons co-construit un protocole expérimental. J’ai également pris en charge la documentation du code pour assurer sa réutilisabilité par les autres chercheurs.

**Validation expérimentale** : j’ai défini des métriques de performance (temps de traitement, précision des points clés) et mis en place un système d’évaluation semi-automatisé pour comparer les données markerless et optoélectroniques.

Cette démarche m’a permis de gagner en maturité professionnelle, de mieux structurer mes choix et de développer une approche rigoureuse de l’expérimentation et du développement.

Chapitre 11 – Annexes (Draft)

- Présentation du laboratoire EKSAP  
- État de l’art initial (références bibliographiques sur OpenPose, DeepLabCut, etc.)  
- Extraits de code ou captures d’écran  
- Diagrammes explicatifs