Revue des Questions Scientifiques, 2021, 192 (5) : 95-106

Actualités
Domaine de la santé

L'intégration de nouvelles technologies dans le métier de l'ergonomie

L'intelligence artificielle au service de la cotation des contraintes posturales

Louis Meurisse [1]
l.meurisse@ergonova.fr

Julien Falgayrat [1]
j.falgayrat@ergonova.fr

Nicolas Draye [2]
drayen@helha.be

Guillaume Henry [2]
henryg@helha.be

Mikaël Scohier [2]
scohierm@helha.be

[1] *Ergonova conseil SASU*
Conseil et formation en ergonomie et facteur humain
Toulouse, France
[2] *Laboratoire forme et fonctionnement humain (FFH)*
Haute école Louvain en Hainaut (HELHa)
Montignies-sur-Sambre, Belgique

Résumé. – Le métier d'ergonome nécessite une analyse détaillée des différents postes de travail pour quantifier les contraintes mécaniques subies par les opérateurs. À cette fin, la cotation manuelle basée sur l'observation est la méthode la plus usuelle, mais elle ne permet malheureusement pas d'atteindre une précision suffisante. Conscient de l'intérêt que pourraient offrir les nouvelles technologies, et notamment l'intelligence artificielle, ergonova© a initié un projet de recherche et développement, en partenariat avec l'ENPC et la HELHa, visant à la reconstruction, à l'aide d'un réseau de neurones, d'un squelette 3D

Licence : CC BY-NC-ND 2.0 BE
Diffusion autorisée — Pas de modification — Pas d'utilisation commerciale

à partir d'images 2D. L'objectif final associé est la quantification automatique et objective des contraintes mécaniques. La première étape de ce projet correspond à la phase d'apprentissage du réseau vers un modèle cible assurant une représentativité du monde professionnel. Le partenariat propose la création d'une bibliothèque de scénarios d'apprentissage de situations de travail illustrant la quasi-totalité des mouvements réalisés par les opérateurs en situation réelle. Il s'agit ensuite de jouer et filmer ces différents scénarios et d'annoter un nombre important de repères anatomiques afin que le réseau puisse par la suite apprendre à les repérer automatiquement. La reconstruction du squelette 3D doit ensuite permettre l'identification des articulations pour déterminer les mouvements réalisés par la personne et ainsi les contraintes physiques liées aux postures contraignantes.

Abstract. – Ergonomists are required to provide a detailed analysis of the various workstations in order to quantify the mechanical constraints imposed on their operators. To this end, they usually apply a manual assessment based on observation, although this does not provide a sufficient level of accuracy. Aware of the potential benefits offered by certain novel technologies, and especially by artificial intelligence, ergonova© launched a research and development project, in partnership with the ENPC and HELHa, that is aimed at reconstructing a 3D skeleton from 2D images by means of a neural network. The primary objective is the automated and impartial quantification of the system's mechanical constraints. The initial stage of this project is the network learning phase, which serves to generate a target pattern ensuring a representative model of the workplace. The fruits of this collaboration will include the creation of a library of educational scenarios of workplace situations depicting the vast majority of the movements performed by operators in real-world circumstances. These different scenarios will then be played and filmed, while a large number of anatomical markers are annotated in order to teach the network how to identify them automatically. The reconstruction of the 3D skeleton would then allow for the identification of the joints involved in order to determine which movements are performed by the individual, and thus the physical constraints associated with awkward postures.

Mots-clés. – Contraintes mécaniques — Ergonomie — Intelligence artificielle — Réseau de neurones — Situations de travail

Plan de l'article

1. **Éléments de contextualisation**
   - 1.1. **Le métier d'ergonome**
   - 1.2. **La technologie utilisée**
   - 1.3. **L'intégration de l'intelligence artificielle dans la pratique de l'ergonome**
2. **Instruction de l'intelligence artificielle**
   - 2.1. **Des scénarios issus du travail réel**
   - 2.2. **Protocoliser la captation de situations en fonction de la technologie**
   - 2.3. **Caractériser les situations de travail réelles**
3. **Conclusion**
4. **Bibliographie**

1. Éléments de contextualisation

1.1. Le métier d'ergonome

Le métier d'ergonome est en constante évolution depuis plus de 70 ans. L'ergonomie était décrite, dans les années 1950, comme « l'adaptation de l'homme à son métier » (Bonnardel, 1943). Actuellement, l'ergonomie se caractérise par une approche totalement opposée visant à se centrer sur l'activité de travail pour adapter le travail à l'homme dans ses composantes physique, cognitive, psychologique, psychique, sociale, environnementale…

L'Association internationale d'ergonomie définit l'ergonomie comme « la discipline scientifique qui vise la compréhension fondamentale des interactions entre les humains et les autres composantes d'un système, et la profession qui applique principes théoriques, données et méthodes en vue d'optimiser le bien-être des personnes et la performance globale des systèmes. Les praticiens de l'ergonomie, les ergonomes, contribuent à la planification, la conception et l'évaluation des tâches, des emplois, des produits, des organisations, des environnements et des systèmes en vue de les rendre compatibles avec les besoins, les capacités et les limites des personnes » (International Ergonomics Association, 2000).

Selon cette dernière définition, il apparaît que l'ergonome doit pouvoir baser son analyse sur la base d'observations de l'activité de travail réelle, mais aussi sur des données fiables permettant de caractériser les composantes du système. Ainsi, l'ergonome fait face à un paradoxe opposant, d'une part, la mesure des contraintes pour enrichir sa compréhension des systèmes observés par le biais, entre autres, de données permettant d'objectiver un diagnostic viable et, d'autre part, l'incapacité à mesurer certaines de ces contraintes. La profession fait donc face à un nouveau besoin d'évolution du métier !

Actuellement, pour les composantes biomécaniques, la production de données se fait par de la cotation manuelle de masse de postes de travail. Cependant, ces quantifications ne permettent pas d'atteindre la précision nécessaire aux diagnostics d'un ergonome. En effet, elles font appel à des données imprécises au vu du temps restreint que l'ergonome peut allouer à l'analyse d'un poste de travail, lequel ne permet pas d'observer l'ensemble des tâches et variabilités d'une opération. Les résultats de ces études manquent de pertinences pour apporter des actions concrètes dans l'objectif de transformer les situations de travail en prenant en compte l'ensemble des facteurs humains. À ce jour, les

mesures réelles sur de longues durées (journées, semaines) sont infaisables au vu du temps nécessaire, de l'aspect chronophage et des budgets disponibles. Ainsi, ces cotations ne répondent pas à l'objectif d'aider l'ergonome dans son prédiagnostic pour conduire ses observations et étayer ces données mesurées. L'objectif est bien d'avoir des analyses ergonomiques plus rapides, plus précises et plus représentatives des situations réelles de travail pour permettre à l'ergonome de passer plus de temps dans la recherche de solutions d'amélioration des conditions de travail.

Afin d'atteindre cet objectif, de nouveaux outils apparaissent pour réaliser ces mesures en utilisant les nouvelles technologies, dont notamment l'intelligence artificielle.

1.2. La technologie utilisée

L'intelligence artificielle est une technologie se basant sur des algorithmes apprenants permettant d'identifier, de détecter et de définir des formes, des objets... selon des situations apprenantes ayant permis au réseau de neurones de faire les choix permettant ces identifications, détections et définitions.

Cette technologie se déploie sous forme d'applications diverses comme celles des identifications faciales, des véhicules autonomes, dans le big data, dans le tracking visuel... Toutes ces applications permettent d'automatiser des tâches humaines laborieuses et simples d'exécution. Cependant, la qualité d'analyse de cette technologie réside essentiellement dans son apprentissage. Elle fonctionne comme un réseau de neurones, par itération de jeux d'erreurs dans l'objectif d'améliorer ses connexions dans son processus de décision par mémorisation et encodage des expériences vécues. Ainsi, l'intelligence artificielle ne peut reproduire qu'une action *simple* réalisable par un humain dans un temps record.

1.3. L'intégration de l'intelligence artificielle dans la pratique de l'ergonome

De nombreux champs du praticien en ergonomie pourraient être supportés par l'intelligence artificielle pour fiabiliser les diagnostics préliminaires de l'ergonome dans l'objectif d'une « compréhension fondamentale des interactions » avec les « composantes d'un système », (International Ergonomics Association, 2000). Des applications pourraient être apportées pour l'évaluation des charges mentales, les analyses de données brutes d'organisation du travail, l'identification des flux logistiques...

À la suite de différents sujets de recherche, des programmeurs en intelligence artificielle ont permis la reproduction de squelettes *simplistes* à partir d'image en 2D dans un environnement 3D. Ces projets innovants ont permis de lever des fonds pour aboutir à des solutions plus concrètes (illus. n°1). Pour la profession, la technologie est donc disponible ! Cependant, les réseaux de neurones doivent se perfectionner sur des situations de travail qui ne sont actuellement pas disponibles dans les bibliothèques de données mises à disposition.

Illus. n°1.
Photos *flash mob* de détection de squelettes simplistes sans capteurs.
Source : https://www.youtube.com/watch?v=pW6nZXeWlGM

Pour remédier à cette lacune, ergonova a initié un projet de recherche et développement dans le champ de l'intelligence artificielle, en partenariat avec des experts de cette technologie issus de l'École nationale des ponts et chaussées (ENPC, Paris, France) et des experts de la santé de la Haute école Louvain en Hainaut (HELHa, Laboratoire Forme et Fonctionnement Humain, Charleroi, Belgique). Ce projet international est né de rencontres entre une ouverture technologique et des contraintes et besoins d'un métier visant à développer un outil pour une profession.

Le projet eggOnova™ est né de ces partenariats pour permettre de faciliter et de fiabiliser le diagnostic préliminaire de l'ergonome. La partie du prédiagnostic étant assurée par eggOnova™ est la reconstruction du squelette en 3 dimensions, la mesure des angulations articulaires dans des situations de travail, et l'analyse (par rapport à un référentiel normatif) du risque associé.

Dans notre cas d'étude, le réseau de neurones s'attachera à reconstruire un squelette 3D à partir d'une vidéo simple en 2D (reconnaissance de poses 3D), sur des personnes réalisant des activités de travail, avec les contraintes liées aux activités (vêtements de sécurité, ports de charges ou d'outils, parties du corps masquées, multi-opérateurs...).

L'enjeu de ces partenariats multimétiers vise l'apport de situations de travail représentatives des secteurs primaires, secondaires et tertiaires dans les biblio-

thèques d'images d'un réseau de neurones spécifique pour la reconnaissance de squelettes dans une activité de travail.

eggOnova™ permettra donc :

- de mesurer toutes les angulations articulaires de manière non intrusive (sans capteurs) ;
- de laisser à l'opérateur et à la personne filmée une totale liberté dans leurs mouvements respectifs ;
- d'effectuer cette analyse sur plusieurs opérateurs présents dans le champ de la caméra ;
- de filmer avec n'importe quel type de moyens (smartphone, caméra ...) ;
- d'intervenir dans des conditions réelles d'activités de travail avec les contraintes associées.

Les données recueillies et préanalysées permettront à l'ergonome d'orienter son prédiagnostic en permettant de définir le périmètre de son intervention sur la base de données chiffrées. Ce prédiagnostic sera complété d'autres données (fréquences des gestes, ports de charge, organisation du travail...), pour permettre de caractériser les pistes de solutions à mettre en œuvre pour réduire les risques de troubles musculosquelettiques (TMS) et améliorer les conditions de travail.

La complexité de l'intégration de l'intelligence artificielle dans un outil support à la profession ne réside donc pas dans la capacité à intégrer une technologie, mais à instruire un réseau à la reconnaissance et à l'analyse d'une situation de travail sur la base d'un apprentissage représentatif des activités professionnelles ciblées.

Cette instruction permet ainsi à l'ergonome de 1°) combler un déficit de sa profession ; 2°) d'améliorer les périmètres de son intervention quant aux observations à réaliser dans des zones identifiées comme critique ; 3°) d'objectiver ses analyses dans l'enjeu de préserver la santé des salariés.

2. Instruction de l'intelligence artificielle

Le projet mené par le Laboratoire Forme et Fonctionnement Humain de la HELHa en partenariat avec ergonova vise à identifier un protocole d'instruction de l'intelligence artificielle intégrée dans un outil d'identification de squelettes 3D à partir d'image 2D.

Pour la phase d'apprentissage du réseau, le partenariat propose la création d'une bibliothèque de scénarios d'apprentissage de situations de travail représentatifs du monde professionnel. En effet, cet apprentissage doit prévoir l'intégration de l'ensemble des contraintes de l'environnement et des activités de travail, ainsi que les mouvements réalisés dans un contexte de travail.

2.1. Des scénarios issus du travail réel

Pour débuter la construction de la bibliothèque, il faut identifier des situations de travail faisant sens d'un point de vue de l'ergonomie et de l'intelligence artificielle.

Pour l'ergonomie, l'activité se crée entre d'une part une *entreprise* ou une entité associative, à but lucratif ou non, étatique… et d'autre part des *opérateurs*. Chaque entité se définit comme suit.

L'*entreprise* :

- constitue les tâches et les processus à réaliser ;
- est constituée d'un environnement de travail avec une organisation spatiale et temporelle qui lui est propre ;
- est constituée d'un poste de travail et d'outils ;
- met à disposition de la documentation et/ou des informations de travail ;
- met en place des modules de formation propre à ses activités de travail.

L'*opérateur* :

- possède ses caractéristiques individuelles qui lui sont propres : âge, taille, sexe… ;
- possède ses propres capacités physiques, cognitives et psychosociales ;
- a ses propres compétences, connaissances et expériences acquises au cours de sa vie ;
- a des attentes professionnelles et personnelles.

L'activité de travail se réalise lors de la mise en relation de ces deux entités, et est faite de régulations permettant d'atteindre ou non le résultat souhaité (productivité, qualité, coûts, fiabilité…). Elle entraîne un impact positif ou négatif sur la santé de l'opérateur (bien-être, épanouissement professionnel… ou, a contrario, maladie professionnelle, accident du travail, dépressions, burnout, turnover…).

Ainsi, l'objectif de la bibliothèque est de rendre compte de la complexité des activités de travail réalisées. Aussi, elle ne doit pas prendre le parti de la négation en ne montrant au réseau que des situations de dysfonctionnement. La complexité réside donc dans l'identification de situations mettant en œuvre des effets positifs et négatifs pour l'entreprise et pour l'opérateur, et ce, dans toutes les composantes caractérisant l'activité de travail.

Pour l'intelligence artificielle, l'activité de travail n'est qu'un ensemble d'images à analyser. Elle réalise ainsi une identification d'un squelette humain selon un apprentissage par itération d'erreur. Cependant, tous les liens du réseau pour réaliser l'analyse représentent une *boîte noire* pour ses concepteurs. En effet, elle réalise des raccourcis qui ne correspondent pas forcément à nos propres connexions neuronales.

Par exemple, une intelligence artificielle devant répertorier des animaux selon leurs classifications (cheval, lion…) a pris un raccourci en reconnaissant le nom du photographe pour identifier tous les chevaux sur les images, ce qui la rend inefficace sur des photos communes de chevaux.

Il est donc important que la bibliothèque évite ce type de raccourci. En effet, dans le cas de scénarios ne montrant des personnes qu'en situation contraignante physiquement portant des masques, et ne montrant pas des activités positives pour la santé des opérateurs, le réseau fera un raccourci en identifiant le masque comme la source de contraintes physiques, et non les postures ou les gestes comme une contrainte.

Pour permettre l'intégration de ces complexités, le cabinet-conseil ergonova et la HELHa ont défini des scénarios issus d'activités réelles observées permettant de prendre en compte les champs suivants :

- le secteur d'activité : agroalimentaire, agriculture, logistique, aéronautique, bâtiment etc. ;
- les contraintes physiques : situations avec ou sans sollicitations physiques ;
- les contraintes temporelles : gestes réalisés avec ou sans précision ;
- l'environnement de travail : situations réalisées au plus proche de l'activité avec les équipements de sécurité individuels dédiés aux activités ;
- la variabilité des situations de travail dans une même situation de travail.

2.2. Protocoliser la captation des situations en fonction de la technologie

Les situations de travail vues par l'ergonomie et l'intelligence artificielle sont donc différentes, et il apparaît que plusieurs composantes doivent être intégrées dans ce projet de recherche pour assurer une neutralité de l'outil.

Dans cet objectif, nous avons pris le parti de réaliser des situations de travail sous deux formats : dans un premier temps, en laboratoire pour piloter l'ensemble des composantes à faire varier ; dans un second temps, en industrie pour se rapprocher au plus près des situations futures captées par l'outil.

Dans le cadre de cet article, seule la première partie est en cours d'expérimentation. Ainsi, pour permettre une captation variable des situations, nous avons défini un protocole pour chaque prise des situations de travail.

Nous avons défini deux types de variables : primaires (variabilité ciblée) et secondaires (variabilité analysée).

1. Variables primaires faisant état d'un plan d'expérience :
   - la distance de prise de vue par la caméra :
     - proche < 2 m
     - moyenne 2 < X < 4 m
     - grande 4 < X < 15 m
   - la variabilité et le nombre d'acteurs :
     - les vidéos sont tournées par 2 acteurs pour une situation donnée, et plusieurs acteurs pour l'ensemble de la bibliothèque.
   - l'orientation des acteurs :
     - face, profils, dos, de biais ou multiple.
2. Variables secondaires faisant état d'une analyse complémentaire pour identifier les sources de variabilité :
   - les équipements de protection individuelle et le matériel en lien avec les activités réalisées ;
   - le mouvement ou non des caméras ;
   - la hauteur de la caméra ;
   - la variation du mouvement selon l'acteur ;
   - luminosité différente entre les jeux de vidéos pour une même situation.

Pour la seconde partie, l'objectif est de s'assurer que l'ensemble de ces paramètres est respecté assurant la variation des situations de travail filmées au plus proche des situations futures d'utilisation de l'outil.

2.3. Caractériser les situations de travail réelles

Pour cette partie, il est important de recentrer notre besoin quant aux objectifs de la technologie utilisée. En effet, pour aider l'ergonome dans son diagnostic, nous souhaitons caractériser les contraintes physiques liées aux postures contraignantes. La reconstruction du squelette 3D n'est importante que pour mesurer les angulations entraînant des sollicitations physiques. Ainsi, le squelette doit permettre l'identification des articulations pour déterminer les mouvements réalisés par la personne.

Ainsi, pour chaque scénario défini, nous devons nous interroger sur les mouvements réalisés par les opérateurs pour assurer un apprentissage du réseau sur l'ensemble des mouvements recherchés.

Pour cela, nous avons réalisé une étude normative pour référencer l'ensemble des mouvements à évaluer dans une situation de travail selon l'articulation recherchée (tableau n°1).

Articulations	Mouvements recherchés	Extrait normatif
Poignet	Déviation cubitale & radiale Flexion & extension	NF EN 1005-5
Main	Prise en pince Prise en crochet Prise à pleine main Prise palmaire	NF EN 1005-5
Coude	Supination / Pronation Flexion / Extension	NF EN 1005-5
Épaule	Abduction / Adduction Antépulsion / Rétropulsion	NF EN 1005-4 NF EN 1005-5
Dos	Flexion latérale Torsion Flexion & extension	NF EN 1005-4
Cou	Flexion latérale Torsion Flexion & extension	NF EN 1005-4

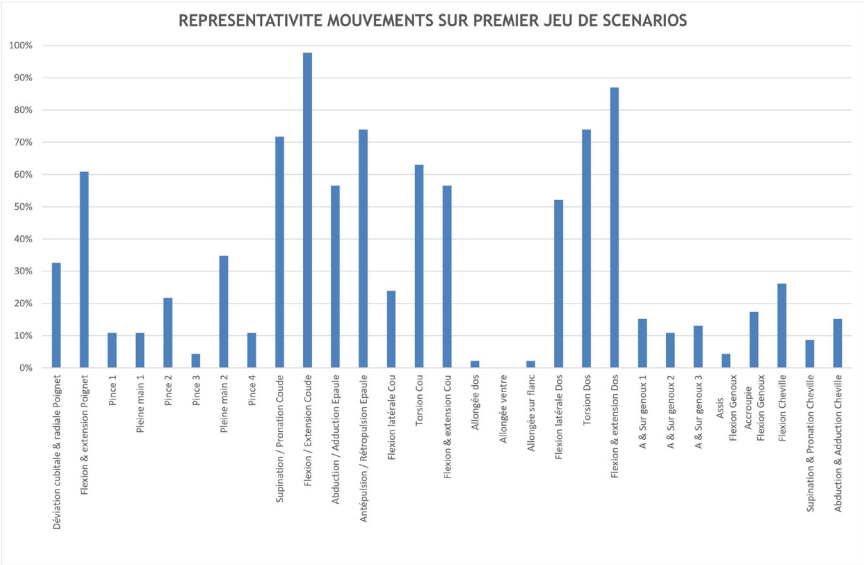
Tableau n°1.
Ensemble des mouvements à évaluer en fonction de l'articulation envisagée.

Cependant, pour caractériser une situation de travail, d'autres mouvements vont nous intéresser. Pour être représentatif de l'ensemble des mouvements caractérisables dans une situation de travail, d'autres mouvements et postures seront intéressants à détecter (tableau n°2).

Articulations	Mouvements recherchés
Cheville	Flexion Supination & Pronation Abduction & Adduction
Genou	A & Sur genoux Assis / Flexion Accroupi
Posture	Allongée ventre, dos & sur flanc

Tableau n°2.
Mouvements et postures supplémentaires à détecter.

Ainsi, nous pouvons extraire une représentation des situations de travail caractérisée dans les premiers jeux de scénarios réalisés pour étudier la faisabilité du projet (illus. n°2). Cela nous permet d'apporter une vision de l'apprentissage actuel du réseau de neurones.



Illus. n°2.
Représentativité (en % du nombre total de scénarios) des mouvements réalisés dans le premier jeu de scénarios.

Cette vision nous permet de nous assurer un apprentissage variable des mouvements effectués dans les jeux de vidéos réalisés. Cependant, l'objectif

n'est pas d'être représentatif à proportion égale, mais de l'être à l'égard des situations professionnelles cibles. Ainsi, le prochain enjeu est de proposer un modèle cible pour caractériser les mouvements et aider le réseau de neurones dans son processus d'évaluation et d'identification du squelette 2D.

Pour atteindre cet objectif, le partenariat entre la HELHa et ergonova met en œuvre un sujet de mémoire autour de la représentativité des situations de travail pour tendre l'apprentissage du réseau vers un modèle cible assurant une représentativité du monde professionnel.

3. Conclusion

L'apport de nouvelles technologies dans un métier est une source bénéfique pour innover et peut assurer la survie d'une profession en diversifiant ses propositions et ses champs d'action. Les technologies proposées sont un atout nous permettant de proposer aux métiers d'ergonomes de nouveaux champs d'analyse et une évolution de notre métier en comblant une de nos lacunes quant à l'objectivation de nos diagnostics.

Cependant, nous observons par l'intégration de l'intelligence artificielle que des biais importants peuvent entrer en jeu lors de l'utilisation de nouvelles technologies. Beaucoup de nouveaux outils ont émergé autour de l'analyse des contraintes physiques, promettant des résultats intéressants, mais nombre de ces outils ont adopté le parti pris d'utiliser les technologies existantes sans passer par la phase de recherche et de structuration de l'apprentissage. Ceci entraîne un biais conséquent, l'apprentissage ayant été réalisé sur la base de vidéos de sport pour le marché du jeu vidéo. Or les situations de travail ne font pas face aux mêmes variabilités que celle du monde du sport.

Les résultats de ces outils dits innovants sont à remettre en question pour notre métier, et il nous apparaît que les nouvelles technologies doivent être conçues en fonction de nos objectifs et de l'usage que nous souhaitons en faire.

4. Bibliographie

Bonnardel, R. (1943). *L'adaptation de l'homme à son métier*. (Bibliothèque de philosophie contemporaine). Paris : Presses universitaires de France.

International Ergonomics Association (2000). *What is ergonomics ?* Récupéré le 29 septembre 2021 de https://iea.cc/what-is-ergonomics/