

Analyse de l'activité motrice à partir de traces corporelles : une approche réflexive fondée sur le dispositif de visualisation PosePilot

Alina GLUSHKOVA

Mines Paris PSL, alina.glushkova@minesparis.psl.eu

Dimitrios MAKRYGIANNIS,

Mines Paris PSL, dimitrios.makrygiannis@minesparis.psl.eu

Sotiris MANITSARIS

Mines Paris PSL, sotiris.manitsaris@minesparis.psl.eu

Résumé

L'analyse de l'activité motrice à partir de données de capture du mouvement pose la question des conditions dans lesquelles des traces corporelles formalisées peuvent devenir des ressources pour l'analyse et l'interprétation de l'activité. Ce travail propose une contribution réflexive à l'analyse de l'activité motrice outillée, en formalisant une démarche d'interprétation à partir de traces corporelles visualisées. À partir d'un cas situé, il montre comment l'analyse s'appuie sur des visualisations, des comparaisons et des déplacements du regard analytique, sans chercher à normaliser ni à évaluer le mouvement. En mobilisant le dispositif de visualisation PosePilot, l'article décrit comment des métriques interprétables et des visualisations synchronisées sont utilisées de manière itérative pour construire des qualités pertinentes de l'activité. L'objectif est de contribuer à une réflexion méthodologique sur les pratiques d'analyse outillée de l'activité motrice, attentive aux médiations instrumentées et aux conditions de construction du sens.

Mots-clefs

Activité motrice, Médiation instrumentée, Visualisation de l'activité, Dispositif technologique, Construction du sens, Réflexivité analytique

Introduction

L'analyse de l'activité humaine repose sur un principe central : l'activité ne se donne jamais directement à voir. Qu'elle soit observée, enregistrée ou mesurée, elle doit être reconstruite à partir de traces partielles, situées et interprétées (Theureau, 2006). Dans le cas de l'activité motrice, cette difficulté est accentuée par la nature même des données disponibles. Les technologies de capture du mouvement produisent des inscriptions corporelles formalisées, des trajectoires, positions articulaires, signaux, qui rendent certaines dimensions de l'action observables, sans pour autant donner un accès direct à l'organisation de l'activité sous-jacente. Si la généralisation de ces technologies a profondément transformé les conditions d'accès à l'activité motrice dans des contextes variés, l'abondance de données corporelles (Olivas-Padilla, Glushkova et al., 2023) et de visualisations associées ne garantit pas, en soi, une meilleure compréhension de l'activité (Olivas-Padilla, Manitsaris et al., 2023).

Ainsi, l'analyse de l'activité motrice ne peut se réduire à la lecture de trajectoires ou de valeurs numériques. Elle implique la construction progressive de dimensions pertinentes de l'activité (par exemple son organisation temporelle, spatiale ou posturale), au travers d'une activité d'analyse située. Dans cette perspective, les métriques et visualisations mobilisées peuvent être envisagées non seulement comme des mesures objectives de propriétés intrinsèques du mouvement, mais aussi comme des opérateurs de médiations permettant de soutenir le raisonnement analytique, la comparaison de situations et la discussion des interprétations.

Les outils de visualisation et d'analyse peuvent alors être considérés comme des artefacts de médiation, au sens où ils participent activement à la manière dont l'activité devient lisible et intelligible. En

proposant certaines formes de représentation et certaines possibilités d'exploration, ils orientent l'attention des analystes, structurent l'activité d'analyse et rendent certaines relations plus facilement repérables que d'autres. L'étude de l'activité motrice devient dès lors indissociable de l'étude des pratiques analytiques qui se développent autour des traces corporelles.

Ainsi, à partir d'une plateforme numérique, PosePilot (Fig. 1, 4, 5, 6), pour la visualisation et l'analyse computationnelle du mouvement humain, destinée aux chercheurs et aux praticiens, nous adoptons une démarche réflexive visant à formaliser une manière de passer des traces corporelles visualisées à des interprétations discutables de l'activité. Concrètement, l'analyse s'organise comme un va-et-vient itératif entre (i) une exploration visuelle initiale qui fait émerger des questions d'activité, (ii) une sélection de métriques interprétables pour soutenir ces questions, (iii) des comparaisons (entre répétitions, profils ou situations) qui stabilisent certains repères, puis (iv) un retour aux visualisations pour qualifier, préciser ou réviser les hypothèses. L'objectif n'est pas de proposer un nouvel outil, ni de normaliser le mouvement ou d'évaluer des performances, mais d'interroger comment s'appuyer sur un dispositif de visualisation pour rendre certaines dimensions de l'activité analysables, interprétables et discutables. Ce travail apporte trois contributions :

- une formalisation d'une démarche d'interprétation itérative de l'activité motrice à partir de traces corporelles visualisées ;
- une mise en évidence du rôle des comparaisons, des métriques interprétables et des déplacements du regard analytique dans la construction progressive de qualités pertinentes de l'activité, sans posture normative ;
- des implications méthodologiques pour l'analyse outillée de l'activité motrice, attentives aux médiations instrumentées et aux conditions de construction (et de discussion) du sens.

La suite de l'article présente d'abord le cadre conceptuel (activité, traces corporelles, médiation), puis la démarche d'analyse proposée, avant d'en donner une illustration sur un cas d'étude et d'en discuter les apports et limites.

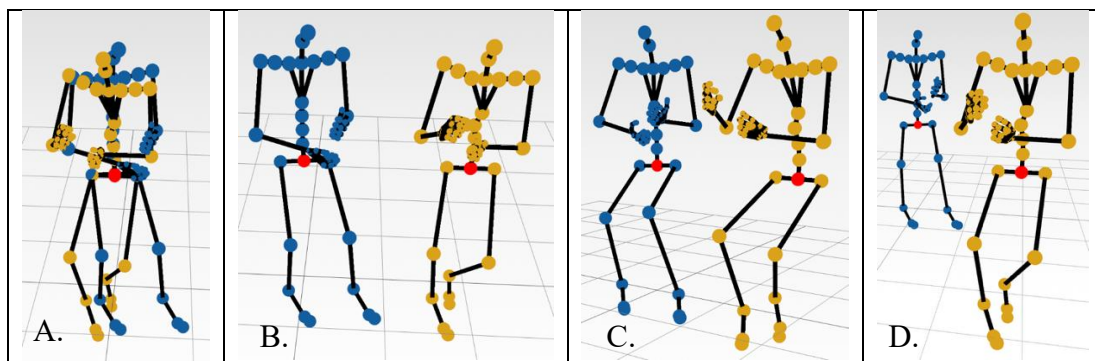


Fig. 1 - Différentes options de visualisation de squelette humain lors de la comparaison dans PosePilot. Squelette (A.) et non aligné (B.) sur l'axe vertical ; changement d'angle de vue pour une meilleure visibilité des 2 mains (C.) ; rapprochement sur l'axe de profondeur du deuxième squelette (D.)

2. Cadre conceptuel : activité, traces corporelles et médiation instrumentée

2.1. Accéder à l'activité par ses traces corporelles

Dans les approches en analyse de l'activité, l'activité humaine est considérée comme un processus situé, dynamique et orienté, qui ne peut être appréhendé directement à partir de ses manifestations observables (Vermersch, 1994). L'activité correspond à des significations construites par les acteurs en situation. L'accès à l'activité repose ainsi sur un travail de reconstruction à partir de traces, entendues comme des inscriptions partielles de l'action (Theureau, 2006).

Ces traces peuvent prendre des formes diverses (discursives, corporelles, instrumentées), mais elles partagent un statut commun : elles ne constituent pas des représentations exhaustives de l'activité et n'ont pas de signification intrinsèque. Leur interprétation suppose un raisonnement analytique qui met en relation les traces entre elles, avec le contexte de l'action et avec les questions posées par l'analyste.

Les traces corporelles constituent une catégorie spécifique de traces d'activité. Produites par la capture du mouvement, elles traduisent l'activité motrice en inscriptions spatio-temporelles structurées. Cette traduction rend certaines dimensions de l'action observables, au prix d'un travail interprétatif nécessaire. Les traces corporelles constituent un matériau à partir duquel l'analyste peut interroger l'organisation de l'action, ses régularités, variations ou ruptures (Bevilacqua et al. 2011).

2.2. Qualités de l'activité motrice et médiation analytique

Dans ce cadre, l'analyse de l'activité motrice vise la construction de qualités pertinentes au regard des situations étudiées (Theureau, 2006). Ces qualités renvoient à des dimensions globales de l'action, par exemple son organisation temporelle, sa régularité, son amplitude, son économie ou la différenciation fonctionnelle des segments corporels, qui permettent de caractériser le geste comme activité et non comme simple succession de positions articulaires (Laban, 1980).

Ces qualités ne sont pas directement données dans les traces corporelles (Harbonnier et al., 2016). Elles émergent d'un travail d'interprétation qui consiste à comparer des occurrences (situations, répétitions, profils) et à articuler les traces avec des repères issus de l'expérience et des enjeux de l'action (Theureau, 2006). Cette perspective rejoint les travaux de Laban, pour qui le mouvement ne se réduit pas à ses formes spatiales ou cinématiques, mais s'appréhende à travers des qualités globales d'organisation, d'effort et de dynamique, construites dans et par l'action (Laban, 1980; Ginot 1998; Godard, 2002). Ainsi, l'analyste cherche à comprendre comment l'activité se déploie et se réorganise en réponse aux contraintes de la situation (Button et al., 2020). Dans cette démarche, les métriques et représentations associées sont considérées comme des opérateurs de médiation qui participent à la construction de ces qualités. Elles contribuent à stabiliser des repères, à rendre certaines variations formulables et à soutenir l'élaboration d'hypothèses interprétatives sur l'organisation de l'activité, sans pour autant se substituer au raisonnement analytique (Latour, 1987).

2.3. Dispositifs de visualisation et instrumentation de l'analyse

Les dispositifs de visualisation des traces corporelles peuvent être appréhendés comme des instruments qui structurent et soutiennent l'analyse de l'activité motrice. En proposant des formes spécifiques de représentation et des possibilités d'exploration des données, ils rendent certaines relations observables, orientent l'attention analytique et influencent les raisonnements, sans pour autant prescrire une interprétation unique des traces (Latour, 1987 ; Rabardel, 1995 ; Munzner, 2014). À ce titre, ils peuvent également être considérés comme des objets intermédiaires ou des opérateurs de médiation, dans la mesure où ils constituent des supports communs rendant les traces corporelles comparables, discutables et interprétables. Ils jouent ainsi un rôle central dans la mise en relation d'observations, la confrontation d'interprétations et la stabilisation progressive de significations autour de l'activité analysée (Latour, 1987 ; Rabardel, 1995).

L'analyse de l'activité motrice est alors envisagée comme une activité instrumentée, étroitement dépendante des opérations rendues possibles par les dispositifs de visualisation et de quantification ou de mesure. Ceux-ci configurent un espace d'exploration dans lequel l'analyste peut formuler, éprouver et réviser des hypothèses interprétatives, en articulant plusieurs points de vue sur un même mouvement et en passant d'un niveau de description à un autre. Ils soutiennent ainsi une dynamique d'analyse fondée sur l'itération, la comparaison et le déplacement du regard, caractéristiques des démarches de visualisation analytique (Munzner, 2014). Enfin, ils contribuent à rendre l'analyse traçable en conservant la mémoire des choix de représentation, des focalisations successives et des comparaisons effectuées, ce qui soutient des pratiques réflexives dans lesquelles les interprétations peuvent être explicitées, discutées et révisées au fil du processus analytique (Sedlmair et al., 2013).

3. Démarche analytique : de la visualisation à l'interprétation de l'activité

3.1. Formalisation de la démarche

La démarche présentée dans cette section n'a pas été définie a priori : elle résulte d'un travail réflexif à partir de situations d'analyse effectivement menées avec un outil de visualisation et d'analyse des données issues de la capture de mouvement (traces corporelles). L'unité retenue pour cette formalisation

est un épisode analytique, défini comme une séquence continue durant laquelle (i) un contexte est défini, une première exploration visuelle est réalisée permettant de préciser la formulation de la question (étapes 1 et 2 de la Fig. 2), (ii) une ou plusieurs métriques et vues sont mobilisées pour orienter l'attention et structurer la comparaison (étapes 3 et 4), puis (iii) un retour aux visualisations permet de confirmer, nuancer ou réviser l'hypothèse (étapes 5 et 6). Les épisodes ont été regroupés et synthétisés en opérations récurrentes (exploration visuelle, choix de métriques, comparaison, changement de granularité global/local, retour aux animations), puis la structuration a été raffinée par itérations entre la synthèse et de nouvelles analyses, conformément à la logique itérative de l'analyse visuelle (Chen et al., 2009). Le schéma proposé (Fig. 2) constitue la synthèse de ce regroupement et sert ensuite de grille de lecture (section 4).

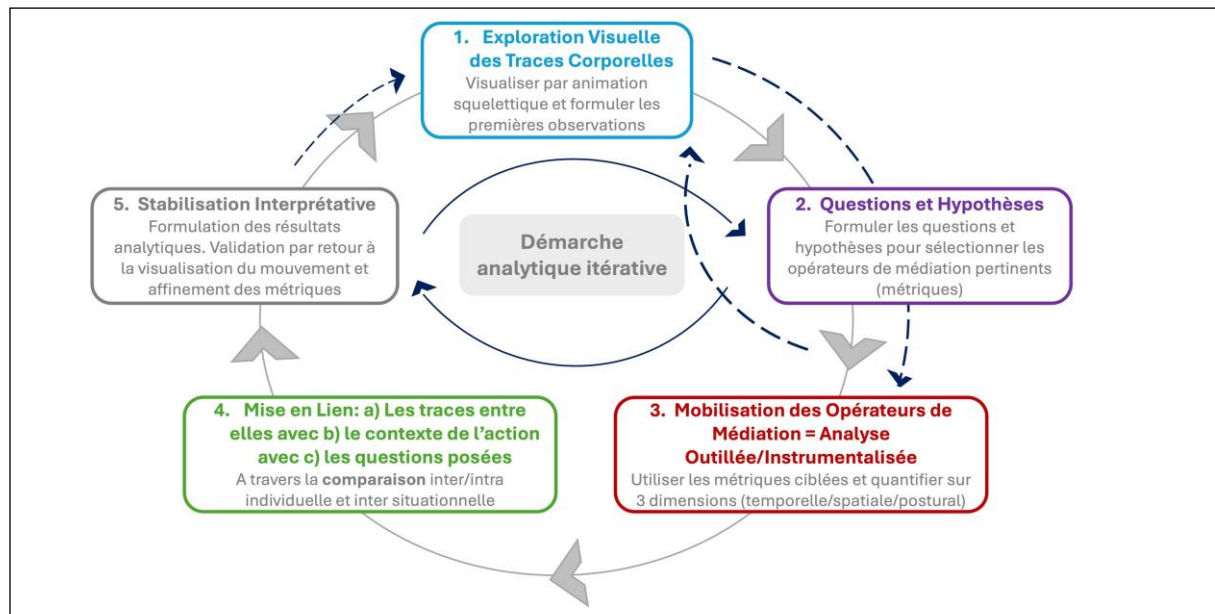


Fig. 2 - Schéma de la démarche analytique itérative. Des flèches pleines : enchaînement analytique le plus fréquent, des flèches en pointillé : reprises et réajustements possibles entre étapes.

3.2. PosePilot comme dispositif d'articulation entre traces et interprétation

Dans la continuité d'approches de visualisation interactive et d'analyse de dextérité, comme proposées dans (Makrygiannis et al. 2025), PosePilot¹ est une plateforme numérique destinée aux chercheurs et aux praticiens travaillant sur l'analyse du mouvement humain. Elle permet de visualiser, explorer et comparer des données issues de capture du mouvement, en combinant des animations squelettiques tridimensionnelles, des représentations graphiques synchronisées et un ensemble de métriques quantitatives. Les figures 2 à 5 illustrent l'interface développée. Conçue pour soutenir des activités d'analyse dans des contextes variés, tels que la recherche, l'apprentissage moteur ou la rééducation, la plateforme offre un accès interactif aux traces corporelles, facilitant leur exploration et leur mise en relation. Dans cette étude, PosePilot est donc utilisé comme le support de ces épisodes analytiques, plutôt que comme un outil à évaluer en soi.

3.3. Métriques et niveaux d'analyse de l'activité motrice

Les métriques implémentées dans PosePilot correspondent à un sous-ensemble de métriques quantitatives permettant de caractériser certains aspects spatiaux du mouvement, par exemple la quantité ou le volume de mouvement, temporels, par exemple la vitesse ou l'accélération, et posturaux, par exemple la densité ou la variabilité. Leur principe général et leur intégration au dispositif ont été introduits dans un travail antérieur (Makrygiannis et al., 2025), tandis qu'une description plus détaillée

¹ <https://aimove-posepilot.github.io>

est proposée dans un travail distinct en cours d'évaluation. Sans prétendre couvrir l'ensemble des dimensions identifiées dans une taxonomie conceptuelle plus large des qualités de l'activité motrice, elles constituent ici un ensemble opérationnel mobilisé pour interroger l'occupation et l'exploration de l'espace, la dynamique et la régularité temporelle du geste, ainsi que la configuration et la coordination des segments corporels.

La démarche d'analyse repose sur l'application de ces métriques à différents niveaux de granularité. Des métriques globales sont d'abord mobilisées pour repérer des différences entre exécutions, profils ou situations, sans présumer de leur origine segmentaire. Lorsque de tels écarts apparaissent, l'analyse est approfondie par l'activation de métriques locales ciblant des segments corporels ou des articulations spécifiques, afin d'en préciser les contributions corporelles. Les résultats ainsi produits ne sont toutefois pas interprétés de manière autonome : ils sont systématiquement mis en relation avec la relecture des traces corporelles afin de confirmer, nuancer ou discuter les interprétations formulées. Cette progression du global vers le local constitue une ressource méthodologique pour orienter l'attention analytique et structurer l'exploration des traces visualisées (Bernstein, 1967; Latour, 1987; Latash, 2012).

L'outil propose un cadre initial avec une fenêtre de visualisation affichée par défaut, puis une organisation des analyses selon trois familles principales, spatiale, temporelle et posturale, déclinée sur deux niveaux. Ce dispositif guide ainsi l'exploration en rendant certaines opérations plus directement accessibles. Toutefois, l'agencement effectif des vues n'est pas imposé de manière stricte : l'analyste peut ouvrir, cumuler, juxtaposer ou refermer les visualisations selon les besoins de l'enquête en cours. L'interface combine ainsi guidage analytique et liberté de configuration.

4. Analyse outillée de l'activité : illustration sur un cas d'étude

4.1. Présentation de l'activité analysée : l'enfilage de jaconas en joaillerie

Le cas d'étude concerne l'analyse de données enregistrées avec le costume de capture de mouvement équipé de 52 capteurs inertiels (Nansense Biomed), couvrant les différentes articulations de tête aux pieds. Les gestes enregistrés sont issus d'une activité d'enfilage de jaconas, utilisée pour le polissage de bagues en haute joaillerie. Cette activité consiste à faire circuler des fils abrasifs (jaconas), enduits de pâte à polir, à l'intérieur de mises à jour et de volumes internes de bagues, afin d'obtenir un état de surface lisse et brillant, tout en préservant la géométrie et les zones esthétiques de la pièce. L'enfilage en jaconas active des gestes fins, rapides et répétitifs, réalisés sous de fortes contraintes de précision. Elle requiert une coordination étroite entre les deux mains, comme illustré dans la Fig. 3, une lecture fine de la géométrie de la pièce (pans, arêtes, surfaces planes), ainsi qu'une adaptation continue de la vitesse, de la pression et de l'orientation du geste. Le geste est également guidé par des retours sensoriels multiples, incluant la vision, le toucher et le son produit par le frottement de la jaconas sur le métal.

Les données analysées correspondent à plusieurs exécutions de cette activité, réalisées dans un contexte professionnel, à partir de pièces de joaillerie présentant des géométries internes variées. Les mouvements ont été enregistrés à l'aide d'un dispositif de capture du mouvement, permettant d'accéder à des traces corporelles décrivant l'évolution spatio-temporelle et posturale des segments corporels impliqués, en particulier au niveau des membres supérieurs. Ce cas d'étude est utilisé à titre illustratif, afin de montrer comment construire la démarche concrètement pour l'analyse d'une activité motrice experte et de sa comparaison avec une exécution réalisée par un apprenant. Cette analyse s'inscrit dans des travaux qui envisagent l'expertise motrice non comme la reproduction d'une forme gestuelle idéale, mais comme une organisation fonctionnelle capable de maintenir l'efficacité de l'action tout en s'adaptant aux contraintes de la situation (Seifert et al., 2013).

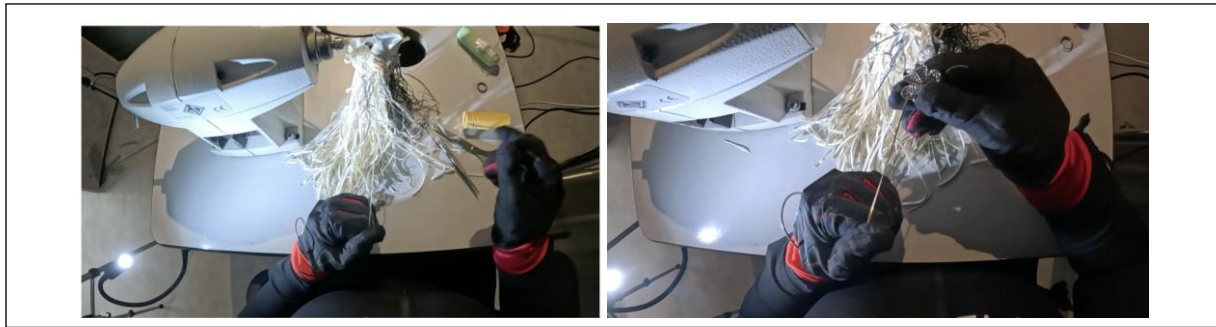


Fig. 3 - La scène de travail d'enfilage en jaconas (en vision egocentrée)

4.2 Entrée dans l'analyse : première exploration visuelle et formulation des questions

L'analyse débute par la définition du contexte et une lecture qualitative des animations squelettiques associées aux traces corporelles. Cette première exploration s'inscrit dans une tâche (polissage), un contexte (apprentissage des gestes) et des questions analytiques initialement plus ouvertes (quelles sont les différences entre les experts et les apprenants ? quelles différences pouvons-nous observer en premier ?). Pour cela il est possible d'importer les mouvements séparément (d'abord l'experte, puis l'apprenant) ou simultanément, en les alignant/positionnant dans l'espace afin de faciliter l'observation et la comparaison visuelle initiales. Elle met en évidence les caractéristiques spatiales et temporelles perceptibles : le bas du corps est figé, le torse légèrement incliné, le bras droit réalise un mouvement dynamique. L'outil donne la possibilité de visualiser l'animation avec des options variées de contrôle comme illustré dans la Fig. 1. permettant de mettre en valeur différents aspects du mouvement. Par exemple dans C. nous remarquons des différences dans le mouvement de la main gauche et elle devient plus facilement visible lorsque l'angle de vue est modifié (B et C). L'analyste peut ainsi repérer plus facilement un contraste ou une incertitude. Le recours aux métriques et aux comparaisons permet alors d'affiner l'interrogation initiale, de l'éprouver et de la formuler plus précisément. Ces observations visuelles ainsi servent de points d'appui pour formuler des questions : *comment l'organisation temporelle et spatiale du geste se stabilise-t-elle avec l'expertise ? Comment se différencient les rôles fonctionnels des mains dans l'action ? Et comment ces différences perceptibles peuvent-elles être interprétées à partir des traces corporelles visualisées et quantifiées ?*

4.3. Mobilisation des opérateurs de médiation pour l'exploration de l'organisation temporelle : régularité et coordination

L'analyse continue avec l'organisation temporelle dans l'objectif de repérer des variations dans le déroulement du geste, changements de vitesse, irrégularités ponctuelles du va-et-vient et d'orienter la formulation d'une question d'activité : *comment le rythme du geste s'organise-t-il dans le temps et comment cette organisation se stabilise-t-elle au cours de l'exécution ?* À partir de cette question, des métriques temporelles, telles que la vitesse et l'accélération sont utilisées de manière ciblée afin de soutenir l'interprétation de la dynamique observée. Ces indicateurs ne sont pas utilisés pour caractériser une performance, mais pour relier les perceptions issues de la relecture visuelle avec des indices temporels permettant de localiser des phases de régularité ou, au contraire, de variation du rythme.

4.4. Mise en lien des traces/du contexte/de la question formulée à travers la comparaison de la temporalité

La comparaison inter-individuelle entre les exécutions de l'experte et de l'apprenant constitue une étape clé de l'analyse. Chez l'experte, l'organisation temporelle du geste apparaît globalement régulière et structurée selon une dynamique rapide puis progressivement légèrement dégressive (Fig.4). L'analyse affinée des métriques montre que les variations temporelles sont principalement associées à la main droite (Fig.4), directement engagée dans le mouvement de va-et-vient de la jaconas, tandis que la main gauche présente une dynamique plus stable chez l'expert, alors que chez l'apprenti plus de pics de vitesse sont détectés (Fig.5). Cette répartition soutient l'interprétation d'une coordination bimanuelle différenciée, dans laquelle une main assure l'action dynamique et l'autre joue un rôle d'ancrage et de régulation.



Fig. 4 - La comparaison de l'accélération de la main droite entre experte (bleu) et apprenant (jaune)

Enfin, l'interprétation temporelle est mise en perspective avec des repères issus de l'activité elle-même. L'experte mobilise notamment des retours sensoriels, en particulier la régularité du son produit par la jaconas, comme indicateurs de continuité du geste. Cela permet de relier les indices temporels observés à des préoccupations concrètes de l'action et d'ancrer l'analyse du rythme dans une compréhension située de l'activité.

4.5. Mobilisation des opérateurs de médiation pour l'exploration de l'organisation spatiale du geste: amplitude et surface explorée

Pour donner suite à l'analyse temporelle, l'attention se porte sur l'organisation spatiale du geste. Cette transition correspond à un déplacement de la question d'activité : après avoir interrogé *comment le geste se déploie dans le temps*, l'analyse vise à comprendre *comment l'espace est mobilisé pour soutenir cette dynamique temporelle* ? Les métriques spatiales deviennent des outils d'objectivation d'intuitions perceptives : elles permettent de caractériser la surface explorée par les segments corporels impliqués, tout en restant articulées à la relecture du geste. L'exploration de l'organisation spatiale débute par la relecture des animations squelettiques, qui met en évidence des écarts d'amplitude et d'espace parcouru par le corps. Pour objectiver ces différences et comparer des exécutions visuellement proches, des métriques spatiales globales (surface et volume explorés) sont ensuite mobilisées. Elles révèlent une distinction nette entre l'experte et l'apprenant, notamment sur le volume total du geste (Fig. 6A). Ces résultats orientent alors l'analyse vers des métriques locales afin d'identifier l'articulation susceptible d'être à l'origine de cet écart. Ce qui permet de diriger l'attention analytique et d'affiner la question en demandant « *Quelle articulation peut causer cette différence dans le volume ?* » traitée avec la mobilisation des métriques au niveau local.



Fig. 5 - La comparaison de vitesse de la main gauche entre experte (bleu) et apprenant (jaune)

4.6. Mise en lien des traces/du contexte/de la question formulée à travers la comparaison de l'espace

Pour répondre à la nouvelle question formulée, la comparaison continue avec la relecture des animations squelettiques puis des métriques locales ciblant des segments afin d'attribuer l'écart. Chez l'experte, Fig.6A signale une organisation spatiale distincte de celle de l'apprenant et l'analyse locale (Fig.6B) montre que cet écart est principalement porté par la main droite, qui explore une surface plus étendue : l'animation confirme un geste plus ample et continu, tandis que la main gauche reste relativement stable. Chez l'apprenant, la comparaison met en évidence une organisation moins différenciée entre les deux mains. Même lorsque le volume global apparaît important, il peut être porté par une instabilité distribuée (plusieurs articulations contribuent), plutôt que par une exploration ample de la main droite : autrement dit, le "global" peut augmenter par dispersion des mouvements, sans que la main active gagne en amplitude fonctionnelle. Il ne s'agit pas d'un déficit, mais d'un indice susceptible d'affecter la continuité et l'efficacité du geste, et qui appelle une analyse posturale plus fine. Ces résultats spatiaux conduisent ainsi à examiner comment la coordination posturale et la variabilité segmentaire soutiennent (ou non) la stabilité et la continuité du va-et-vient.

4.7. Stabilisation interprétative à travers l'analyse de l'organisation posturale et différenciation fonctionnelle des segments corporels

La prochaine étape de l'analyse vise à approfondir la compréhension de l'activité en examinant l'organisation posturale et la coordination entre segments corporels. Cette analyse vise à stabiliser les résultats temporels et spatiaux précédents et s'articule autour de la question suivante : *comment la coordination posturale soutient-elle la stabilité et la continuité du geste ?*

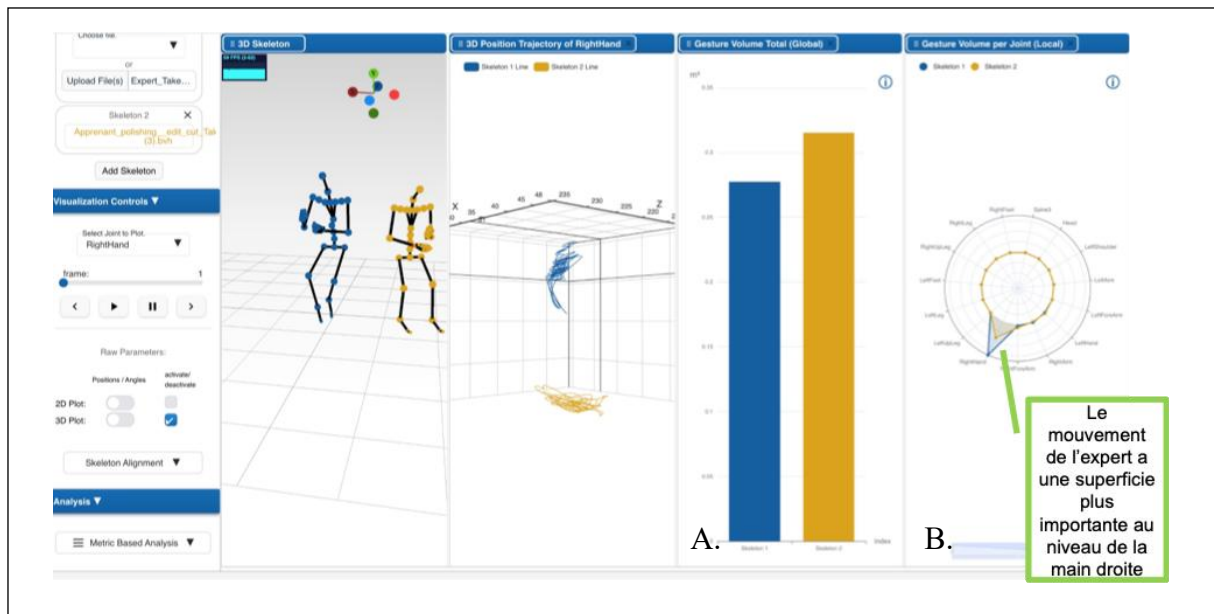


Fig. 6 - Le volume global indique des différences importantes (A) entre experte (bleu) et apprenant (jaune). Cependant l'analyse locale (B) révèle que chez l'experte le mouvement de la main droite est plus ample

Cette exploration passe par une relecture ciblée des animations, en illustrant le processus itératif présenté dans la figure 2, mais centrée sur la coordination bimanuelle cette fois-ci. Elle confirme l'organisation asymétrique du corps : une main est principalement engagée dans l'action dynamique de va-et-vient de la jaconas, tandis que l'autre contribue à la stabilisation de la pièce et à la régulation globale du geste. Cette observation oriente l'utilisation de métriques posturales permettant de caractériser la variabilité des configurations segmentaires.

Chez l'experte, l'analyse montre une faible variabilité posturale de la main gauche jouant le rôle d'ancrage, contrastant avec une variabilité plus élevée de la main droite engagée dans l'action dynamique. Cette asymétrie posturale est interprétée comme un principe d'organisation fonctionnelle de l'activité : la stabilisation de certains segments permet de libérer d'autres segments pour l'action. Chez l'apprenant, la comparaison révèle une organisation posturale différente, marquée par une variabilité plus homogène entre les deux mains. Cette configuration est interprétée comme le signe d'une différenciation fonctionnelle susceptible d'affecter la continuité temporelle et l'organisation spatiale du geste.

L'intérêt de cette analyse posturale réside dans son articulation avec les dimensions temporelles et spatiales précédemment explorées. La stabilité posturale est mise en relation avec la régularité temporelle du va-et-vient, tandis que la différenciation segmentaire est liée à l'ampleur et à l'occupation spatiale. Cela permet de construire une interprétation cohérente de l'organisation globale de l'activité, dans laquelle les métriques posturales jouent un rôle de médiation entre traces corporelles et compréhension fonctionnelle du geste.

5. Discussion de la pratique d'analyse itérative

Dans l'épisode analytique décrit ici, l'interprétation de l'activité se construit à travers des allers-retours entre visualisations, métriques et comparaisons, dans un processus itératif d'exploration et de reformulation des hypothèses interprétatives. Les métriques sont appliquées pour attirer l'attention sur certaines variations ou régularités observées dans les traces corporelles, sans fournir en elles-mêmes une interprétation définitive. La comparaison joue un rôle central dans l'analyse, en tant que moyen de mise en relation des traces et de construction d'interprétations (Rix & Biache, 2004 ; Rix-Lièvre, 2010). Qu'elle soit intra-individuelle, inter-individuelle ou inter-situationnelle, elle permet de faire émerger des différences et des invariants qui orientent l'analyse. Ces comparaisons servent de points d'appui pour formuler des hypothèses sur l'organisation de l'activité motrice, qui sont ensuite confrontées à d'autres visualisations ou à d'autres situations.

L'analyse progresse ainsi selon une logique itérative, dans laquelle l'exploration des traces corporelles visualisées, l'usage ciblé de métriques et la relecture des données s'enchaînent et se réajustent en fonction des questions d'activité formulées. Ainsi, les dispositifs de visualisation et les métriques implémentées constituent des supports opérationnels pour rendre les interprétations explicites, comparables et discutables, notamment dans des contextes où plusieurs acteurs peuvent être amenés à interagir autour des mêmes traces. Il est important de souligner que les métriques ne sont pas mobilisées comme des résultats en soi, mais comme des dispositifs d'orientation de l'attention analytique. Leur application attire le regard sur certaines variations ou différences qui étaient plus difficilement perceptibles lors d'une première observation. Ces indications conduisent alors l'analyste à revenir vers les visualisations et l'animation du squelette, afin de vérifier, préciser ou requalifier ce qui est suggéré par les métriques. Inversement, lorsque des différences perçues à l'œil nu apparaissent trop fines ou ambiguës, l'analyse est approfondie par l'application de métriques complémentaires, éventuellement à un niveau de granularité plus local. Les métriques fonctionnent ainsi comme des guides du regard et de l'attention, soutenant une exploration progressive et située des traces corporelles plutôt que la production de conclusions immédiates.

En synthèse, la démarche d'analyse présentée dans ce travail (Fig. 2) peut être décrite comme une succession d'étapes analytiques articulées et itératives. Ces étapes ne sont pas nécessairement séquentielles appliquées de manière circulaire. Après l'application d'une étape le chercheur peut revenir en arrière. Par exemple après avoir appliqué les métriques, repasser à la visualisation pour confirmer si l'observation mise en lumière par ces dernières est visible dans le mouvement, et vice versa (flèches entre l'étape 1 et 3 dans la Fig. 2). Elle consiste d'abord à explorer les traces corporelles visualisées afin d'identifier des variations ou des régularités significatives. La première exploration s'inscrit dans une tâche, un contexte et des questions analytiques initialement plus ouvertes. Ces observations orientent ensuite la sélection de métriques pour stabiliser, qualifier ou comparer certaines variations de l'activité qui demeuraient diffuses ou difficiles à caractériser lors d'une première observation des traces corporelles. Les métriques sont choisies en fonction du contexte, des dimensions de l'activité interrogées (organisation spatiale, dynamique temporelle, organisation posturale). Les résultats issus sont alors comparés entre répétitions, individus ou situations, afin de soutenir la formulation d'hypothèses interprétatives sur l'organisation de l'activité motrice.

6. Conclusion

Cette contribution propose une réflexion méthodologique sur l'analyse de l'activité motrice à partir de traces corporelles, en s'appuyant sur l'usage de PosePilot comme dispositif d'articulation entre données de mouvement et interprétation de l'activité. À travers un cas utilisé à titre illustratif, l'objectif était de formaliser une démarche permettant de rendre visibles et discutables certaines qualités de l'activité motrice, sans recourir à une approche normative ou évaluative. Cette posture est cohérente avec des travaux en dynamique écologique, qui conçoivent l'activité motrice comme une organisation contextuelle, irréductible à une norme gestuelle unique (Button et al., 2020).

Sur le plan méthodologique, l'apport principal réside dans la formalisation d'une démarche d'analyse progressive fondée sur des allers-retours entre exploration visuelle des traces, mobilisation ciblée de métriques interprétables et comparaison entre exécutions. L'analyse repose sur une dynamique itérative d'exploration et de reformulation des hypothèses, permettant d'affiner progressivement les questions d'activité et les interprétations associées. La démarche devient particulièrement intéressante lorsque l'analyse repose sur des comparaisons entre répétitions, entre individus ou entre segments d'une même activité, ou encore lorsque plusieurs analystes doivent discuter collectivement de différences de réalisation à partir de traces partagées, comme par exemple dans les études portant sur kinésithérapie ou la réhabilitation où les praticiens ont besoin de comparer des groupes de patients, rendre les différences visibles et mesurables et les discuter. L'analyse outillée de traces corporelles pourrait ainsi soutenir un espace de partage et de mise en discussion de l'activité lorsqu'elle est articulée à l'expérience des acteurs concernés (un entraîneur, un apprenant, un biomécanicien). Les visualisations et métriques rendent alors comparables des exécutions et peuvent aider à expliciter des repères d'action, ce qui ouvre des perspectives en formation, transmission de gestes experts et dialogue entre formateurs et apprenants, à condition de maintenir l'ancrage situé des interprétations (Seifert et al., 2013).

Cette démarche reste toutefois réflexive et située. La formalisation proposée repose sur des usages développés autour d'un dispositif spécifique et sur un nombre limité de situations d'analyse : elle ne prétend ni à l'exhaustivité, ni à la généralisation à l'ensemble des activités motrices ou des contextes d'analyse. De plus, les interprétations construites à partir des métriques demeurent dépendantes des questions posées et des connaissances du domaine ; les indicateurs ne permettent pas, à eux seuls, de qualifier l'activité et nécessitent une mise en perspective avec l'expérience des analystes. Aussi, cette approche est moins suffisante lorsqu'une part décisive du sens de l'activité repose sur des dimensions peu accessibles aux seules traces corporelles, par exemple des contraintes matérielles fines, des intentions, des savoirs tacites non verbalisés ou des éléments situés du contexte d'action dans lesquels le corps a un impact direct sur la matière, comme dans certains artisanats (par exemple la poterie/céramique). Dans ces cas, l'outil gagne à être articulé à d'autres formes d'enquête ou de documentation. La démarche pourrait être éprouvée dans d'autres contextes d'activité afin d'en tester la transférabilité et d'en enrichir la formalisation. Plus largement, ces résultats invitent à poursuivre la réflexion sur la place des dispositifs d'analyse du mouvement dans l'étude de l'activité humaine, en privilégiant leur rôle d'appui à l'interprétation plutôt que la production de mesures et en promouvant des approches plus réflexives et situées du mouvement humain.

Cette médiation instrumentée n'est toutefois pas neutre. En rendant certaines dimensions du mouvement plus visibles ou quantifiables, l'outil oriente nécessairement l'attention analytique vers certains contrastes plutôt que d'autres. Il peut ainsi introduire un biais de focalisation sur les aspects les plus facilement représentables ou mesurables, au risque de reléguer au second plan des dimensions plus difficiles à formaliser, mais néanmoins importantes pour l'interprétation de l'activité. Les visualisations et métriques doivent ainsi être comprises comme des supports situés de l'analyse, et non comme des révélateurs neutres ou autosuffisants de l'activité.

Remerciements

Ce travail a été soutenu par le Gouvernement français dans le cadre du projet « ReSource » (AMI CMA), relevant du programme France 2030 et opéré par la Caisse des Dépôts.

Bibliographie

- Bernstein, N. (1967). *The coordination and regulation of movements*. Pergamon Press.
- Bevilacqua, F., Schnell, N., & Alaoui, S. F. (2011). *Gesture capture: Paradigms in interactive music/dance systems*. *Emerging Bodies: The Performance of Worldmaking in Dance and Choreography*, 183, 183-193.
- Button, C., Seifert, L., Chow, J. Y., Davids, K., & Araújo, D. (2020). *Dynamics of skill acquisition: An ecological dynamics approach*. *Human Kinetics*. <https://doi.org/10.5040/9781718214125>
- Chen, M., Ebert, D., Hagen, H., Laramée, R. S., van Liere, R., Ma, K.-L., Ribarsky, W., & Silver, D. (2009). Data, Information, and Knowledge in Visualization. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 29(1), 12–19. <https://doi.org/10.1109/MCG.2009.6>
- Godard, H. (2002). *Le geste et sa perception. La danse XXe siècle/Bordas*.
- Ginot, I., & Michel, M. (1998). *La danse au XXème siècle. Larousse-Bordas*.
- Harbonnier-Topin, N., Dussault, G., & Ferri, C. (2016). Regards croisés sur deux pratiques d'analyse du mouvement. L'analyse du mouvement selon Laban (LMA) et l'analyse fonctionnelle du corps dans le mouvement dansé (AFCMD). *Recherches en danse*, (5). Laban, R. (1980). *The mastery of movement* (4th ed.). Northcote House. <https://doi.org/10.4000/danse.1404>
- Latash, M. L. (2012). The bliss (not the problem) of motor abundance. *Experimental Brain Research*, 217, 1–5. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3000-4>
- Latour, B. (1987). *Science in action: How to follow scientists and engineers through society*. Harvard university press.
- Munzner, T. (2014). *Visualization analysis and design*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17511>
- Olivas-Padilla, B. E., Glushkova, A., & Manitsaris, S. (2023). Motion capture benchmark of real industrial tasks and traditional crafts for human movement analysis. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3269581>

- Olivas-Padilla, B. E., Manitsaris, S., & Glushkova, A. (2023). Interactive visualization and dexterity analysis of human movement. <https://doi.org/10.1109/FG59268.2024.10581928>
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies : Approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin.
- Rix, G., & Biache, M.-J. (2004). Enregistrement et analyse de l'activité. *Activités, 1*(2).
- Rix-Lièvre, G. (2010). Différents modes de confrontation à des traces de sa propre activité. *Revue d'anthropologie des connaissances, 42*(2), 358-379. <https://doi.org/10.3917/rac.010.0358>
- Sedlmair, M., Meyer, M., & Munzner, T. (2013). Design study methodology: Reflections from the trenches and the stacks. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 18*(12), 2431–2440. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2012.213>
- Seifert, L., Button, C., & Davids, K. (2013). Key properties of expert movement systems. *Sports Medicine, 43*(3), 167–178. <https://doi.org/10.1007/s40279-012-0011-z>
- Theureau, J. (2006). *Le cours d'action : Méthode développée*. Octarès.
- Vermersch, P. (1994). *L'entretien d'explicitation*. ESF.
- Makrygiannis, D., Glushkova, A., Manitsaris, S., & Senter, G. (2025, May). PosePilot—A Web-Based Application for Human Motion Data Analysis and Visualization. In 2025 IEEE 19th International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FG) (pp. 1-1). IEEE. <https://doi.org/10.1109/FG61629.2025.11099475>