

titre de la conférence
[BIOPHYSIQUE FONDAMENTALE
DE LA COLONNE
VERTÉBRALE HUMAINE – AU-DELÀ
DE LA BIOMÉCANIQUE CLASSIQUE]

le conférencier
L'HOCINE YAHIA, professeur en
génie biomédical de l'Université
de Technologie de Compiègne
(PhD)

[5th FASCIA RESEARCH CONGRESS]
BERLIN - 14 & 15 novembre 2018

[auteur] Christian Courraud,
masseur kinésithérapeute, docteur en
sciences sociales, directeur du CERAP,
directeur pédagogique de TMG concept.

MODÈLE BIO-THERMODYNAMIQUE LA BIOMÉCANIQUE DEVIENT PRÉDICTIVE

Après avoir souligné que depuis ces vingt dernières années les recherches en biomécanique n'accordent que peu d'importance au fascia, l'Hocine Yahia a proposé d'aller au-delà de la biomécanique classique. Que nous a-t-il fait découvrir ?

L'Hocine Yahia a dans un premier temps abordé les problèmes de santé non résolus de la colonne vertébrale pour ensuite évoquer les limites des modèles de la biomécanique classique, développer la viscoélasticité des fascias et sa double fonction biomécanique et neurologique ainsi que les possibles alternatives au modèle classique à travers une nouvelle approche dite "bio-thermodynamique". L'Hocine Yahia s'est intéressé aux problèmes de la colonne vertébrale et plus particulièrement aux lombalgies et scoliozes considérées comme idiopathiques. La difficulté rencontrée par la médecine et la recherche standard est de ne pas être adaptée pour comprendre la complexité de ces pathologies multifactorielles. Il a également mis en avant la difficulté de modéliser le rachis, structure extrêmement

complexe et il a indiqué que des éléments comme les fascias étaient systématiquement écartés de l'analyse.

Les limites des modèles biomécaniques classiques du rachis

En effet, la plupart des recherches sur la biomécanique du rachis, publiées ces 25 dernières années, ont exclusivement eu recours à des modèles mathématiques qui ne reflètent malheureusement pas la réalité. Des progrès considérables ont ainsi été réalisés sur l'anatomie de la colonne vertébrale, la fonction et le calcul des charges qui s'exercent à travers le rachis, mais ces modèles ne sont pas très valides. En particulier car ils sont conçus à partir de corps inertes et de cadavres. Les études *in vivo* basées sur des situations dynamiques font

« Les études in vivo basées sur des situations dynamiques font défaut. La dimension vivante de la colonne vertébrale est évacuée de la recherche et il s'agit plutôt de nécromécanique que de biomécanique »

« Pour construire un nouveau modèle biomécanique, il faut intégrer le fascia dont les propriétés biomécaniques, viscoélastiques, et la sensibilité peuvent apporter un nouvel éclairage et renouveler la compréhension de la biomécanique »

cruellement défaut et l'Hocine Yahia parle ironiquement de « nécromécanique » au lieu de « biomécanique » pour indiquer que la dimension vivante de la colonne vertébrale est évacuée de la recherche.

Pour illustrer ces propos, il explique qu'un certain nombre d'éléments du système corporel comme les interactions biologiques, le système nerveux central ou encore les fascias sont absents des modèles biomécaniques. Concernant les fascias, dont on connaît le rôle dans la stabilité du rachis, il explique aussi que les études permettant d'estimer l'importance des muscles du tronc dans la flexion antérieure sont réalisées sans tenir compte du fascia thoraco lombaire qui concourt pourtant à la réalisation de la flexion antérieure du rachis et au lever de charges en favorisant l'action coordonnée des muscles et la répartition des forces.

COMPORTEMENT DU FASCIA THORACO-LOMBAIRE LORS DE CONTRAINTES MÉCANIQUES

La réponse à la mise en charge et à l'étirement du fascia thoraco-lombaire a été étudiée (hysteresis and relaxation tests). Il a été observé que celui-ci répond différemment selon le type de contraintes (dynamiques ou statiques) et leur application dans le temps. Trois phénomènes différents sont observés :

- ❶ la rigidité fasciale augmente lors d'étirements successifs ;
- ❷ Si une période de repos suffisante est laissée entre les mises en charge, la rigidité s'inverse et le fascia revient à sa forme initiale ;
- ❸ Lorsqu'on étire et qu'on maintient de façon isométrique le fascia, on observe une contraction du ligament.

« Dans les modèles classiques, le système nerveux est conçu pour contrôler les muscles. Bernstein (1967) a émis l'idée que le système nerveux détermine les degrés de liberté articulaires nécessaires pour réaliser une action »

Malgré les avancées récentes sur la compréhension du rôle du fascia dans les mouvements de la colonne vertébrale et les limites des modèles biomécaniques anciens, les chercheurs restent dans leur zone de confort et ne semblent pas remettre en question leurs théories. Il est ainsi très difficile d'intégrer de nouvelles données et de changer de modèle.

Les récents travaux sur le fascia

Pour construire un nouveau modèle biomécanique, l'Hocine Yahia propose d'intégrer le fascia dont les propriétés biomécaniques, viscoélastiques, et la sensibilité peuvent éclairer sous un nouveau jour et renouveler la compréhension de la biomécanique.

① La viscoélasticité du fascia

Dans un premier temps, l'Hocine Yahia a présenté le fascia sous l'angle de ses propriétés viscoélastiques et montré que ce tissu répond de façon tout à fait originale aux contraintes.

Le fascia ne répond pas de façon linéaire aux déformations et contraintes. Il est capable

de résister activement et de s'adapter en rigidifiant et en contractant sa structure tout en pouvant revenir à son état initial si on lui laisse le temps de se reposer. La présence de fibres musculaires intrafaciales (fibroblastes et/ou myofibroblastes) capables de se contracter spontanément a été évoquée pour expliquer ce comportement particulier. Récemment, une autre explication a été proposée : ce durcissement fascial serait plutôt causé par les modifications de la teneur en eau induites par les contraintes. La teneur en eau est clairement diminuée immédiatement après l'étirement, puis revient progressivement à son niveau de base (voir l'encadré *Comportement du fascia thoraco-lombaire lors de contraintes mécaniques* page 7).

② Les propriétés auxétiques du fascia

L'Hocine Yahia a ensuite présenté le fascia comme un matériau aux propriétés auxétiques. Les structures auxétiques forment une nouvelle classe de matériaux caractérisée par un Poisson's ratio [1] négatif. Ce type de matériaux est caractérisé par le fait qu'ils s'élargissent et se densifient lorsqu'ils sont étirés alors que les matériaux conventionnels se détendent et s'affinent lorsqu'on les soumet à une traction. Ce comportement est rendu possible grâce à leur structure interne conçue pour se déformer en produisant un Poisson's ratio négatif. (voir l'encadré *Comportement auxétique d'une structure* ci-dessous)

Il est possible d'obtenir un comportement auxétique à partir de l'arrangement complexe de fibres. En effet, les systèmes constitués de fibres organisées en spirale présentent un comportement auxétique. Il serait donc possible que le fascia qui présente un tel arrangement de ses fibres de collagène puisse se comporter comme un matériau auxétique.

③ Innervation du fascia thoraco-lombaire

L'innervation du fascia est aujourd'hui une évidence. Depuis 1990, plusieurs études ont confirmé la présence de mécanorécepteurs dans les fascias et les ligaments spinaux suggérant un rôle actif dépassant leur fonction de stabilisateur élastique de la colonne vertébrale. L'existence de nocicepteurs indique également que le fascia pourrait être une potentielle source de douleur.

Le système bio-thermodynamique

Pour clore son intervention, l'Hocine Yahia présente un nouveau modèle dit bio-thermodynamique considérant que la biomécanique doit être considérée comme un système complexe qui intègre les neurosciences, la biochimie et la biophysique. L'apport des neurosciences permet de changer le regard sur le contrôle moteur. Dans les modèles classiques, le système

COMPORTEMENT AUXÉTIQUE D'UNE STRUCTURE

Lorsqu'on exerce une force sur un matériau conventionnel, son épaisseur diminue et le tissu devient moins dense au point d'impact alors qu'à l'inverse, si l'on applique la même action sur un matériau auxétique, son épaisseur a tendance à augmenter et sa structure se densifie. Ce comportement auxétique des matériaux trouve une application dans la fabrication de gilets pare-balle pour diminuer la pénétration des balles.

« Ce modèle pourrait prédire l'évolution d'une scoliose, comprendre une implantation de prothèse qui ne fonctionne pas, etc. La spécificité du modèle bio-thermodynamique est d'utiliser et de coupler tous les paramètres biologiques et biophysiques »

nerveux est conçu pour contrôler les muscles. Bernstein (1967) a émis l'idée que le système nerveux ne contrôle pas les muscles, mais détermine les degrés de liberté articulaires nécessaires pour réaliser une action. Pour Feldman, le contrôle des muscles est une propriété émergente des neurones. Le système nerveux résout des problèmes et choisit parmi toutes les actions possibles celle qui est la plus adaptée à la situation en tenant compte de l'interaction entre l'organisme et l'environnement. Pour conclure, l'Hocine Yahia a présenté le système bio-thermodynamique dont

l'utilisation pourrait faciliter la prédiction du remodelage des tissus comme les os, les disques, les fascias. Ce modèle pourrait trouver une application clinique pour mieux prédire l'évolution d'une scoliose et savoir s'il faut opérer ou non ou bien encore pour comprendre pourquoi l'implantation d'une prothèse ne fonctionne pas. La spécificité de ce modèle bio-thermodynamique consiste à utiliser et à coupler tous les paramètres biologiques et biophysiques. Il devient alors possible d'observer les effets des changements biochimiques sur les paramètres biomécaniques et inversement.

De prédire ainsi l'évolution du remodelage et de la croissance des matériaux vivants. Une application de ce modèle a été réalisée pour simuler l'évolution de la densité de l'os normal et des applications thérapeutiques sont envisagées.

[1] Le Poisson's ratio mesure la contrainte transversale par rapport à la contrainte longitudinale : Fund et al considèrent que cette mesure est limitée entre -1 et 0,5 pour un matériau isotrope élastique linéaire. Pour un matériau anisotrope, il peut être positif ou négatif.



À propos de L'Hocine Yahia

L'Hocine Yahia a été diplômé en génie mécanique par l'Université d'Orléans en 1977 et il est titulaire du doctorat en génie biomédical de l'Université de Technologie de Compiègne (France) en 1980. Il est professeur à l'école Polytechnique de Montréal (Canada) depuis 35 ans et également professeur associé en biomatériaux et biomécanique au département de chirurgie de l'Université de Montréal. L'Hocine Yahia est actuellement directeur du laboratoire d'analyse de l'innovation et de la bioperformance.