

MINISTÈRE DE LA SANTÉ
RÉGION LORRAINE
INSTITUT LORRAIN DE FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE
DE NANCY

SEMELLES AVEC CAPTEURS D'APPUI ET RÉTROINFORMATION
RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT DU
SENSOR FEET

Rapport de travail écrit personnel
présenté par Basile Claudon
étudiant en 3^{ème} année de kinésithérapie
en vue de l'obtention du Diplôme d'État
de Masseur-kinésithérapeute
2007 – 2008.

SOMMAIRE

RÉSUMÉ

1. INTRODUCTION	1
2. NOTION DE RÉTROACTION.....	1
2. 1. DÉFINITION	1
2. 2. RÉTRO-ACTION BIOLOGIQUE OU BIOFEEDBACK	3
3. PROJET SENSOR FEET	4
3. 1. DU BIOBACK AU SENSOR FEET	4
3. 2. CAHIER DES CHARGES ET ÉVOLUTIONS	5
3. 2. 1. LE BOITIER.....	5
3. 2. 2. LE CAPTEUR	6
3. 2. 3. LE LOGICIEL DE TRAITEMENT DE L'INFORMATION	7
3. 3. PARTENARIAT AVEC LA SOCIÉTÉ DOERLER MESURES	7
3. 4. LA PARTICIPATION DU C. R. F. LAY-SAINT-CHRISTOPHE	9
4. DESCRIPTION DU MATÉRIEL	9
4. 1. ÉTUDE NÉCESSAIRE POUR LA CONFIGURATION DES CAPTEURS	10
4. 2. LE LOGICIEL INFORMATIQUE	14
5. PROTECTION INTELLECTUELLE	18
6. PROTOCOLE D'ÉVALUATION EN VUE DE LA VALIDATION DU SENSOR FEET	19
7. CONCLUSION.....	20

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

RÉSUMÉ.

Dans les suites de lésions neurologiques centrales, le contrôle de la qualité des appuis des membres inférieurs au sol n'est, le plus souvent, plus réalisé correctement. Les patients, par perturbation des systèmes internes proprioceptifs ou moteurs, ont une information erronée de la position debout et des appuis plantaires lors de la marche. L'acquisition de ces contrôles passe par l'apprentissage d'un comportement nouveau qui est une étape importante du programme de rééducation.

Ainsi, des techniques de biofeedback sont proposées comme méthodes de rééducation, le matériel utilisé doit donc révéler aux patients les événements pathologiques afin de lui permettre de corriger progressivement les erreurs effectuées.

Actuellement, il existe des instruments de baropodométrie dynamique permettant au thérapeute d'analyser des anomalies de pression, de la répartition des aires d'appuis et des conséquences fonctionnelles sur le déroulement du pas. Cependant ces instruments ne constituent que des outils diagnostiques.

Le Bioback®, outil thérapeutique embarquable utilisant la rétro-information a été conçu et validé par le Centre de Réadaptation Fonctionnelle de Lay Saint-Christophe en 1993 et n'est plus commercialisé depuis cinq ans.

Il a ainsi été décidé d'un partenariat avec la société Doerler Mesures, spécialiste dans le domaine de la mesure physique en termes de matériel et de génie logiciel. Une réflexion est conjointement menée sur les modifications à apporter en tenant compte des évolutions possibles des différents composants de la chaîne de mesure et des évolutions technologiques. Il s'agit de concevoir un nouveau système qui serait à la fois instrument d'analyse et outil thérapeutique.

Mots-clés : barocapteurs, rétro-information, biofeedback, Bioback®.

1. INTRODUCTION.

En rééducation, les techniques de rétro-actions biologique (biofeedback) ont été développées depuis les années 70 et s'utilisent comme moyen complémentaire pour améliorer la fonction motrice (1). L'appui plantaire est un élément qui peut être perturbé qualitativement et quantitativement dans de nombreuses pathologies.

La recherche d'applications dans le contrôle de l'appui podal afin d'améliorer la marche a amené l'équipe pluridisciplinaire du Centre de Réadaptation Fonctionnelle (C.R.F.) Lay-Saint-Christophe à réfléchir sur une chaîne instrumentale capable de transmettre au patient une rétro-information pertinente. Il est intéressant de replacer ce travail de recherche dans la continuité d'une étude précédemment réalisée au centre de Lay-Saint-Christophe en précisant les améliorations apportées au matériel en tenant compte de l'évolution des différentes technologies.

Cette démarche est à l'origine de la conception d'un nouveau matériel, la semelle Sensor Feet qui succède donc à un précédent appareil, le Bioback® (4). Cette semelle est donc dotée de capteurs de pression et d'une interface informatique pour gérer les paramètres rétro-informatifs. Dans la continuité de l'expérience précédente, la démarche adoptée sera ainsi développée : mise en œuvre de sa conception et description de ses caractéristiques techniques.

2. NOTION DE RÉTROACTION.

2. 1. DÉFINITION.

Le terme original est *feedback*, Norbert Wiener l'emploie dans les années 50 comme étant « la façon de « bien commander un ensemble » en lui faisant connaître les résultats des actions en cours et donc la différence entre ces résultats et ce qui était désiré à priori » (3). La

rétroaction fait partie d'un processus de contrôle qui comprend entre autre une rétro-information ainsi qu'un rétrocontrôle (fig. 1). La rétro-information ou information en retour est la perception d'une action et met en jeu des mécanismes de captage, de transmission et d'analyse des évènements à étudier. Le rétrocontrôle est la vérification de l'action et permet le lien entre rétro-information et rétroaction, il résulte de la comparaison de l'information de décision et celle d'exécution (5).

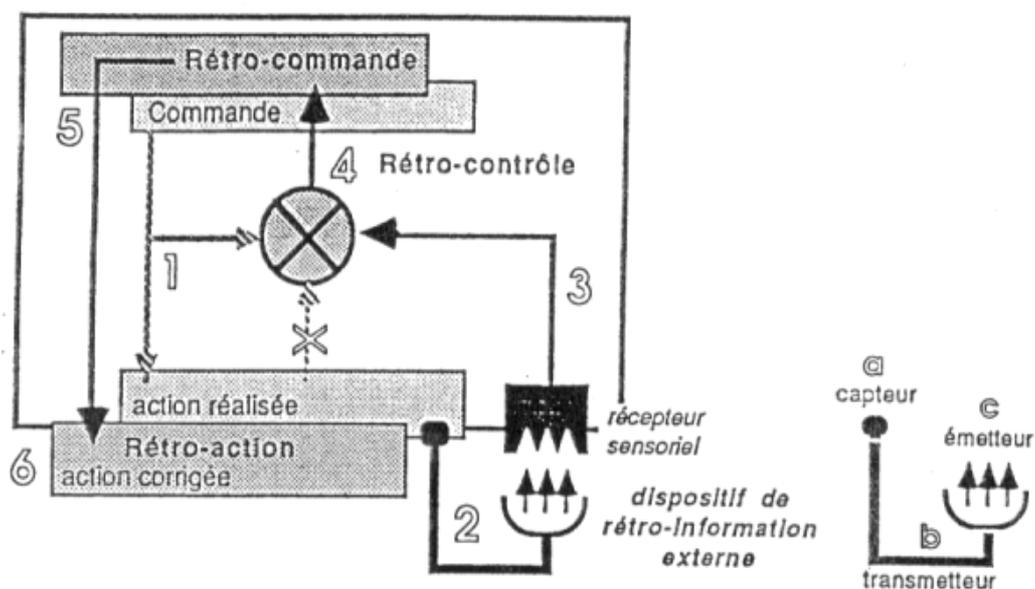


Figure 1 : boucle de rétro-information avec chaîne instrumentale externe (1).

Pour illustrer ces définitions, on peut utiliser pour comparaison le fonctionnement d'un système de chauffage et de son thermostat. Le thermostat du système de chauffage de votre habitation déclenche la mise en marche de la chaudière dès que la température est inférieure à un seuil fixé. Mais, dès que la température atteint le niveau maximum fixé, ce même thermostat en informe aussitôt la chaudière qui stoppe alors son fonctionnement.

2. 2. RÉTRO-ACTION BIOLOGIQUE OU BIOFEEDBACK.

Le mot biofeedback a ensuite été choisi pour désigner l'application au vivant de ce principe général. Dans les deux le dominateur commun est le phénomène par lequel un système est susceptible de se modifier selon les informations qui lui parviennent.

Du point de vue pratique, on cherche à faire prendre conscience au patient de la perturbation de certaines activités physiologiques, dans le but d'aider le patient à modifier ou régulariser ces fonctions déficientes. Ceci s'adresse principalement au système autonome et au système neuromusculaire. Cette méthode de traitement est définie en 1969 par la Société Américaine de Biofeedback comme « une technique utilisant une instrumentation en général électronique afin de révéler de manière continue et instantanée les évènements physiologiques internes normaux ou anormaux, sous formes de signaux visuels et auditifs. Le sujet apprend à manipuler, à contrôler ces évènements physiologiques internes en analysant les signaux externes qui lui sont présentés » (5).

En France, le professeur André précise cette notion par rapport à la kinésithérapie, comme étant une « méthode de rééducation utilisant, dans un but d'apprentissage par conditionnement, une rétro-information externe apportée transitoirement par une chaîne instrumentale capable d'objectiver les performances » (2).



Figure 2 : Le miroir, premier instrument de rétroaction biologique ?

3. PROJET SENSOR FEET.

3. 1. DU BIOBACK AU SENSOR FEET.

En fait, le concept Sensor Feet découle d'une première étude réalisée au C.R.F. en 1993 suite à l'intérêt porté, en rééducation, aux chaînes instrumentales permettant de donner au patient, une rétro-information pertinente en situation fonctionnelle. Cette expérience avait permis de concevoir un appareil nommé Bioback®.

Deux capteurs étaient proposés :

- un capteur angulaire de type effet Hall, élaboré pour contrôler principalement l'hyperextension du genou lors de la phase d'appui chez le patient vasculaire,
- un capteur de pression (fig. 3) ou barocapteur de type FSR transmettant par l'intermédiaire d'un capteur talonnier et d'un boîtier portatif une rétro-information sonore, avec la valeur de pression/seuil réglée par potentiomètre. Il ne disposait pas de mémoire. Seul l'affichage sur le boîtier permettait la visualisation du nombre d'évènements et le suivi de l'évolution des performances. Techniquement, le signal de sortie du capteur est proportionnel à la pression qui lui est exercée et ce jusqu'à une valeur de 15 Kg maximum. Au delà, il y a nécessité d'un traitement informatique afin de linéariser le signal, condition pour que la transcription de l'information soit fiable.



Figure 3 : Le Bioback® et son capteur de pression.

L'équipe thérapeutique qui avait réfléchi à une chaîne instrumentale permettant de travailler l'appui avec comptabilisation du nombre d'évènements a décidé de mettre au point un nouveau système qui serait à la fois instrument d'analyse et outil thérapeutique (fig. 4).

Ce nouvel outil doit être simple d'utilisation mais plus performant que le précédent, en tenant compte des évolutions technologiques. Il doit donner des informations au thérapeute sur la localisation de zones préférentielles d'appui recherchées lors du transfert mais aussi rendre compte des valeurs quantitatives de cet appui.

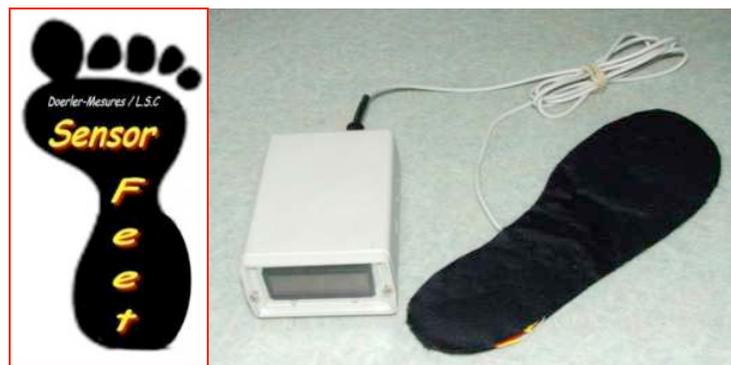


Figure 4 : Le prototype du Sensor Feet.

3. 2. CAHIER DES CHARGES ET ÉVOLUTIONS.

3. 2. 1. LE BOITIER.

- Dimension : 120/70/30 cm maximum.
- Logement de pile 9 Volts.
- Clip attache ceinture.
- Couleur indifférente.



Figure 5 : Face avant et arrière du boîtier.

Face avant de l'appareil :

- écran L. C. D. pour l'affichage des 3 compteurs
- L. E. D. de visualisation de la valeur seuil

Côté de l'appareil :

- interrupteur à glissière pour la fonction marche/arrêt

Face arrière :

- 1 connexion pour le capteur semelle par une prise subminiature 9 points
- 2 connexions jacks pour les interfaces de biofeedback (vibreux et/ou casque)
- 1 connexion pour la liaison informatique (type RS232) par une prise subminiature 15 points.

3.2.2. LE CAPTEUR.

Les capteurs, secondairement utilisés en situation fonctionnelle, doivent mesurer en première intention, par l'intermédiaire d'une semelle, l'appui au niveau des zones

préférentielles de la plante du pied, lors d'un équilibre unipodal ou bipodal. Les éléments sensibles de mesures sont donc à inclure à l'intérieur de ce « capteur-semelle » (fig. 4).

3. 2. 3. LE LOGICIEL DE TRAITEMENT DE L'INFORMATION.

En termes d'évolution, le Sensor Feet doit proposer différents choix de modes de travail paramétrés par le thérapeute :

- choix des capteurs en fonction de la zone à étudier
- dissociation pour quantifier l'appui au niveau de l'avant-pied et/ou de l'arrière-pied
- association pour mesurer un appui global ou travailler le déroulement du pas
- choix du type de rétro-information (sonore, visuelle, vibratoire)
- choix d'une logique positive (la rétro-information est effective lorsque la valeur seuil est atteinte ou dépassée) ou négative (la rétro-information est effective tant que la valeur seuil n'est pas atteinte ou dépassée).

D'autre part, le logiciel doit permettre le comptage, sur trois chiffres, du nombre d'appuis ayant remplis les conditions définies par le rééducateur (atteinte des valeurs seuils) ainsi que la remise à zéro des compteurs.

Il serait intéressant de visualiser en direct sur écran les graphes correspondant aux performances du patient.

3. 3. PARTENARIAT AVEC LA SOCIÉTÉ DOERLER MESURES.

La réalisation de ce projet a amené l'équipe de rééducation à trouver un partenaire local compétent dans le domaine de la mesure et des capteurs. Le choix s'est tourné vers la société Doerler Mesures (ANNEXE I) qui pouvait répondre au cahier des charges proposé. Elle s'est

engagée à mettre à disposition de l'équipe de rééducation des outils d'évaluation permettant de rendre compte des perturbations de l'appui plantaire.

En effet, le centre accueille des patients présentant des lésions neurologiques dont les conséquences sur les fonctions de marche et d'équilibre peuvent être importantes. Ces déficiences, mises en évidence par les rééducateurs sont le point de départ de choix thérapeutiques orientant le programme de rééducation.

Les déficits moteurs et fonctionnels présentés par les patients, nécessitent le plus souvent l'utilisation d'outils d'évaluation et de rééducation spécifiques.

Ainsi le biofeedback trouve sa place grâce aux techniques développées dans les secteurs de rééducation. Depuis plusieurs années, des chaînes instrumentales spécifiques sont utilisées à des fins d'apprentissage par conditionnement.

Le projet commun, répondant à ce cahier des charges proposé est de réaliser un système embarquable capable d'observer les performances du patient dans les différentes situations fonctionnelles.

Le système proposé doit permettre par l'intermédiaire d'un barocapteur semelle de rendre compte des zones préférentielles d'appuis et de quantifier la pression exercée. Une rétro-information, confirmant la réussite ou l'erreur de l'action réalisée, est transmise au patient au moment opportun où l'évènement se produit. Cette information amène le patient à modifier son comportement moteur.

Ce système miniaturisé fournit au patient et au thérapeute un outil extrêmement intéressant pour suivre l'évolution de situations d'exercices successifs en analysant les performances motrices et ainsi pouvoir in fine mieux évaluer ses progrès. En fonction des résultats, le thérapeute pourra de façon plus objective, le guider dans ses exercices et lui proposer un programme de rééducation afin d'améliorer la fonction déficitaire.

3. 4. LA PARTICIPATION DU C. R. F. LAY-SAINT-CHRISTOPHE.

L'équipe de rééducation a d'ores et déjà montré un très vif intérêt pour le système proposé par la société Doerler Mesures. Ils se sont portés volontaire pour tester les prototypes et aider à leur mise au point finale.

Ces situations d'entraînements spécifiques feront l'objet de publications dans certaines revues techniques et médicales. Afin que ce partenariat permette d'amener ce projet à terme, tout en encourageant la société à se lancer dans leur développement, l'équipe s'est engagée à relayer toutes les phases intermédiaires et au terme des essais cliniques, à présenter un matériel prototype qui sera proposé à différents secteurs : l'Institut Régional de Réadaptation, l'IFMK de Nancy, les professionnels libéraux... La commercialisation souhaitée de cet outil de rééducation impliquera les sociétés spécialisées dans la vente de matériels médicaux.

4. DESCRIPTION DU MATÉRIEL.

La société Doerler Mesures développe donc un système complet et portable d'enregistrement, de traitement, de transmission des données, associé à un capteur semelle (fig.6). Le type de capteur de pression utilisé est de marque Flexiforce®.



Figure 6 : Barocapteur.

Le capteur de semelle est connecté au module enregistreur du boîtier par une connexion filaire et une puce électronique permet d'identifier ces capteurs et de configurer l'enregistreur.

En face avant du boîtier portable, un écran L. C. D. permet au thérapeute d'accéder aux informations relatives au comptage des événements relevés par le système d'enregistrement informatique (atteinte du seuil minimum, du seuil maximum et nombre de pas). L'écran L. C. D. affiche sur 3 chiffres ces valeurs.

L'information sonore ou vibratoire est transmise lorsque la valeur seuil définie par le thérapeute est atteinte.

Sur le côté du boîtier, la fonction « marche / arrêt » est accessible par un interrupteur à glissière. En face arrière se trouvent la connectique pour les capteurs et la sortie informatique. Un logiciel simple mais spécifique a été développé afin d'exploiter ces résultats.

4. 1. ÉTUDE NÉCESSAIRE POUR LA CONFIGURATION DES CAPTEURS.

Une semelle type a été réalisée et une étude a permis de déterminer exactement le nombre de capteurs nécessaires ainsi que leurs positions pour obtenir une représentation la plus fidèle de la pression d'appui du patient.



Figure 7 : Semelle prototype.

Cette étude a été menée par le secteur de kinésithérapie en collaboration avec le technicien GBM rattaché au service de rééducation. L'observation avec podoscope, révèle les appuis plantaires et la position de la ligne des têtes métatarsiennes.



Figure 8 : Podoscope et appuis plantaires.

Après avoir mesuré la taille du pied (distance talon/extrémité de l'hallux), analysé la distance talon/tête des métatarses au sein de la population de patients et comparé les résultats à des données théoriques de pointure, la décision de prévoir 3 capteurs (1 talonnier et 2 au niveau des métatarses), pour garantir des informations fiables, a été choisie. 2 jeux de semelles couvrant l'ensemble des pointures « standard » du 36 au 45 seront proposées.

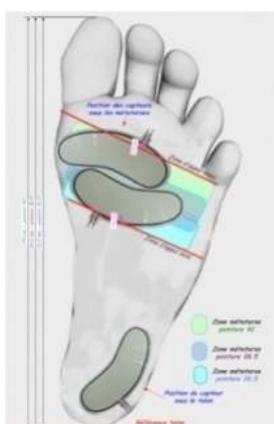


Figure 9 : Disposition finale des trois capteurs.

De plus, cette étude de configuration des capteurs a été affinée par l'utilisation du système F-Scan Mobile® (fig. 10). Avec l'aide de l'équipe de rééducation du C.R.F. les enregistrements faits sur des patients ont été interprétés et la visualisation des points d'appui a permis d'optimiser la semelle, l'enregistreur, ses compteurs d'événements.

Ce système permet des mesures de pressions plantaires à l'intérieur des chaussures et quantifie la distribution de ces pressions (ANNEXE II). Ainsi, la mise au point des capteurs semelle et l'enregistreur d'événements a impliqué d'utiliser ce système mobile avec des capteurs à haute résolution (960 éléments sensibles par pied) afin de visualiser simultanément les répartitions des forces aux niveaux du talon et de la partie avant du pied.

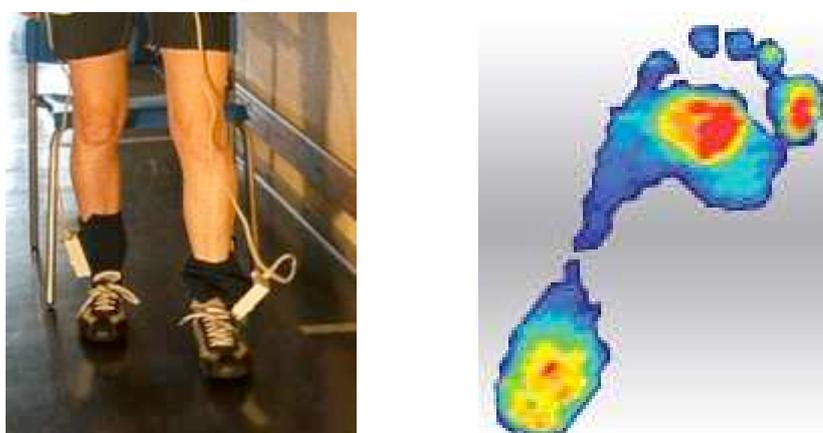


Figure 10 : Essais cliniques avec F-Scan Mobile®.

Ces capteurs (fig. 11) sont actuellement fabriqués et commercialisés par la société Tekscan, entreprise américaine spécialisée dans la pression tactile couche mince (environ 0,1 mm, pouvant intégrer 100 000 capteurs sur une surface de 1935 cm²). Ce sont des films minces constitués de lignes et colonnes d'un matériau semi-conducteur dont la résistance est modifiée

lorsqu'on applique une force. Chaque élément sensible se trouve à l'intersection de chaque ligne et colonne. En scrutant électroniquement et en mesurant la résistance de chaque élément sensible, la datation, la force, la localisation des contacts sur la surface du capteur peut être déterminée. Ces capteurs ont une large gamme de formes, tailles et résolutions capables de mesurer des pressions de 7 mbars à 2100 bars. Les applications sont actuellement nombreuses dans différents domaines (médical, literie, automobile, design de chaussures de sport..).



Figure 11 : barocapteur F-Scan des essais cliniques.

Ainsi pendant toute la phase d'avancement du projet, les essais ont été réalisés avec un prototype intégrant les 3 capteurs dans une semelle Velcro®. L'accès aisé aux capteurs a permis de confirmer, en situation de test et d'exercice, leur bon placement et de visualiser en instantané les zones sollicitées. Au final, il est prévu de travailler avec un orthoprothésiste sur une semelle définitive qui pourrait être réalisée avec un polymère souple permettant de «noyer les capteurs». Cela garantirait, en vue des multiples utilisations futures, un positionnement correct et constant nécessaire à la fiabilité des mesures.

4. 2. LE LOGICIEL INFORMATIQUE.

Le logiciel propose une première fenêtre qui permet de définir une base de données « patients » et d'avoir en mémoire la liste des séances réalisées (fig. 12).

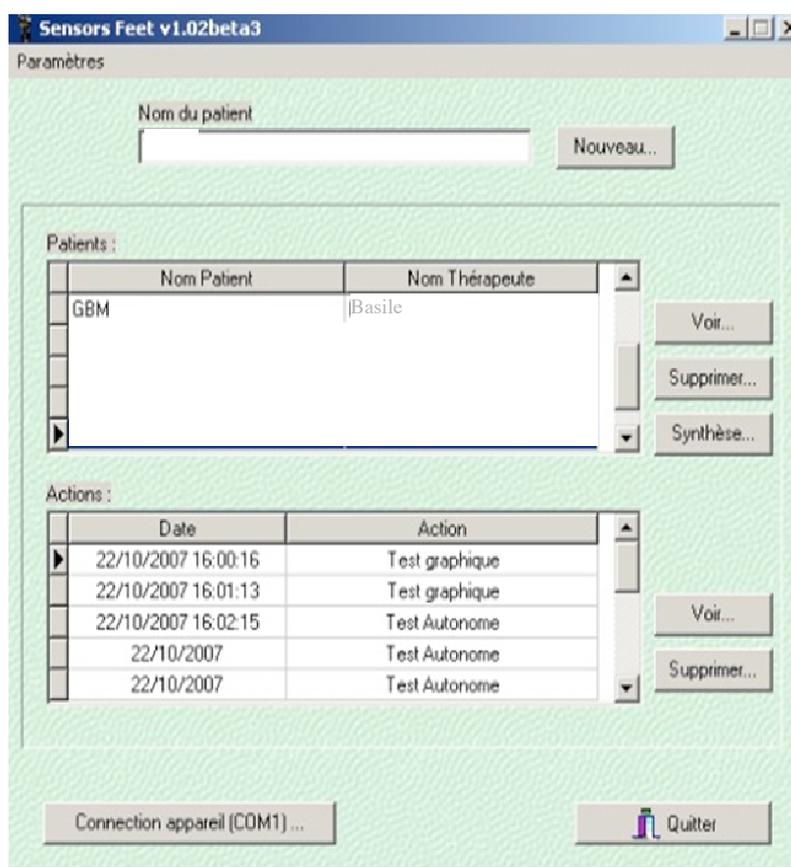


Figure 12 : Base de données.

Après avoir saisi le nom du patient et celui du thérapeute, le paramétrage de la semelle en fonction des choix thérapeutique est effectué depuis une autre fenêtre (fig.13) :

- type de rétro-information, sonore et/ou vibratoire,
- type d'utilisation du/des capteur(s) semelle en fonction de la zone plantaire à étudier,

- type de logique positive ou négative,
- valeurs seuils définies :
 - seuil minimum ou valeur au moins à atteindre
 - seuil maximum ou valeur à ne pas dépasser
 - valeur repère pour comptabilisation des pas



Figure 13 : Sélection des différents paramètres.

Au final, une fenêtre récapitule les différents paramètres et donne accès à la fonction « Exercice Patient » pour démarrer une session de mesures (fig. 14).



Figure 14 : Fenêtre en fin de paramétrage.

Il faut procéder ensuite à l'étalonnage des capteurs, réalisé dans un premier temps avec la semelle mise en place dans la chaussure du patient. Celui-ci ne doit pas être en situation d'appui pour pouvoir réaliser une tare (fig. 15) car la semelle qui est entre le pied et la chaussure subit déjà des contraintes qu'il faut annuler avant toute situation d'exercice.

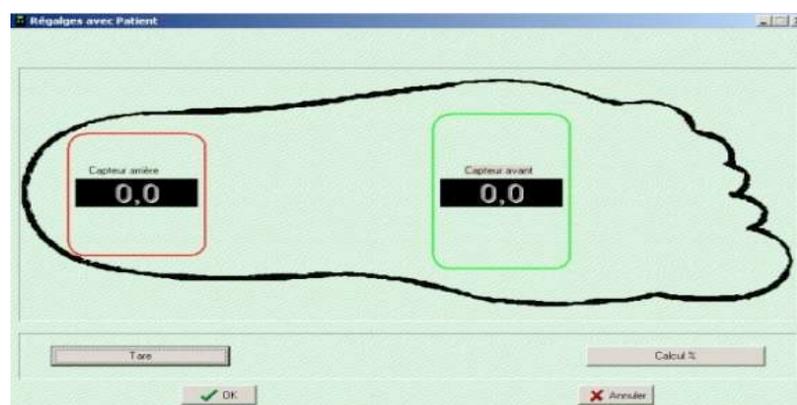


Figure 15 : Étalonnage des capteurs.

Puis, en situation d'appui unipodal ou bipodal (selon les possibilités du patient), le logiciel calcule la surface de contact des capteurs ainsi que la pression exercée, ce qui permet de quantifier la répartition des appuis sur la semelle. Ainsi les valeurs seuils déterminées seront fonction de cet étalonnage.

La semelle et le logiciel paramétrés sont donc prêts pour leur utilisation.

En situation statique, la semelle est reliée à l'ordinateur et offre la possibilité de bénéficier d'une rétro-information visuelle immédiate par le biais d'une courbe s'affichant à l'écran (test graphique) (fig. 16).

En situation fonctionnelle de déambulation, l'autonomie du boîtier permet l'enregistrement des valeurs qui seront dans un deuxième temps transférées. Le patient bénéficie, dans ce cas, des rétro-informations sonore et/ou vibratoire choisies (test autonome).

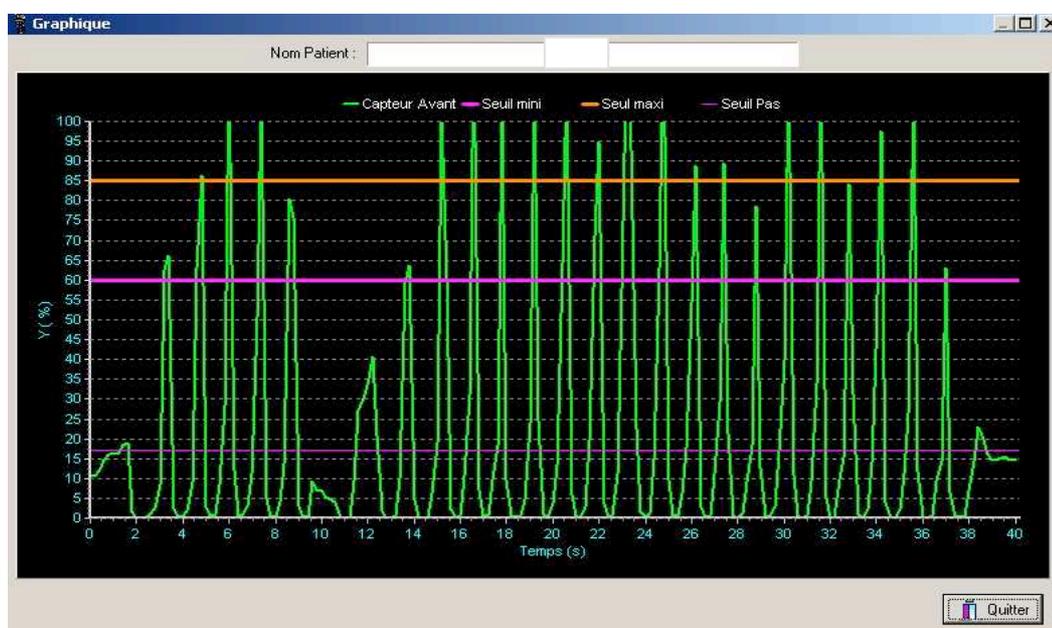


Figure 16 : courbe affichée à l'écran.

Lorsque l'exercice est terminé, les informations recueillies sont présentées dans une fenêtre de résultats (fig.17) qui reprend les paramètres de l'exercice et affiche la valeur de chaque compteur. Depuis cette fenêtre il est possible d'accéder au graphique qui retranscrit la courbe temps/valeur de l'appui.

The screenshot shows a software window titled "Résultat Test". It contains the following elements:

- A text input field for "Nom Patient :".
- A "Paramètres :" section with the following text:
 - Régalge: Bipodal
 - Type de mesure: Capteur avant.
 - Logique positive
 - Rétro-information : SON
 - seuil mini = 60.0%, seuil maxi = 85.0%.
 - seuil pas = 28.6%.
 - Date test: 22/10/2007 16:01:13
- A results section with three digital displays:
 - "Nb événements mini" showing "023"
 - "Nombre de pas" showing "026"
 - "Nb événements maxi" showing "017"
- A "Nom Fichier:" field containing "20071022_160114.sft".
- A "Graphique..." button with a green checkmark icon.
- A "Fermer" button with a window icon.

Figure 17 : Fenêtre des résultats.

5. PROTECTION INTELLECTUELLE.

Au niveau de la protection intellectuelle de ses produits, la société Doerler Mesures a déposé une enveloppe Soleau afin de garantir la protection de son activité. Le dépôt d'un brevet sera envisagé si l'opportunité de concéder des licences d'exploitation à des tiers se présente. Notez

que la protection fondamentale des produits contre la contrefaçon sera assurée par la conception même des produits. En effet, ceux-ci intègrent chacun une puce renfermant les programmes d'exploitation des systèmes, ce qui rendra leur copie difficile. Des sommes conséquentes ont été investies par la société Doerler Mesures et il est également important, même si cet élément n'implique pas le C.R.F. de Lay Saint-Christophe, d'envisager la commercialisation de cet outil de rééducation par l'intermédiaire de revendeurs de matériels médicaux se chargeant alors de sa distribution.

6. PROTOCOLE D'ÉVALUATION EN VUE DE LA VALIDATION DU SENSOR FEET.

Il comprendra : (ANNEXE III)

- une évaluation analytique préalable : bilan orthopédique du membre inférieur, cotation de la spasticité selon l'échelle d'Ashworth modifiée, bilan de la sensibilité extéroceptive et proprioceptive, évaluation de la motricité analytique (tibialis anterior, tibialis posterior, extensor hallucis longus, triceps surae, fibulaires, extenseur commun des orteils, fléchisseur commun des orteils)
- une évaluation fonctionnelle filmée et couplée avec l'utilisation du système F-Scan Mobile® permettant, de façon objective, de visualiser les zones d'appui préférentielles. Lors de la réalisation du test, la consigne suivante est donnée au patient « vous allez stabiliser votre position debout puis marcher à vitesse confortable, selon votre propre rythme sur ce parcours et faire demi-tour».

L'équilibre postural debout (EPD) est d'abord évalué pieds nus puis la marche est également réalisée pieds nus le long d'une barre sur un parcours étalonné de 10 m (test des 10 m de marche de Rossier et Wade).

Le même protocole est effectué avec chaussures et semelles avec les capteurs intégrés. Cette situation de monitoring donnera au thérapeute, à T0, des indications sur les particularités des appuis en statique et en dynamique. Elle servira de base de travail pour le début du conditionnement. Les modifications de l'appui seront analysées et comparées à cette référence à différents temps (T1, T2, T3...) l'évaluation finale déterminant la poursuite ou non du conditionnement.

7. CONCLUSION.

Le projet Sensor Feet s'inscrit donc dans une démarche d'étroite collaboration entre un milieu de rééducation et un milieu de technologie industrielle.

Depuis 18 mois, de nombreux échanges ont permis une confrontation régulière et enrichissante entre les exigences du centre de réadaptation et les savoir et savoir-faire de Doerler Mesures. De plus, ce projet s'est vu attribuer la bourse Pierquin-Isch 2008 de la Sornest qui a pour objectif d'aider les projets en rapport avec la réadaptation. Ainsi, ce projet continue d'évoluer dans sa conception et sa validation.

Les indications pour l'utilisation de cette chaîne instrumentale ne se limiteront pas au secteur de neurologie centrale mais pourront trouver d'autres applications comme en traumatologie lorsqu'un appui partiel doit, par exemple, être contrôlé. Il sera aussi intéressant de réfléchir sur d'autres zones d'observation comme la main et ses qualités de préhension.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- (1) BRUGEROLLE B., CHAUVIERE C., ANDRÉ J. M. – Rétroaction biologique musculaire. Applications du biofeedback dans les troubles moteurs. Éditions techniques-Encycl. Méd. Chir. (Paris- France), Kinésithérapie- Rééducation fonctionnelle. 26-147-A-10, 1994, 5p.

- (2) EDMOND C., BARETTE G. – Le biofeedback : ses applications kinésithérapiques. - KINÉSITHÉR. SCI. , 1989, 280, p. 31- 36.

- (3) GÉRARD C. – Biofeedback et rééducation. – J. RÉADAPT. MED. , 1982, 2, p. 217- 222.

- (4) LAUTIER J. M. – Intérêt du baro-biofeedback dans la reprise progressive d'appui après chirurgie du membre inférieur. - KINÉSITHÉR. SCI. , 1997, 367, p. 37- 40.

- (5) RÉMOND A., RÉMOND A. – Biofeedback : principes et applications. – Paris : Masson, 1994. – 242 p. Médecine et psychothérapie.

AUTRES RÉFÉRENCES.

- BRUGEROLLE B., CHELLIG L., XENARD J., ANDRÉ J. M. – Des définitions pour le biofeedback. – SIMON L. – Actualités en rééducation fonctionnelle et réadaptation. 10^{ème} série – Paris : Masson, 1985. p. 16- 21.

- PÉRUCHON E., JULLIAN J. M., RABISCHONG P. - Analyse de la marche par capteurs plantaires : état de l'art. In: Pélissier J, Brun V, éd. La marche humaine et sa pathologie : explorations et rééducation. Paris : Masson ; 1994. p. 61-69.

- SIMONET P. – Apprentissages moteurs : la connaissance des résultats. - KINÉSITHÉR. SCI. , 1989, 280, p. 42- 56.

- Site internet :

- www.aapb.org

- www.dmesures.free.fr

ANNEXES

ANNEXE I



Présentation de la société

Création de la société par Jean-Marie DOERLER en 1986.

1994 : Changement de statut, transformation de la s.a.r.l. en S.A, développement du service prestation industrielle.
 1996 : Accroissement du service technique. Déménagement dans des locaux plus spacieux et modernes.
 2000 : Investissement dans le laboratoire de vérification des capteurs (force/pression) et d'équipement de mesures.
 2003 : Renforcement du service commercial.
 2004 : Recrutement d'un responsable de fabrication. Effectif 14 personnes

Activités

Doerler Mesures est agent exclusif dans l'Est de la France de sociétés renommées. Notre activité s'étend du capteur à jauge au système d'acquisition avec traitement en temps réel.
 La société s'est également orientée depuis plusieurs années vers la fabrication de produits spécifiques et la prestation de services.

Représentation industrielle :

- Jauges de déformation.
- Capteurs de mesures physiques (couple, force, pression, déplacement, accélération...).
- Conditionneurs afficheurs.
- Systèmes d'acquisition statiques et dynamiques.

Produits DOERLER Mesures :

- Conception et réalisation :
 - de capteurs spécifiques.
 - de coffrets et baies de mesure « clé en main ».
 - de logiciels informatiques pour l'acquisition et le traitement de signaux.
- Prestations en collage de jauges, en nos locaux ou sur site.
- Formation théorique et pratique sur les jauges, numéro d'agrément au titre de la formation continue.
- Test et rapport de vérification de vos différents capteurs de force et de pression dans notre laboratoire.
- Prestations de mesures sur site.
- Location de systèmes d'acquisition.

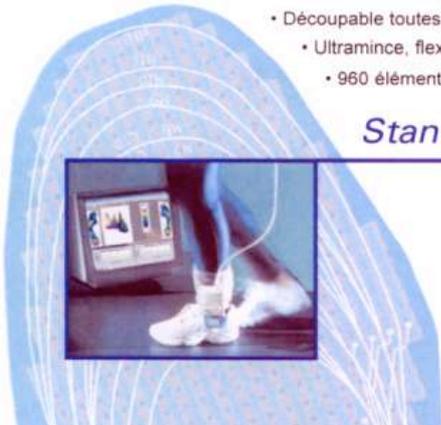
ANNEXE II

Capteurs F-Scan[®]

Capteurs variés pour nombreuses applications

Tekscan propose trois types de capteurs F-Scan "chaussure" pour satisfaire toutes applications. Ils offrent :

- Haute résolution: 4 capteurs/cm²
- Découpable toutes tailles (Enfants/adultes)
- Ultramine, flexible, adaptable, réutilisable
- 960 éléments sensible par pied





Standard F-Scan



- Utilisé principalement pour des applications comme la marche la posture, le jogging..
- Capteurs Ultrafins: 150 microns
- Les mesures de pressions plantaires les plus fiables destinées aux études podologiques
- Disponible en étendues de mesure enfant ou adulte



The F-Scan® Mobile System

Untethered Plantar Pressure/Force Measurement



The *F-Scan® Mobile* is a complete system that records bipedal plantar pressures. Using the same time-tested, paper-thin insole sensors as the *F-Scan* system, the Mobile's unique design allows foot pressure movies to be recorded without cables running from the PC to the client. As a result, a greater degree of flexibility is available for maximum mobility and minimum disruption to the client's natural gait and activity.

Features:

- No cables running from the PC to the client
- Fast scanning speeds up to 500 HZ (960,000 sensing elements per second)
- Large onboard data file recording capacity
- Lightweight and portable
- Battery pack offering 2+ hours of continuous run time, additional batteries can be purchased
- Multiple movie recording trigger control
- Data easily shared between *F-Scan* and *F-Scan Mobile*



Sample software output shown

Fast upload of
pressure movies to
PC via USB cable

To use the *F-Scan Mobile*, the client straps the lightweight unit and battery pack to their waist, attaches the *F-Scan* cuffs to their ankles, and places the *F-Scan* insoles into their shoes. The receiver unit then stores all foot pressure information measured by the insoles, allowing the client to move about freely and untethered, virtually anywhere. The Mobile attaches to a PC via a USB cable to upload the captured data, download acquisition parameters, or for real-time viewing of data in "PC connected" mode.

Applications:

- Plantar pressure and gait analysis for sports applications such as running, soccer, baseball, basketball, walking, hockey, football, skiing, golf, and more...
- Immediate determination of orthotic efficiency
- Observe gait abnormalities
- Anticipate and alleviate pressure on high risk areas
- Assess deviated Center of Force trajectories due to pronation or supination
- Regulate weight bearing in relation to the client's sport or after surgery
- Monitor degenerative foot disorders
- Assess high pressures due to ray hypomobility
- Pre- and post-surgical evaluations
- Identify areas of potential ulceration
- Detect limb length discrepancies

Benefits:

- Record true athletic events without losing data
- Go anywhere, anytime, for any distance
- Market your practice and services on the road
- Does not interfere with natural gait
- Fast and easy client set-up
- Increase orthotic and footwear performance & success
- Reduce need for follow-up and for orthotic adjustments therefore reducing cost
- Increase client satisfaction resulting in more referrals
- Document analysis and treatment of client within the system
- Fee-for-service approach or supporting documentation for insurance claims
- Tangible, visible biofeedback for the client therefore increasing compliance
- Differentiate your practice from others!

Found in:

Sports Medicine Facilities, Professional Athletic Team Training Centers, Private Practices, Gait Labs, Wound Care Centers, Hospitals, Universities, Rehabilitation Institutes, Children's Hospitals, Clinical Settings, and more...

Used By:

Orthopedic Surgeons, Athletic Trainers, Physiatrists, Podiatrists, Podorthotists, Physical Therapists, Orthotists, Prosthetists, Researchers, Chiropractors, Footwear Manufacturers, and more...

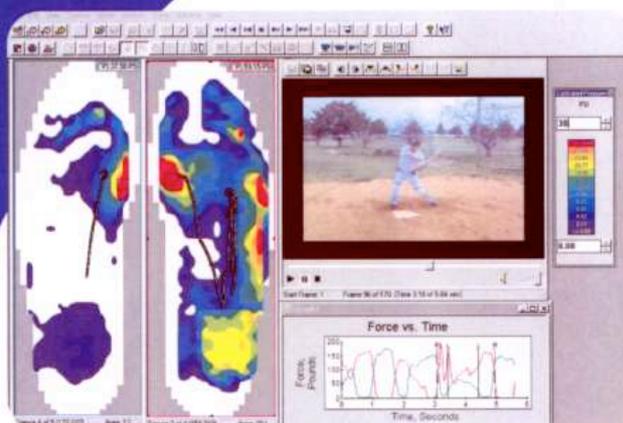
Specifications and Features

Software Features:

- Dynamic 2-D and 3-D displays of real-time and recorded data
- Displays of pressure and force curves over time
- View data frame by frame
- Side-by-side comparisons of pre- and post-treatment conditions
- Force-time integrals (Impulse)
- Frame by frame, single, and multi-stance phase displays
- Ability to isolate and analyze specific areas of plantar foot
- Multi-stance averaging
- Sharing (import and export) client movie files
- Display of Center of Force and its trajectory

F-Scan Sensor Description:

No. of Sensing Elements	960 sensels/foot
Spatial Resolution	25 sensels/in ² (4 sensels/cm ²)
Size of Sensor	Trimable from Mens Size 14 USA
Technology	Resistive
Calibration	With application of known and controlled force
Sampling Rate	165 Hz
Pressure Range	1-150 PSI (other ranges available)
Sensor Thickness	0.007 in (0.15 mm)



Software Display: Pre- and Post-Orbolic

F-Scan Mobile (shown used with add-on Video Synchronization software) displays plantar pressure data and synchronized video while playing baseball.

Also Available: The *F-Scan Sport* sensor, specifically designed for athletic or similarly aggressive applications and field studies. The sensor is laminated on both sides with a 0.1 mm (.005 in) flexible protective covering that enhances its durability and lifespan.

Add-On Options

Research Software- Software providing further analysis with features including additional graphing capability, tools to isolate and segment anatomical regions of the foot, and ASCII output.

TAM™ (Timing Analysis Module) - Software calculates percentage timing data, with respect to segmented foot function and phases of the gait cycle, and displays these relative to normal foot function.

CoM[®] Analysis (Center of Mass Analysis) - Software calculates and displays parameters for comparisons associated with the behavior and performance of the body's center of mass, including symmetry between left & right sides, purity, and energy efficacy of gait.

Video Synchronization™ - Synchronize and play back both video and pressure data simultaneously to review gait patterns.

F-Socket™ - Additional sensors and software for assessment of in-socket pressure and force sensing capabilities for prosthetic applications using your existing *F-Scan* electronics.

F-Mat™ or HR Mat™ - Adds a floor mat with pressure and force sensing capabilities. *HR Mat* has a higher resolution.

Grip™ - Additional sensors and software for hand grip and ergonomic studies. (Requires Research Software)

Call Today for a Demonstration!

Tekscan, Inc.
307 West First Street
South Boston, MA 02127-1309 USA
tel: 617.464.4500/800.248.3669
fax: 617.464.4266
e-mail: marketing@tekscan.com
website: www.tekscan.com

RevD_030504



ANNEXE III

Protocole proposé**Bilan pré-test****Evaluation analytique**

- bilan orthopédique (pied et genou)
- évaluation de la spasticité selon Ashworth modifié
- bilan sensitif (extéroceptif et proprioceptif)
- évaluation de la motricité analytique (Tibial ant, Tibial post., Ext. de l'hallux, Triceps sural, Fibulaires, ECO, FCO)

Evaluation fonctionnelle filmée

Consigne donnée au patient : « Vous allez stabiliser votre position debout puis marcher à vitesse confortable, selon votre propre rythme sur ce parcours, faire ½ tour»

En 1

- équilibre postural debout (échelle EPD) pieds nus
- équilibre dynamique : marche sur parcours étalonné de 10m (marquage au sol) avec canne si utilisation habituelle

En 2 : marche avec chaussures (sans releveur) et avec capteurs Tekscan

Bilan post-test**Evaluation analytique idem****Evaluation fonctionnelle filmée**

- même consigne donnée au patient –
 - modalités de film pour vue ant, lat, post du MI

Critères d'amélioration objectifs :

- qualitatifs donnés par la semelle avec capteurs
- amélioration fonctionnelle quantitative
 - modification de la vitesse
 - modification du périmètre : test des 6 min

Critères d'amélioration subjectifs :

- perception du patient

 Référentiel d'auto-évaluation des pratiques professionnelles en masso-kinésithérapie

(24) Test des dix mètres de marche

Réf : Viel E. *La marche humaine, la course et le saut*. Paris : Masson, 2000.

Réf : Rossier P, Wade DT. *Validity and reliability comparison of 4 mobility measures in patients presenting with neurologic impairment*. *Arch Phys Med Rehabil* 2001 ; 82 (1) : 9-13.

Compter le nombre de pas pour parcourir une distance de 10 mètres (à vitesse confortable)

<i>Sujets jeunes, allure tranquille</i>	<i>Sujets jeunes, allure rapide</i>	<i>Sujets âgés</i>	<i>Sujets pathologiques</i>
11-17	8-10	12-14	13-25

Chronométrer le temps nécessaire pour parcourir une distance de 10 mètres

	<i>Moyenne</i>	<i>Extrêmes</i>
Sujets masculins	7,6 s	5,0-10,0 s
Sujets féminins	8,0 s	6,0-12,0 s