

## **Analyse du mouvement et handicap : application à la marche pathologique**

*L'analyse du mouvement est un domaine en plein essor auquel les cliniciens portent de plus en plus d'intérêt. Ainsi, plusieurs structures hospitalières et cliniques se sont dotées de centres spécialisés pour analyser la marche pathologique. Mais qu'est-ce qui distingue la marche pathologique de la marche « normale » ? En quoi des méthodes d'analyse du mouvement peuvent-elles être mises au service d'une approche thérapeutique visant à améliorer la marche dans le traitement de certains handicaps moteurs ?*

Parmi les techniques d'évaluation du handicap, celles qui concernent les pathologies relatives au mouvement soulèvent des difficultés particulières. En effet la plupart des outils permettent une quantification de l'activité physiologique de patients immobiles. La complexité du mouvement et l'étude de l'évolution de l'état du patient au cours du temps nécessite l'utilisation d'outils nouveaux. Pour la marche dite « pathologique » et, jusqu'à un passé récent, seule la vidéo était employée. Les indications thérapeutiques résultant de l'analyse vidéo ne se révélaient pas toujours efficaces et les cliniciens avaient besoin d'un outil capable de quantifier de manière fiable le mouvement. Plusieurs structures hospitalières et cliniques se sont dotées de centres spécialisés pour réaliser les analyses de la marche et un examen a vu le jour : l'analyse quantifiée de la marche (AQM).

Les avancées réalisées par les chercheurs et cliniciens dans la description et la compréhension de la marche « normale » ont permis de se pencher sur la marche « pathologique » dans l'espoir de mieux l'appréhender et de la corriger. L'analyse du mouvement tient aujourd'hui une place prépondérante dans la quantification objective de la pathologie. Il est évident, en effet, qu'au-delà de la connaissance relative à la marche dite « normale », c'est sa contribution à une meilleure compréhension de la pathologie qui est primordiale pour l'homme. Les études déterminantes pour comprendre les caractéristiques fondamentales de la marche sont celles rassemblant des données normatives sur le cycle de marche chez des sujets asymptomatiques, qui servent à comparer la marche pathologique à une norme (c'est-à-dire une population « normale »)<sup>1</sup>, celles analysant la variabilité de la marche pas à pas ou bien dans son ensemble<sup>2</sup>, et celles développant des modèles informatisés de la marche,

### ***La marche normale ou asymptomatique***

Dans un monde à la recherche perpétuelle de la perfection, le mouvement parfait est un mythe. Le geste juste, stéréotypé, qui correspondrait à des canons extrêmement précis pour être reconnu parfait n'existe pas. Le mouvement dit « normal » ne constitue de fait qu'un standard théorique, un repère abstrait, tout autant influencé par des contraintes naturelles que par des normes culturelles.

Quelqu'un qui marche dans la rue les pieds en canard est-il pathologique ? D'un individu à l'autre, une activité comme la marche est variable. On peut marcher plutôt vite ou lentement, les jambes plus ou moins écartées ou encore comme la mode du moment l'impose. Une jeune fille élancée qui apprécie la mode et les mannequins pourra peut-être adopter une marche de défilé de haute couture, en plaçant un pied juste devant l'autre et en attaquant le sol par la

---

<sup>1</sup> Mills (P. M.), Barrett (R. S.), « Swing phase mechanics of healthy young and elderly men », *Human movement science*, n° 20, 2001, p. 427-446.

Whittle (M.), *Gait analysis: an introduction*, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002, p. 220.

<sup>2</sup> Stolze (H.), Kuhtz-Buschbeck (J. P.), Mondwurf (C.), Johnk (K.), Friege (L.), « Retest reliability of spatiotemporal gait parameters in children and adults », *Gait & posture*, vol. 7, n° 2, 1998, p. 125-130.

pointe du pied. On a pu voir également des démarches particulières adoptées par les jeunes et qui les identifient à une certaine société ou catégorie de personnes. La marche est une façon d'appréhender le monde, de se marquer socialement et il est bien difficile de déterminer une normalité.

D'un point de vue mécanique, la marche est un phénomène cyclique. Son analyse suppose de prendre un repère qui rende compte des différentes étapes composant un cycle de marche. Pour chaque membre, un cycle de marche est défini comme la durée qui va de la survenue d'un événement particulier, habituellement le contact du pied, jusqu'à l'apparition suivante du même événement sur le même membre (par exemple, du contact du pied droit au prochain contact du même pied). Il est à noter que nous utilisons ici l'expression « contact du pied » et non « contact du talon » car, bien que dans la marche normale le talon soit la première partie du pied à entrer en contact avec le sol, dans le cas de certaines pathologies d'autres parties du pied (par exemple les orteils) peuvent entrer en contact avec le sol en premier.

Bien que le cycle de marche ait sa propre durée et que cette durée puisse être un paramètre important en soi, le cycle de marche est habituellement normalisé de sorte que le contact initial du pied représente 0% (début du cycle) et le contact suivant du même pied représente 100% (fin du cycle). Ce procédé de normalisation rend plus facile la comparaison entre individus et chez un même individu entre les cycles des deux membres.

Le cycle de marche peut encore être réduit pour chaque membre en deux phases principales, la phase d'appui et la phase oscillante, qui alternent pour chaque membre pendant la marche (figure 1). Ceci implique d'ajouter un événement supplémentaire au cycle de marche, le « toe-off » en anglais (qu'on pourrait traduire par « lever d'orteil »), qui correspond au moment où la pointe du pied quitte le sol. Un cycle de marche est ainsi composé d'une phase d'appui (environ 60% du cycle) suivie d'une phase oscillante (environ 40% du cycle) pour chacun des membres inférieurs droit et gauche. Lorsque les deux membres sont en phase d'appui, on parle d'appui bipodal ou de double appui ; lorsqu'un des deux membres est en phase d'appui et l'autre en phase oscillante, on parle d'appui unipodal.

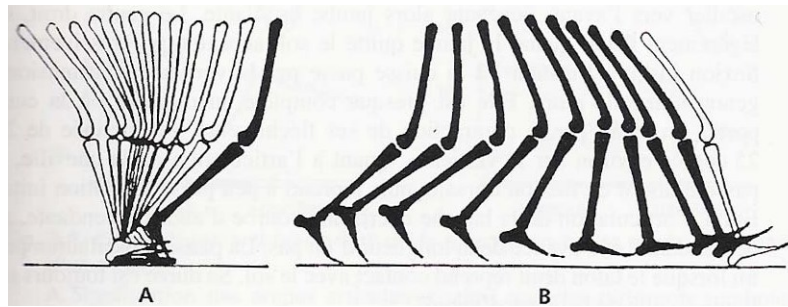


Figure 1. Positions du membre inférieur pendant la phase d'appui (A) et la phase oscillante (B)<sup>1</sup>.

Cependant, d'une façon plus pragmatique, marcher normalement c'est d'abord « mettre un pied devant l'autre » et pouvoir se rendre d'un point A à un point B sans difficulté, douleur ou fatigue. Gage<sup>4</sup> a défini cinq critères qui caractérisent une marche normale : la stabilité lors de la phase d'appui, un passage du pas qui se fait avec aisance, un positionnement correct du pied à la fin de la phase oscillante, une longueur de pas adéquate ainsi que la conservation de l'énergie (efficacité). Quand cette marche ne répond pas à ces critères, alors on peut la qualifier de pathologique.

#### EN RESUME

- ▶ La marche normale peut être définie comme un phénomène cyclique et symétrique.
- ▶ Le cycle de marche est divisé en deux phases: la phase d'appui et la phase oscillante.
- ▶ La marche normale répond aux cinq critères de Gage : stabilité de l'appui, aisance du passage du pas, positionnement correct du pied à la fin de l'oscillation, longueur adéquate du pas, efficacité.

#### La marche pathologique

Le cycle de marche constitue l'unité d'analyse de la marche. Si la répartition en pourcentage de phase d'appui et de phase oscillante n'est pas symétrique pour la jambe droite et la jambe gauche, alors on peut en déduire qu'il y a une pathologie de marche. Les causes possibles de la marche pathologique sont multiples et diversifiées, et il faut donc analyser un grand nombre de paramètres pour déterminer les causes particulières intervenant dans chaque cas, puis proposer une thérapie en fonction des troubles identifiés. Chaque trouble modifie la marche des patients d'une manière singulière et affecte des paramètres de la marche différents et dans des proportions variables. Cependant, la marche pathologique se caractérise toujours par une réduction de la longueur du pas, fréquemment associée à une augmentation de la durée de double appui : la préservation de l'équilibre postural semble primer sur la vitesse de progression chez les sujets pathologiques, comme d'ailleurs chez les personnes âgées.

On distingue les troubles d'origine traumatique (entorse, luxation, fracture, etc.) et neurologique. Les troubles neurologiques sont issus d'une souffrance du cerveau à un moment ou un autre (accident vasculaire cérébral, souffrance à la naissance, grande prématurité) [Voir dans la même collection *Les déficiences motrices* chapitre 2 pour de plus amples informations].

Parmi les troubles neurologiques, deux pathologies affectant la marche des patients, l'hémiplégie et la diplégie, ont notamment été étudiées dès le dix-neuvième siècle et sont

<sup>1</sup> D'après Drillis (R.), « Objective recording and biomechanics of pathological gait », *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 74, issue 1 Contributions, pp. 86-109.

<sup>4</sup> Gage (J. R.), *Gait analysis in cerebral palsy*, Blackwell Scientific Publications Ltd, Oxford, 1991, n° 61.

abondamment documentées. Les descriptions de la marche de patients n'ont cessé d'être enrichies à mesure du développement technologique, et nous disposons aujourd'hui de classifications pour ces deux affections<sup>5</sup>. Ces classifications des différentes pathologies affectant la marche sont des outils précieux dans l'approche de ces troubles locomoteurs. Pourtant, l'exercice quotidien des cliniciens les confronte à des cas singuliers où peuvent se mêler plusieurs types d'atteintes ou de pathologies et, dans ces cas, les connaissances empiriques, même les plus précises, peuvent se révéler insuffisantes. L'analyse quantifiée de la marche (AQM) est un examen clinique quantitatif né précisément de la nécessité pour des cliniciens de mieux appréhender les troubles afin de proposer aux patients des options thérapeutiques efficaces.

Concernant les troubles d'origine traumatique, la médecine actuelle est très performante. De ce fait, l'analyse de la marche est très peu employée puisqu'il s'agit de réparer les organes lésés (os, ligament, tendon). Le problème est tout autre en ce qui concerne les troubles du mouvement d'origine neurologique. En fonction de la lésion du système nerveux, on aura différentes atteintes des membres.

#### Les outils nécessaires à l'analyse du mouvement en clinique

*Avant même le matériel, l'AQM nécessite d'évoluer dans une salle suffisamment grande (longueur et largeur), dédiée à l'analyse de la marche, pensée et réfléchi à cet effet :*

- elle contient tous les systèmes de capture, une table de mixage vidéo, l'informatique et un espace pour équiper le patient ;*
- elle permet au patient de marcher en ligne droite sur une distance d'au moins dix mètres (ce qui représente au moins quatre cycles de marche chez l'enfant) ;*
- elle autorise un recul suffisant pour enregistrer un nombre minimum de cycles de marche complets (dans l'idéal quatre) ;*
- elle dispose d'appareils de capture de mouvement en trois dimensions (systèmes opto-électroniques) et électromyographiques.*

#### EN RESUME

- ▶ *La marche pathologique se traduit par des caractéristiques particulières du cycle de marche.*
- ▶ *La marche pathologique est complexe à définir et à mettre en évidence car elle résulte le plus souvent de l'effet combiné de multiples facteurs.*
- ▶ *La marche doit être appréhendée sous un grand nombre d'aspects (cinématique et cinétique articulaire, activité musculaire).*

#### **L'analyse quantifiée de la marche (AQM)**

Analyser la marche c'est tout d'abord l'observer ; en cela l'outil vidéo est indispensable parce que l'on peut détailler la marche du patient (regarder la marche au ralenti, aller en avant, en arrière, image par image, etc.), et parce que cela permet de garder une trace de l'état de la marche du patient à un instant t. Du coup, il est possible de comparer la marche avant et après un acte thérapeutique. L'expérience du clinicien dans l'identification des anomalies est évidemment à la base de l'utilisation de cette technique. Il est également possible d'utiliser des grilles d'observations qui permettent d'étudier la marche étape par étape. Classiquement,

<sup>5</sup> Winter (T. S.), Gage (J. R.), Hicks (R.), « Gait pattern in spastic hemiplegia in children and young adults », *The Journal of Bone and Joint Surgery*, Vol 69, Issue 3 437-441.

Rodda (J. M.), Graham (H. K.), Carson (L.), « Sagittal gait patterns in spastic diplegia ». *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 2004, n° 86-B, p. 251-258.

la marche s'étudie dans un repère précis : le cycle de marche. Toutefois, même si l'enregistrement de la marche est réalisé de façon rigoureuse (en respectant les plans), un certain nombre d'anormalités sont invisibles à l'œil nu. L'analyse quantifiée de la marche (AQM) vient donc compléter l'observation du praticien.

L'AQM est un examen à part entière, qui a été introduit dans la classification commune des actes médicaux (CCAM) sous le code NKQP003, et associé à l'intitulé « Analyse tridimensionnelle de la marche ». L'AQM fournit quatre types de données, liées aux différents systèmes utilisés : données spatiotemporelles et cinématiques (capture du mouvement), données cinétiques (plates-formes de force) et données électromyographiques. Ces données sont complétées par une vidéo fonctionnelle de la marche (c'est-à-dire prise sous des angles précis permettant l'analyse visuelle dans un premier temps).

Depuis plus d'une vingtaine d'années, le développement de systèmes avancés de capture du mouvement a permis d'optimiser l'utilisation de l'analyse de la marche et d'étudier sa validité<sup>3</sup>. Un certain nombre de travaux a démontré l'intérêt de l'AQM dans la prise de décision chirurgicale. Les auteurs ont comparé les conclusions faites par les médecins après des examens cliniques et vidéographiques, puis après AQM, chez des patients infirmes moteurs cérébraux (IMC). L'AQM a conduit les médecins à modifier totalement leurs indications chirurgicales avec une augmentation des indications pour les jumeaux (59 %), le droit antérieur (65 %) et une diminution pour les autres sites habituels. Elle a permis également de modifier les gestes chirurgicaux sur les os.

L'amélioration diagnostique résultant de l'utilisation de cette analyse a également favorisé le développement du concept de « chirurgie multi site en un temps » qui consiste à réaliser en moyenne jusqu'à quatre gestes chirurgicaux par membre en une seule fois. Cette approche diminue l'impact psychologique des interventions multiples réalisées séparément, optimise les améliorations fonctionnelles et réduit le coût médical. Ce type de chirurgie nécessite une analyse globale de la motricité du patient. Ainsi, l'AQM apporte les données nécessaires aux indications chirurgicales en complément de l'examen clinique.

Outre le rôle d'aide à la décision, l'AQM constitue également un examen de référence pouvant être comparé à d'autres examens ultérieurs pour juger des modifications éventuelles de la marche, par exemple dans le cadre d'un suivi longitudinal. La littérature recense de nombreux exemples d'une telle application de l'analyse de la marche : évaluation des résultats d'un traitement (par exemple, après reconstruction du ligament croisé antérieur<sup>4</sup>, chirurgie de la hanche<sup>5</sup>, évaluation de l'alignement d'orthèses et de prothèses destinées aux membres inférieurs<sup>6</sup>, marche appareillée et évaluation des risques de chutes<sup>7</sup>. Dans le cas des troubles spastiques, l'AQM permet de juger de l'efficacité d'une administration de toxine botulique<sup>8</sup>

---

<sup>3</sup> De Luca (P. A.), Davis (R. B.), Ounpuu (S.), Rose (S.), Sirkin (R.), « Alterations in surgical decision making in patients with cerebral palsy based on three dimensional gait analysis », *Journal of pediatric orthopedics*, vol. 17, n° 5, 1997, p. 608-614.

<sup>4</sup> Knoll (Z.), Kiss (R. M.), Kocsis (L.), « Gait adaptation in ACL deficient patients before and after anterior cruciate ligament reconstruction surgery », *Journal of electromyography and kinesiology*, n° 14(3), 2004, p. 287-294.

<sup>5</sup> Kyriazis (V.), Rigas (C.), « Temporal gait analysis of hip osteoarthritic patients operated with cementless hip replacement », *Clinical biomechanics*, n° 17(4), 2002, p. 318-321.

<sup>6</sup> Carlson (W. E.), Vaughan (C. L.), Damiano (D. L.), Abel (M. F.), « Orthotic management of gait in spastic diplegia », *American journal of physical medicine & rehabilitation*, vol. 76, n° 3, 1997, p. 219-225.

<sup>7</sup> Maki (B. E.), Holliday (P. J.), Topper (A. K.), « A prospective study of postural balance and risk of falling in an ambulatory and independent elderly population », *Journal of gerontology*, 49(2), 1994, p. 72-84.

<sup>8</sup> Toxine qui permet de diminuer ou d'empêcher la contraction musculaire à l'endroit où elle a été injectée. Elle est indiquée pour traiter la déformation du pied en équin chez les enfants infirmes moteurs cérébraux souffrant de spasticité.

dans des muscles spécifiques ou d'une injection intrathécale de Baclofen<sup>9</sup> par pompe (spasticité diffuse).

### Déroulement d'une AQM au Centre de médecine physique et de réadaptation pour enfants de Bois-Larris (Croix-Rouge française)

*Cet examen se déroule environ sur deux heures et en plusieurs parties.*

- *Le patient se met en sous-vêtements afin de permettre une observation libre de sa marche.*
- *Prises de vue de la marche sous différents plans : sagittal, frontal (face et dos), transversal (vue de haut) ; capture de l'empreinte des pieds via un podoscope ; capture de la posture statique (le patient debout est filmé sous tous les plans).*
- *Enregistrement de la marche par tapis électronique (type GaitRite) pour mesurer les paramètres spatiotemporels ainsi que la stabilité au cours de la marche.*
- *Enregistrement de la position statique érigée du patient statique sur plate-forme de stabilité.*
- *Examen clinique des membres inférieurs (réalisé par un médecin) dans lequel les amplitudes des différentes articulations, la force et la spasticité\* des différents muscles sont évaluées.*
- *Équipement du patient : les électrodes électromyographiques sont positionnées selon un placement géométrique. Des marqueurs rétro réfléchissants sont placés sur des sites anatomiques précis (les sites dépendent du modèle biomécanique utilisé ; le plus souvent, on en trouve sur les hanches, les genoux et les chevilles).*
- *Acquisition des données relatives à la marche du patient. Plusieurs allers-retours sont nécessaires.*
- *Reconstruction du modèle afin d'obtenir et interpréter les courbes de cinématique, de cinétique et d'électromyographie.*
- *Production du rapport d'analyse de la marche et interprétation (hors temps d'AQM).*

#### EN RESUME

- ▶ *L'AQM fournit des données spatiotemporelles et cinématiques (capture du mouvement), cinétiques (plateformes de force) et électromyographiques (EMG).*
- ▶ *Ces données sont complétées par une vidéo fonctionnelle de la marche.*
- ▶ *L'A.Q.M est un examen utilisé comme instrument d'aide au diagnostic médical et à la mise en œuvre de techniques chirurgicales nouvelles*

#### **Paramètres spatiotemporels et cinématiques de la marche**

Ce sont les paramètres de base qui fournissent une idée générale de la marche d'un patient. Ils sont calculés pour les cycles droits et gauches et donnent une première indication sur la symétrie ou la dissymétrie de la marche. Ils comprennent entre autre la cadence, la longueur du pas et la vitesse de marche.

La cinématique s'attache à décrire le mouvement. Comme le mot « cinéma » renvoie à ce que l'on peut observer, le mouvement est étudié dans sa composante observable. Un angle de cheville composé du segment jambe et du pied fait partie de la cinématique. Cette composante est très importante puisqu'elle traduit ce que l'on a pu observer avec la vidéo en une série de courbes chiffrées. On quantifie le mouvement. Concernant la marche, la cinématique de la cheville est étudiée en fonction du cycle de marche (figure 2).

---

<sup>9</sup> Technique réversible de diffusion dans l'organisme d'un antispastique au moyen d'une pompe implantée. Elle est indiquée dans le traitement de la spasticité sévère.

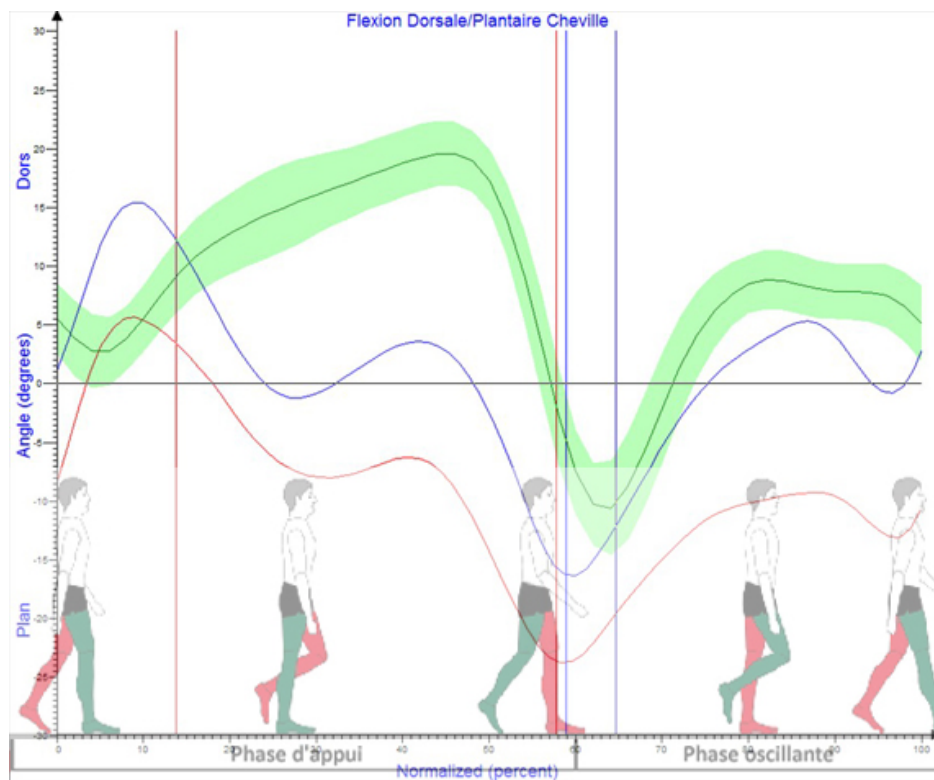


Figure 2. Courbe cinématique du mouvement de la cheville dans le plan sagittal (flexion dorsale/flexion plantaire).

En vert, les courbes de la marche normale, en rouge, la cheville gauche, en bleu la cheville droite. La séparation verticale gauche/droite aux 60 % du cycle correspond au début de la phase oscillante.

Les courbes de la figure 2 traduisent la cinématique de la cheville gauche, de la cheville droite ainsi qu'une flexion/extension d'une cheville normale. Comme on peut le voir, la zone « normale » est épaisse. Elle est appelée « corridor de normalité ». Cela traduit le fait que les patients sains ne marchent pas exactement tous de la même manière. Ces différences se traduisent par des courbes légèrement différentes. Toutefois, même s'il existe des disparités, celles-ci sont limitées et le mécanisme de flexion/extension de cheville est contraint par les propriétés mécaniques du système musculo-squelettique, ce qui explique que nos façons de marcher soient à peu près les mêmes. Le patient à qui appartiennent ces courbes peut être analysé de la façon suivante :

- il attaque le pas par l'avant pied avec une tendance à la flexion dorsale juste après le contact initial ;
- puis les deux pieds tendent vers la flexion plantaire ;
- le pied gauche reste en flexion plantaire pendant quasiment tout le cycle de marche ;
- au passage du pas, la flexion plantaire est plus exagérée à gauche qu'à droite ;
- en phase oscillante, le pied gauche reste en flexion plantaire ;
- on remarque un défaut de flexion dorsale à droite en phase d'appui ;
- on note en milieu d'appui des oscillations correspondant au réflexe à l'étirement.

Bien évidemment, sortie de son contexte, l'analyse de cette courbe seule ne permet pas d'interpréter la pathologie de ce patient. Il s'agit simplement de la description du mouvement d'une articulation. L'exagération de la flexion plantaire au passage du pas, par exemple, n'est pas suffisante pour identifier le problème au niveau de la cheville. On peut noter tout au plus que la cinématique de ces deux chevilles est anormale. Il faut prolonger et approfondir l'analyse pour comprendre ce qui se passe réellement. Cela se fait notamment par l'analyse de

la cinématique des autres articulations (genoux, hanches, bassin), des autres composantes du mouvement (rotations par exemple), et enfin grâce à l'identification des « causes » inobservables du mouvement permise par la mesure des paramètres cinétiques de la marche.

EN RESUME

- ▶ *Les paramètres spatiotemporels et la cinématique traduisent de façon quantifiée la partie observable de la marche.*
- ▶ *Chaque courbe doit être considérée en relation avec l'ensemble des autres mesures spatiotemporelles et cinématiques pour pouvoir être interprétée.*

### ***AQM et paramètres cinétiques de la marche***

La cinétique traduit des causes du mouvement [voir chapitre 2, intertitre « la dynamique : les causes du mouvement, p. 8], bien que le terme de « cause » soit impropre. On parle de moments et de puissances. Une étude des forces appliquées au sol est nécessaire pour comprendre ces deux notions. Sans entrer précisément dans la présentation des notions de mécanique [voir chapitre 2, intertitre « la dynamique : les causes du mouvement, p. 10], il est utile de rappeler que la notion de bras de levier\* est fondamentale à considérer pour mesurer un moment de force\*. Dans la courbe de la figure 3, on voit que le moment (externe dans ce cas) est permanent et biphasique pour la cheville droite et gauche. Lors d'une marche normale, le contact initial se faisant par le talon, le moment de force est, en simplifiant, quasi nul. Les courbes pathologiques que nous observons montrent en premier lieu que le contact initial se fait par l'avant du pied (il y a un bras de levier dès le contact du pied au sol). En comparant cette donnée avec la courbe de la cinématique de cheville plus haut (figure 2), on retrouve les mêmes données (l'attaque du pas par l'avant-pied), traduisant pour l'un une observation angulaire et pour l'autre l'interaction du pied avec le sol étudié au niveau de l'articulation de cheville. Si l'on traduit cette simple observation du contact initial en clinique, on observe que le patient attaque le pas par l'avant-pied avec une force et/ou un bras de levier important. Les forces en jeu au niveau de la cheville fatiguent cette articulation et les risques quant à son intégrité au cours du temps sont à prendre en considération. Bien souvent on propose une thérapeutique visant à rétablir le contact initial par le talon.



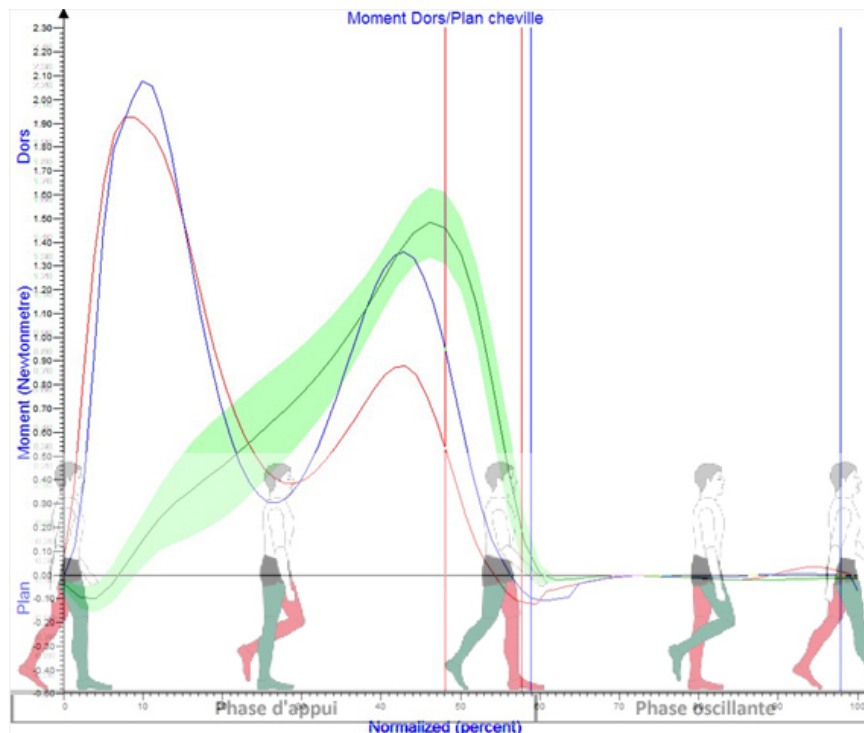


Figure 3. Courbe du moment de cheville dans le plan sagittal (flexion plantaire, flexion dorsale). En vert, les courbes de la marche normale, en rouge, la cheville gauche, en bleu la cheville droite. La séparation verticale gauche/droite aux 60 % du cycle correspond au début de la phase oscillante.

Les courbes de puissance nous renseignent sur la quantité d'énergie mécanique mobilisée par le patient (en absorption et en génération) au niveau de la cheville dans ce cas, pendant la marche. Cette puissance est calculée à partir du moment de force. On y « intègre » la notion de vitesse angulaire. Faire un mouvement rapidement, c'est générer de l'énergie. Tomber sur le sol, c'est absorber de l'énergie. Cette capacité du sujet à produire ce qu'il faut comme énergie au bon moment est la garantie d'une marche efficace, c'est-à-dire donnant un maximum d'efficacité pour un minimum de coût. La courbe de la figure 4 montre la capacité du patient à produire ou non l'énergie nécessaire à la phase de propulsion. Là encore, les raisons de cette incapacité sont multiples. Il peut s'agir de problèmes architecturaux qui ne permettent pas au patient de pousser dans l'axe, par exemple, ou de faiblesse musculaire, ou de problèmes de commande motrice.

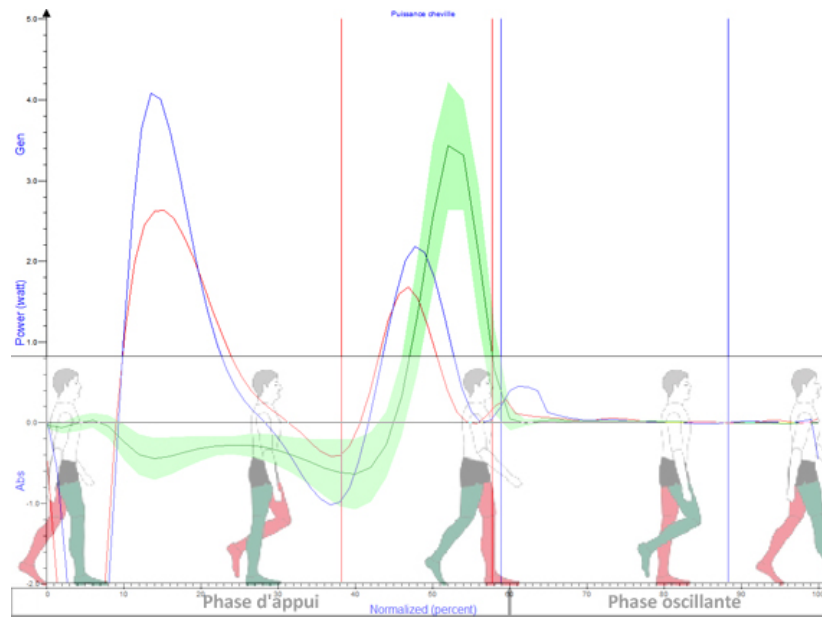


Figure 4. Courbe de puissance de cheville dans le plan sagittal.

En vert, les courbes de la marche normale, en rouge, la cheville gauche, en bleu la cheville droite. La séparation verticale gauche/droite aux 60 % du cycle correspond au début de la phase oscillante

#### EN RESUME

► La cinétique est l'étude des forces mises en jeu par le patient pour réaliser sa marche.

#### **AQM et paramètres électromyographiques de la marche**

Les problèmes de faiblesse musculaire sont les plus difficiles à identifier. Bien souvent c'est sur la base d'une analyse clinique que le médecin identifie les muscles faibles ou présentant une activité anormale. Toutefois, si un muscle paraît faible ou fort sur la table d'examen, on ne retrouve pas toujours les mêmes observations lors de la marche. D'autres facteurs interviennent comme la capacité du patient à contrôler ses muscles par exemple. Les problèmes de commande sont mis en évidence par l'électromyographie (EMG). Généralement, dans la majeure partie des centres d'analyse de la marche, on utilise l'électromyographie de surface [voir chapitre 1, intertitre « application de l'EMG à l'analyse du mouvement, p. 12]. Ce que l'on récupère, c'est surtout un « timing » d'activité musculaire (c'est-à-dire début et fin d'activité), associé à une durée de contraction. La forme de la bouffée (le patron d'activité musculaire) a également son importance. Il n'est cependant pas question d'en déduire de manière directe la force musculaire. La figure 5 représente l'activité électromyographique au cours du cycle de marche. En rouge, sont représentés les timings de contractions pour une population normale. Si l'on observe les signaux enregistrés pour le muscle rectus femoris (droit antérieur ; extenseur du genou, fléchisseur de la hanche), on constate une activité prolongée, voire anormale, du muscle pendant la phase oscillante. On suppose alors que cette activité particulière a pour conséquence, au niveau de la cinématique du genou, un retard de flexion au passage du pas. Pour le triceps sural par exemple, c'est l'enveloppe de la courbe (la forme de la bouffée) qui est anormale. Pour un sujet « sain », il devrait y avoir une augmentation progressive de l'activité musculaire. Dans le cas présent, la bouffée est de grande amplitude dès le contact initial. Cette observation est à corréliser avec le fait que le patient attaque le pas par l'avant-pied.

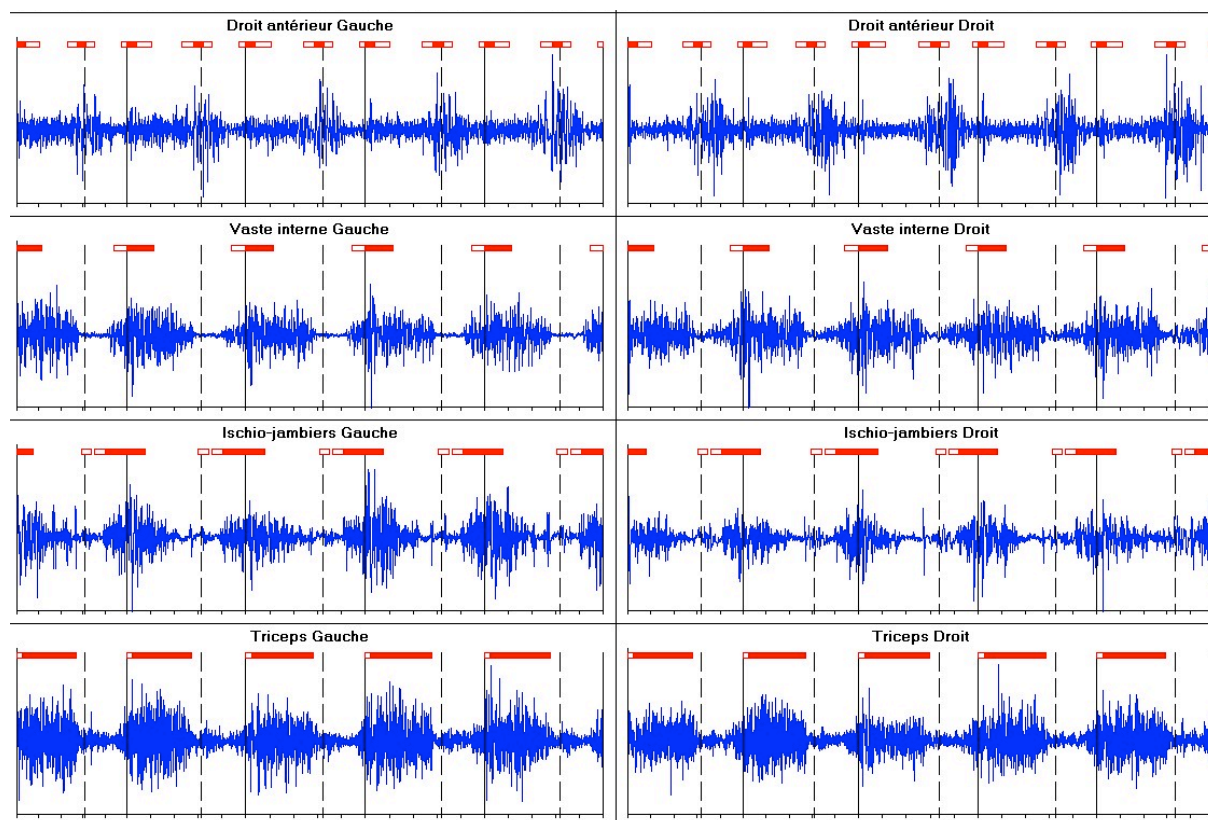


Figure 5. Signaux électromyographiques du patient rapporté au cycle de marche.

Les lignes verticales pleines correspondent au début de la phase d'appui, les lignes verticales pointillées correspondent au début de la phase oscillante. En rouge, les timings de contraction « normales »<sup>10</sup>.

#### EN RESUME

- ▶ L'électromyographie dans l'AQM permet d'appréhender l'activité musculaire du patient non en termes de force mais en termes de timing d'activité.
- ▶ Elle reflète l'activité de contrôle du mouvement par le patient.
- ▶ Elle permet au clinicien de comprendre l'action de tel ou tel muscle en relation avec la cinématique et la cinétique, et ainsi d'améliorer ses indications thérapeutiques.

#### **Un seul coup d'œil pour évaluer la marche du patient**

La lecture d'une analyse quantifiée de la marche nécessite un apprentissage qui peut être long. Pouvoir lire chacune des courbes isolément ne signifie pas nécessairement que l'on soit capable de « croiser » les données pour interpréter le mouvement dans sa complexité. La compétence à en tirer des indications thérapeutiques est plus difficile encore à acquérir pour le médecin. Au niveau de la chirurgie, peu d'équipes en France savent réellement exploiter toutes les données de l'AQM. Il peut être alors nécessaire d'avoir des outils qui permettent d'évaluer d'un seul coup d'œil la gravité de la pathologie. Un certain nombre de scores et d'index sont utilisés pour permettre au clinicien d'établir rapidement un premier diagnostic. Parmi les nombreux outils existant, nous en présentons deux qui offrent chacun la possibilité d'aborder un point de vue différent de la motricité du patient.

<sup>10</sup> D'après Perry (J.), *Gait analysis normal and pathological function*, 1992, Slack, Thorofare (N. J.), xxxii, p. 524.

Le *Gillette gait index*<sup>11</sup> est une mesure de la déviation de la marche d'un sujet par rapport à une population saine de référence. Il est calculé à partir de 16 paramètres de la marche (données cinématiques angulaires et paramètres spatiotemporels enregistrés par un système optoélectronique d'analyse du mouvement). Dans la majeure partie des laboratoires d'analyse de la marche, la valeur moyenne relevée pour la population saine est d'environ 15. Plus la valeur du *Gillette gait index* est éloignée de 15 (> 15), plus la cinématique de la marche est anormale. Cette valeur est calculée pour la jambe droite et la jambe gauche. La moyenne des deux donne une idée globale du degré d'anormalité de la marche. Cet index peut être employé pour différentes raisons : évaluer le degré d'affectation d'une pathologie spécifique, suivre la pathologie de la marche d'un sujet dans le temps, examiner l'efficacité d'une intervention ou de sa prise en charge thérapeutique (kinésithérapie, appareillage, etc.).

Le *Functional ambulation profile*<sup>12</sup> est effectué lors du passage du patient sur un tapis de marche et permet de caractériser la sévérité des anomalies de la marche affectant un sujet. Il est calculé sur la base des paramètres spatiotemporels et de leur variabilité sur l'ensemble des cycles de marche enregistrés par le tapis. À partir d'un score initial de 100, des points sont retranchés en fonction des anomalies de la marche détectées sur le sujet. Le score obtenu donne une indication précieuse sur la qualité de la stabilité au cours de la marche et du risque de chute associé.

#### EN RESUME

► *Il existe des outils d'évaluation de la marche permettant un premier diagnostic clinique rapide, en délivrant des « scores » globaux.*

► *Les scores permettent rapidement de se faire une idée de la qualité cinématique de la marche ou de la stabilité au cours de la marche.*

#### **Les limites de l'AQM**

L'analyse quantifiée de la marche présente des limites que le praticien doit connaître afin de relativiser l'importance accordée à chaque paramètre mesuré. Ainsi cet examen ne donne qu'une quantification dite « relative » de la marche. En effet, ce sont plutôt les formes des courbes (patrons) et leur écart à la normale (toujours en termes de formes) qui donnent de réelles indications. La valeur exacte d'un angle de flexion du genou ou de rotation de la hanche n'est pas possible à obtenir dans l'état actuel des modélisations de la marche humaine. Affirmer qu'à l'attaque du pas un genou a « xx » degrés de flexion ne peut au mieux être qu'une indication approximative. En revanche, il est possible d'établir des comparaisons relatives : le genou peut par exemple être considéré comme plus fléchi à l'attaque du pas, ou bien moins fléchi qu'à l'examen précédent (à condition que l'examen de marche soit reproductible d'une session à l'autre). La recherche d'une précision absolue de la mesure fait actuellement l'objet de recherches scientifiques au sein des écoles d'ingénieurs et des centres disposant d'unités d'analyse de la marche. Pour autant, ce n'est pas parce que cette précision est relative qu'elle n'est pas juste. La reproductibilité des résultats est une condition forte de la fiabilité de ces examens. Un patient doit pouvoir obtenir les mêmes résultats (en termes d'interprétation) selon le centre d'examen au sein duquel il a réalisé son test. De même, ce patient doit pouvoir dans un même centre disposer d'un examen assez fiable pour comparer un examen antérieur avec celui qu'il passe aujourd'hui. C'est tout l'enjeu aujourd'hui pour l'analyse de la marche de pratiquer des examens reproductibles, de qualité, dont les résultats donnent, d'un centre à l'autre, la même analyse de la marche d'un patient. Pour cela, bien sûr,

---

<sup>11</sup> Schutte (L. M.), Narayanan (U.), Stout (J. L.), Selber (P.), Gage (J. R.), Schwartz (M. H.), « An index for quantifying deviations from normal gait », *Gait posture*, n° 11(1), 2000, p. 25-31.

<sup>12</sup> Nelson (A. J.), « Functional ambulation profile », *Physical Therapy*, n° 54, 1974, p. 1059-1065.

il faut que ceux qui interprètent ces examens sachent ce que l'AQM permet d'affirmer, et surtout ce qu'elle ne permet pas d'affirmer sur les caractéristiques de la marche d'un patient.

### Questions sur le texte

- *Qu'est-ce qu'une marche dite normale ?*
- *Sur quoi se base le clinicien pour appréhender de manière complète la marche d'un patient ?*
- *Pour analyser la marche on se base sur un découpage d'événements précis. Lesquels ?*
- *Quels types de données obtient-on lors d'une analyse quantifiée de la marche ?*
- *À l'origine, quel type d'approche thérapeutique était concerné par l'AQM ?*
- *Quelles sont les principales limites de l'AQM ?*

### Lexique spécifique au chapitre

**Bras de levier** : distance séparant une extrémité du levier de son point d'appui

**Cycle de marche** : Un cycle de marche pour un membre est défini comme la durée qui va de la survenue d'un événement particulier, habituellement le contact du pied, jusqu'à la prochaine apparition du même événement sur le même membre (par exemple, du contact du pied droit au prochain contact du même pied).

**Diplégie** : paralysie atteignant de façon identique deux régions symétriques du corps.

**Double appui** : phase de la marche où les deux pieds sont en contact avec le sol.

**Hémiplégie** : défaut de commande volontaire complète ou partielle affectant une moitié du corps à la suite d'une lésion des centres moteurs ou du faisceau pyramidal et dont les causes sont diverses (vasculaires le plus souvent, tumorales, infectieuses, etc.).

**Moment de force** : c'est l'aptitude d'une force à faire tourner un système mécanique autour d'un point donné, qu'on nommera pivot.

**Spasticité** : augmentation du réflexe d'étirement (dépendant de la vitesse) associée à une exagération des réflexes ostéotendineux.