

Contribution à l'analyse de la marche par l'étude de la relation statistique entre la localisation de la gravité et la rotation des hanches

THOMAS DE MEUR ¹, MICHEL HAYE ²

- 1 Physiothérapeute. Maître-assistant à la HEPH Condorcet – section kinésithérapie, Charleroi, Belgique
- 2 Physiothérapeute. Professeur invité à la HEPH Condorcet – section kinésithérapie, Charleroi, Belgique. Enseignant titularisé à l'Institut International de Kinésithérapie Analytique, La Louvière, Belgique

— RÉSUMÉ —

Cet article présente l'analyse spécifique de la relation entre deux paramètres de la marche humaine : la localisation sagittale de la gravité du train supérieur et l'état rotatoire de l'articulation coxo-fémorale.

L'objectif est de vérifier l'hypothèse du « réflexe du trigone lombo-sacro-coxo-fémoral » décrit par R. Sohier, distinguant deux types de marche humaine :

- La marche « qui vient du haut », associant une gravité antérieure du train supérieur et une rotation médiale de l'articulation coxo-fémorale.
- La marche « qui vient du bas », associant une gravité postérieure du train supérieur et une rotation latérale de l'articulation coxo-fémorale.

La méthodologie retenue se base sur l'utilisation d'un logiciel de capture de mouvement (Vicon Motion Capture ®) auprès d'un échantillon de 35 sujets masculins asymptomatiques.

Les résultats confirment l'hypothèse pour 28 d'entre eux. La relation gravité-rotation n'est, toutefois, pas respectée pour les 7 individus restants. Différentes hypothèses explicatives sont proposées.

Mot clés : *Biomécanique, marche, gravité, rotation de hanche, Vicon Motion Capture ®*

Keywords : *Biomechanics, gait, weight bearing, hip rotation, Vicon Motion Capture ®*

— INTRODUCTION —

C'est après avoir visionné un film qui montrait des étudiants en éducation physique qui déambulaient spontanément puis au pas de gymnastique, que Sohier ^(1 à 7) fût, pour la première fois, interpellé par la réaction automatique qui lie la localisation de la gravité du train supérieur et l'état rotatoire des hanches au cours de la marche. Tous les étudiants antériorisaient leur gravité et réduisaient la rotation latérale des hanches en marchant au pas de gymnastique. Viel ⁽⁸⁾ avait déjà observé que la variable « vitesse » influençait l'état rotatoire des hanches.

L'étude de Contamin C. et Meyers A. ⁽¹⁾ qui mesurait avec précision la durée de décolllement du pied postériorisé, et constatait une durée plus grande chez les sujets à gravité postérieure, fût également à la base de la théorie de Sohier sur la manière de marcher. Cette approche qualitative propose deux grands types de marche, toutes deux physiologiques :

- la marche « par le haut » où, comme le pense aussi S. Gracovetsky ⁽⁹⁾, la gravité et la dynamique du tronc sont le principal moteur.
- la marche « par le bas » où la puissance musculaire du bassin et des membres inférieurs jouent un rôle prépondérant.

Ces deux façons de marcher présument donc un recrutement musculaire qualitativement différent, une distribution des forces et une morphologie différente; et ... à l'excès ou lors d'une arythmie de distribution de forces, la facilitation ou la pérennisation de certaines pathologies ostéo-articulaires. Sohier propose alors, après examen global et analytique

et après thérapie manuelle, une rééducation visant à limiter les excès présents dans les rythmes des déplacements des segments corporels ^(1 à 7).

— CADRE THÉORIQUE —

La conception classique de LA marche nous donne une image mécaniste, pour ainsi dire normative d'un phénomène « uni-forme », celle d'un regard extérieur pour lequel les variations sont descriptives et quantitatives.

Depuis 89, avec la publication de « Deux marches pour la mécanique humaine » ⁽¹⁾, Sohier et Haye proposent une approche totalement autre de la marche, où coexistent deux formes qualitativement différentes du même phénomène. Ils nomment « marche qui vient d'en haut » et « marche qui vient d'en bas » les deux aspects que revêt la marche humaine.

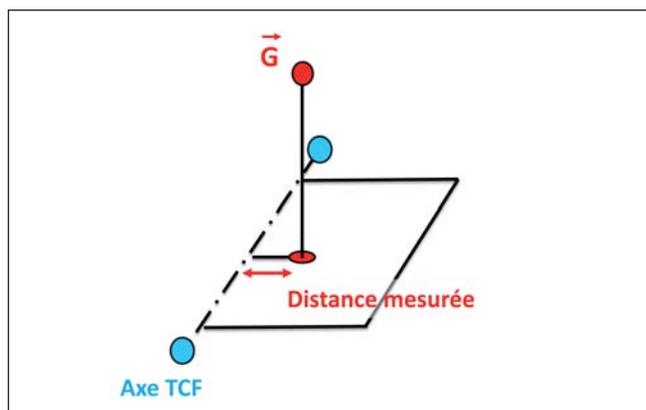
Bien qu'opposés en apparence, ces deux pôles de la marche possèdent un caractère commun s'articulant autour du trigone lombo-sacro-coxo-fémoral : la prédominance fonctionnelle de la gravité (en hors-aplomb antérieur ou postérieur) associée à la rotation (médiale ou latérale) de la hanche, par ce que Sohier appelle la **Réaction Posturale Automatique du Trigone lombo-sacro-coxo-fémoral**.

Notre étude porte exclusivement sur la vérification expérimentale de cette observation, en nous basant sur des valeurs chiffrées obtenues par un système informatique d'analyse du mouvement, mis à notre disposition par le LAMIH de l'Université de Valenciennes.

Il s'agit donc, à partir de notre échantillon de marcheurs, de vérifier statistiquement l'existence d'une corrélation, qui viendrait à son tour confirmer l'hypothèse.

— MÉTHODOLOGIE —

La première phase du travail a été consacrée à l'acquisition méticuleuse des données.



» » Fig. 1: Hors-aplomb gravitaire

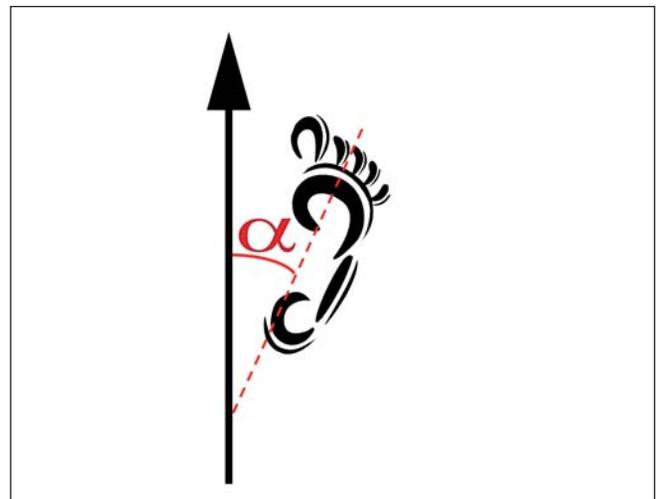
Notre échantillon est constitué de 35 marcheurs, sujets masculins âgés de 19 à 40 ans, ne présentant ni traumatisme récent ni déformation apparente.

Notre principal outil a été le Vicon Motion Capture®. Ce système vidéo informatique enregistre en temps réel, à l'aide de plusieurs caméras à infrarouges, le déplacement d'un sujet équipé de marqueurs rétro-réfléchissants, placés sur le corps. Nous avons utilisé 43 marqueurs et en moyenne, 12 passages validés ont été réalisés pour chacun des marcheurs. Associé aux mesures anthropométriques effectuées au préalable, le déplacement des marqueurs, enregistré et traité sur ordinateur, nous permet d'obtenir différentes valeurs.

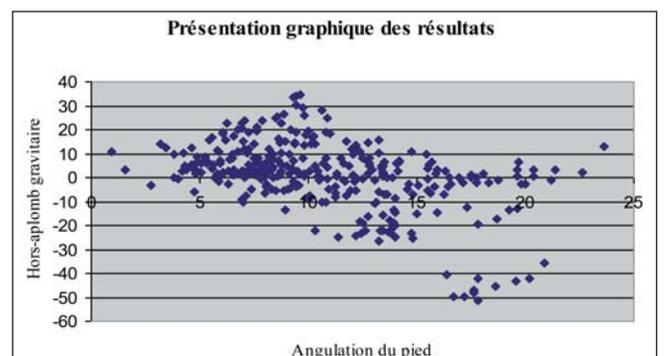
Une fois l'acquisition terminée, il est nécessaire d'analyser les données obtenues pour vérifier la cohérence du déplacement des différents marqueurs et permettre de calculer les grandeurs choisies.

Pour cette étude, nous avons retenu deux variables: le hors-aplomb gravitaire et le degré de rotation des membres inférieurs.

Le hors-aplomb gravitaire est déterminé par la distance qui sépare la projection du centre de gravité du tronc sur



» » Fig. 2: Angulation du pas



» » Fig. 3: Angulation du pied

un plan horizontal passant par l'axe trans-coxo-fémoral (fig. 1). Il s'exprime en millimètres. Une valeur positive renseigne d'une gravité antérieure et inversement.

Le degré de rotation des membres inférieurs s'évalue par l'amplitude de l'angle formé entre l'axe du pied et la trajectoire du sujet (fig. 2). Il s'exprime en degrés.

L'instant auquel ces valeurs sont calculées est l'attaque du pied droit, moment où survient l'impact céphalo-acétabulaire et où la torsion tibiale n'a pas encore eu lieu.

— RÉSULTATS —

La deuxième phase du travail est consacrée à l'étude statistique des données. Comme le but de notre travail est de déterminer s'il existe une relation statistiquement significative entre la localisation de la gravité et la rotation des hanches, le test statistique qui répond le mieux à nos besoins est un test de corrélation linéaire.

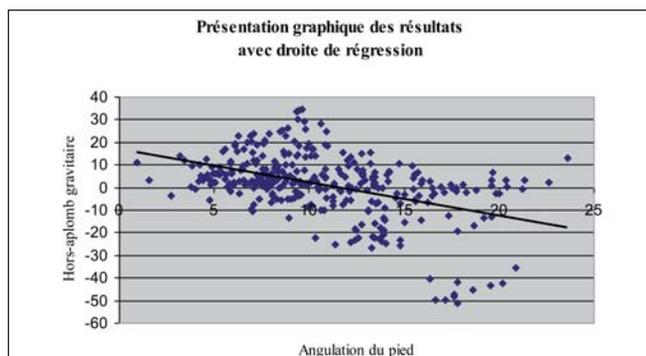
Nous utilisons l'ensemble des valeurs enregistrées lors de chaque passage, soit 330 couples de valeurs (localisation de la gravité et angulation du pas).

Dans un premier temps, nous avons représenté les données dans le plan. La représentation graphique (fig. 3) sous la forme d'un nuage de points montre à première vue une dispersion (à tendance négative) des données assez importante. Cette méthode n'est pas suffisante pour affirmer l'existence ou non d'une corrélation entre les séries de chiffres observés pour nos deux variables (10, 11, 12).

Et donc, c'est dans un deuxième temps, par l'utilisation de formules spécifiques et de tables, que nous cherchons à établir une éventuelle corrélation statistique (10, 11, 12).

Aux points de notre nuage, nous pouvons ajuster une ligne pour obtenir une droite dite de régression (fig. 4), dont le calcul de la pente nous permet de déterminer « r », le coefficient de corrélation.

Notons que la valeur de r est toujours comprise entre -1 et +1. Si r n'est pas significativement différent de zéro, les variables sont indépendantes. Si r est positif, aux fortes



» » Fig. 4: Angulation du pied

valeurs de l'une des variables sont associées de fortes valeurs de l'autre. Si r est négatif, aux fortes valeurs de l'une des variables sont associées de faibles valeurs de l'autre.

Dans certains cas, la méthode permet d'établir qu'une variable aléatoire quantitative varie en fonction des valeurs prises par une autre variable. On a coutume dans ce cas de parler de régression. Les deux variables ont alors un rôle dissymétrique.

Dans d'autres cas, la méthode permet d'établir que deux variables aléatoires ne sont pas indépendantes. On parlera alors de test de corrélation. Les deux variables ont alors un rôle symétrique. Dans les problèmes de ce deuxième type, le coefficient r peut être considéré comme exprimant l'intensité de la liaison entre les deux variables, d'où son nom de coefficient de corrélation. L'association est d'autant plus étroite que |r| est plus voisin de 1, sa valeur maximale.

Nous ne détaillerons pas ici les deux déterminations de r effectuées à partir de formules et de tables différentes.

Première détermination : $r = -0,452$ et donc $|r| = 0,452$

La table du coefficient de corrélation (d'après Fischer et Yates) donne à 5 % une valeur de 0,1946

La même table donne à 1 % une valeur de 0,2540

La limite de significativité à 5 % est dépassée: la liaison est significative.

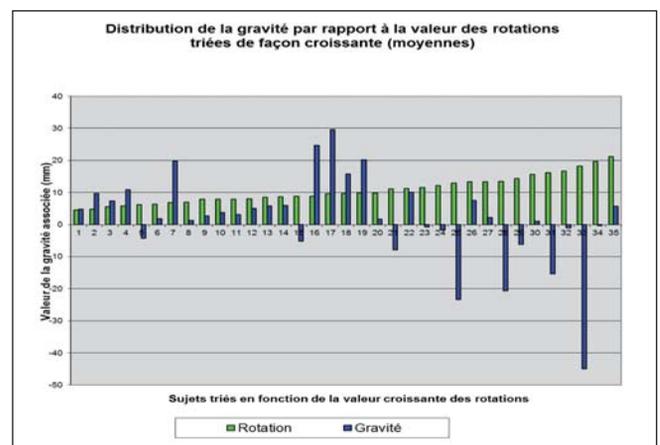
La seconde détermination donne une corrélation $r = -0,452$ avec $n=330$

Le tobs (test utilisant la table de Student) $|t_{obs}| = 9,1981$

La table donne $t(0,025);(328) = 1,9672$

On voit que $9,1981 > 1,9672$

Donc la corrélation est statistiquement significative.



» » Fig. 5: Classement des sujets par ordre croissant des moyennes de rotation

L'existence de cette relation nous assure de la pertinence du lien entre rotation de la hanche et hors-aplomb gravitaire, comme il est avancé dans la notion de réflexe postural du trigone lombo-sacro-coxo-fémoral.

— DISCUSSION —

Nous avons mis en évidence une corrélation significative pour notre échantillon. Rappelons encore que cette conclusion s'applique à une population masculine, jeune, sans problèmes apparents.

Au stade de l'observation critique de nos mesures, nous avons réalisé un graphique (fig. 5) sur lequel nous représentons la distribution de la valeur moyenne des gravités en fonction de la classification croissante des valeurs moyennes de rotation, pour chacun des sujets.

La première étape de notre réflexion consiste à définir une valeur repère de rotation, permettant par la suite de classer les sujets en deux groupes :

- Ceux présentant une rotation médiale
- Ceux présentant une rotation latérale

D'après la littérature, nous pouvons fixer cette valeur entre 8° et 10° de rotation par rapport à l'axe de déplacement du sujet. ⁽¹³⁾

Par le calcul de la moyenne et de la médiane des 330 passages enregistrés, nous obtenons respectivement des valeurs de 10,7° et de 9,95° de rotation.

Nous choisissons arbitrairement la valeur repère de 10° (fig. 6).

La seconde étape consiste en l'analyse qualitative des deux paramètres mesurés. Rappelons le postulat autour duquel se construit cette étude. Pour R. Sohier,

- Dans la marche par le haut, à une valeur de rotation médiale de hanche doit s'associer une gravité antérieure
- Dans la marche par le bas, à une valeur de rotation latérale doit s'associer une gravité postérieure.

Sur base de ce nouveau critère, nous pouvons classer nos sujets en deux catégories (fig. 7) :

- 28 sujets dits « cohérents », respectant le postulat
- 7 sujets dits « aberrants », présentant une relation contradictoire entre la rotation et la gravité.

Pourquoi avoir conservé ces sujets aberrants dans notre étude statistique ?

Pourquoi ne pas avoir effectué un tri dans notre échantillon avant (ou après !) les acquisitions de données ?

Dans le cadre d'une étude statistique, il est nécessaire de conserver une part de hasard dans la constitution d'un échantillon, pour qu'il reste le plus représentatif possible d'une population.

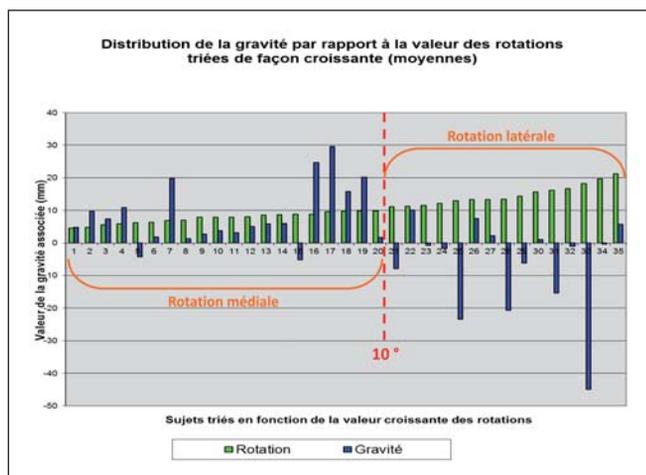
Un tri, avant ou après les évaluations, aurait biaisé nos résultats.

Les sujets cohérents (cohérent par opposition au qualificatif « aberrant ») nous ont permis de mettre en évidence une corrélation utile dans le cadre plus vaste de l'étude du trigone.

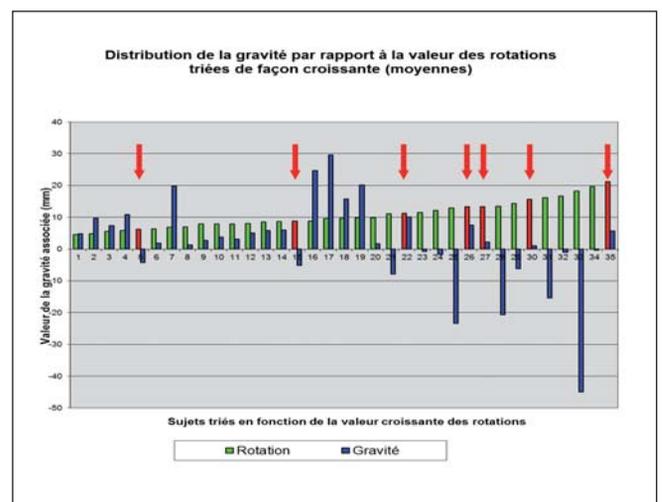
Les sujets aberrants nous donnent, pour leur part, l'occasion d'approfondir nos réflexions.

Comment expliquer leur situation ?

Faute d'avoir pu réaliser un examen clinique a posteriori, nous ne pouvons qu'envisager brièvement quelques hypothèses pouvant expliquer ces « dysfonctionnements ».



» » Fig. 6 : Classement des sujets en fonction de la valeur repère de 10° de rotation



» » Fig. 7 : Mise en évidence des sujets « aberrants »



Ainsi, la présence d'un décentrage articulaire au niveau d'une articulation portante peut perturber le fonctionnement du trigone.

Une différence de longueur de membre peut également modifier les appuis céphalo-acétabulaires et la localisation de la gravité, donc le réflexe du trigone.

De même, un problème de dos peut entraîner un déplacement anormal du centre de gravité et modifier les informations qui lui sont liées.

Enfin, il y a l'influence possible des attitudes antalgiques et des phénomènes de compensation.

— CONCLUSION —

Pour Sohier ^(1 à 7), les sujets aberrants se sont déprogrammés pour des raisons posturales (perturbation des entrées extéroceptives et (ou) proprioceptives - dysharmonies articulaires, dysfonctions viscérales- troubles psychiques), fonctionnelles (professionnelles ou sportives), ou encore par arythmie de distribution des forces, généralement d'origine structurale (excès de rotation médiale de la hanche par adaptation à un angle de déclinaison du col fémoral trop grand, excès de postériorité du tronc suite à une maladie de Scheuermann etc....).

Autant de sujets d'études !

En termes de perspectives thérapeutiques, récupérer ces réactions automatiques semble être un élément important de la rééducation sensori-motrice. Des travaux préliminaires ⁽¹⁴⁾ semblent montrer que c'est la localisation de la gravité qui commande l'état rotatoire des hanches et non l'inverse.

Le système Vicon a, enfin, été utilisé pour étudier la dynamique de la ceinture scapulaire chez le scoliotique au cours de la marche (travaux préliminaires ⁽¹⁵⁾). Les asymétries constatées, auto-aggravantes, pourraient conduire à repenser les corsets dynamiques, à bandes élastiques ⁽¹⁶⁾ pour que la marche cesse d'aggraver la situation, voire devienne correctrice.

— BIBLIOGRAPHIE —

- [1] Sohier R. et M. Haye, (1989), *2 marches pour la mécanique humaine*, La Louvière, Ed. Kiné-Sciences
- [2] Sohier R.,(1995), *La dynamique du vivant du rachis et des sacro-iliaques*, La Louvière, Ed. Kiné-Sciences, pp. 45-51; 67-76; 90-96; 125-126; 147-163
- [3] Sohier R., (1998), *Biologie mécanogène - Cinq cents notions fondamentales de biomécanique humaine*, La Louvière, Ed. Kiné-Sciences, pp. 23, 31-33, 45, 57, 67
- [4] Sohier R. et J. Sohier,(2000), *Concept Sohier – Justification fondamentale de la réharmonisation biomécaniques des lésions dites « ostéopathiques »*, La Louvière, Ed. Kiné-Sciences, pp. 89-95
- [5] Kinésithérapie Scientifique – *Le mensuel pratique du kinésithérapeute*, n° 298, *La thérapie analytique de Raymond Sohier*, 1991, Paris, La Maison des Kinésithérapeutes

- [6] Kinésithérapie Scientifique – *Le mensuel pratique du kinésithérapeute*, n° 325, *La thérapie analytique de Raymond Sohier*, 1993, Paris, La Maison des Kinésithérapeutes
- [7] Kinésithérapie Scientifique – *Le mensuel pratique du kinésithérapeute*, n° 347, *La thérapie analytique de Raymond Sohier*, 1995, Paris, La Maison des Kinésithérapeutes
- [8] Viel E., F.Plas et Y.Blanc,(1979), *La marche humaine – Kinésiologie dynamique, biomécanique et pathomécanique*, Monographies de l'Ecole de Cadres de Kinésithérapie de Bois-Larris, 2° édition, Paris, Ed. Masson
- [9] Gracovetsky S. *Le rôle des membres supérieurs dans le contrôle du pelvis et du cou durant la marche*, Revue de Médecine vertébrale N° 8 pp 4-8, 2002
- [10] Schwartz D. et P. Lazar, (1964), *Eléments de statistique médicale et biologique à l'usage des étudiants en propédeutique médicale*, Paris, Ed. Médicales Flammarion
- [11] Johnston J.,(1985), *Méthodes économétriques – Tome 1*, 3° édition, Paris, Ed. Economica, pp. 49, 349
- [12] Vessereau A.,(1958), *Que sais-je? – La statistique – n° 281*, 6° édition, Paris, Ed. Presses Universitaires de France
- [13] Viel E., *la marche, la course et le saut*
- [14] Becavin L. *Etude des déplacements antéro-postérieurs du tronc en fonction de l'état rotatoire des membres inférieurs lors de la marche, sur une population saine* TFE pour le diplôme de Licencié en Kinésithérapie HEPCUT Charleroi – Belgique – 2003
- [15] Leroy C. *Etude de la dynamique du train supérieur du scoliotique au cours de la marche* TFE pour le diplôme de Licencié en Kinésithérapie HEPCUT Charleroi – Belgique – 2004
- [16] Chatry M. *Vision de la Kinésithérapie analytique sur un nouveau concept de traitement orthopédique de la scoliose idiopathique: le corset dynamique de correction*
Mémoire pour le DIU de spécialité en kinésithérapie pédiatrique Université R. Descartes – UFR Necker Enfants Malades 2000

— CONTACT —

Michel Haye
40, r. du Bois
BE-6040 JUMET
michelhay@hotmail.com