

Création d'une plateforme pour l'analyse du signal  
posturographique

## **Deuxième semaine**

Inès PINGAULT, Anaëlle MAZOUNI, Hippolyte DEPARIS  
Lille

December 6, 2024

## Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
1.1	Posturographie dynamique . . . . .	3
1.2	Posturographie statique . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Signal analysé en posturographie statique</b>	<b>5</b>
2.1	Pression plantaire . . . . .	5
2.2	Méthode d'enregistrement . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Analyse de marché</b>	<b>7</b>
3.1	Win-posturo . . . . .	7
3.2	Fusyo . . . . .	8
3.3	FOOTWORK PRO . . . . .	10
3.4	Win-pod . . . . .	11
3.5	SabotSoft . . . . .	12

# 1 Introduction

La posturographie, aussi appelée posturologie est une technique employée pour évaluer, mesurer et contrôler la posture en position debout.

Pour maintenir un équilibre vertical, le corps humain ajuste en permanence sa posture par rapport à son environnement en fonction de certains signaux qu'il reçoit. Ces signaux sont captés par les yeux, la colonne vertébrale, l'oreille interne ou encore les pieds. Le cerveau les analyse et envoie des instructions au corps dans le but de modifier sa posture en temps réel aux différents éléments perçus.

Si ces signaux, importants pour le maintien de l'équilibre ne sont pas ou mal perçus, ou mal analysés, la posture ne sera pas correctement adaptée, et des troubles tels que des déséquilibres, des vertiges ou encore des problèmes *musculosquelettiques* pouvant aller jusqu'à des douleurs chroniques dans certaines régions de l'organisme pourraient apparaître.

Il est donc important pour les posturologues de mettre aujourd'hui l'accent sur l'étude du rôle des yeux, des pieds ainsi que les occlusions dentaires dans les problèmes liées à la posture.

Cette discipline étudie la position de l'homme dans l'espace (son équilibre, sa stature, son aplomb, sa stabilité...) grâce à des appareils de mesure spécialisés. Elle prend en compte la capacité de rester en équilibre sur ses pieds ainsi que la symétrie du corps ou la perception visuelle de l'horizontalité.

Ces études sont possibles aussi bien dans des situations **statiques** que **dynamiques**.

## 1.1 Posturographie dynamique

La posturographie dynamique informatisée (aussi appelée *Test of Balance*) est une technique d'évaluation clinique non invasive. Cette méthode permet de mesurer et quantifier les mécanismes d'adaptation du système nerveux central intervenant dans le contrôle de la posture et de l'équilibre d'un patient **en mouvement**.

Ces mécanismes interviennent aussi bien dans des conditions dites normales (comme pendant des entraînements sportifs), que dans des conditions dites anormales, notamment lors du diagnostic de troubles d'équilibre, de la physiothérapie ou de la rééducation posturale.

La posturographie dynamique informatisée (CDP) exige différents protocoles. En effet, les interactions entre les différents agents du corps impliqués dans la posture et l'équilibre sont complexes. Ces protocoles permettent de faire la distinction entre les nombreux problèmes et limitations influençant les systèmes de régulation posturale du patient.



Figure 1: Posturographie dynamique

## 1.2 Posturographie statique

La posturographie statique évalue quant à elle la posture d'un patient en *équilibre orthostatique* (position érigée immobile, fondamentale de l'espèce humaine). Cette évaluation se fait en positionnant le patient sur une plateforme équipée de nombreux capteurs de pression.

L'enregistrement des oscillations du centre de pression des pieds permettent de retracer l'évolution du centre de gravité (ou centre de masse) du patient.

Lors de ces évaluations, on étudie aussi la réponse posturale du patient à certaines perturbations.

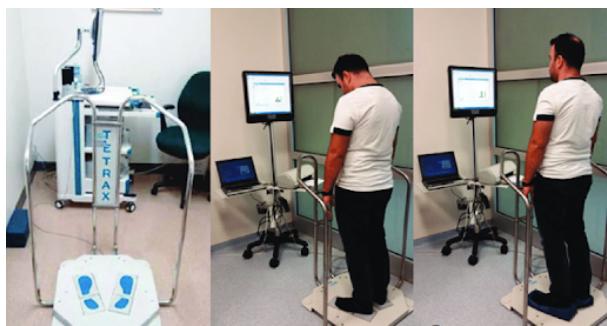


Figure 2: Posturographie statique

## 2 Signal analysé en posturographie statique

### 2.1 Pression plantaire

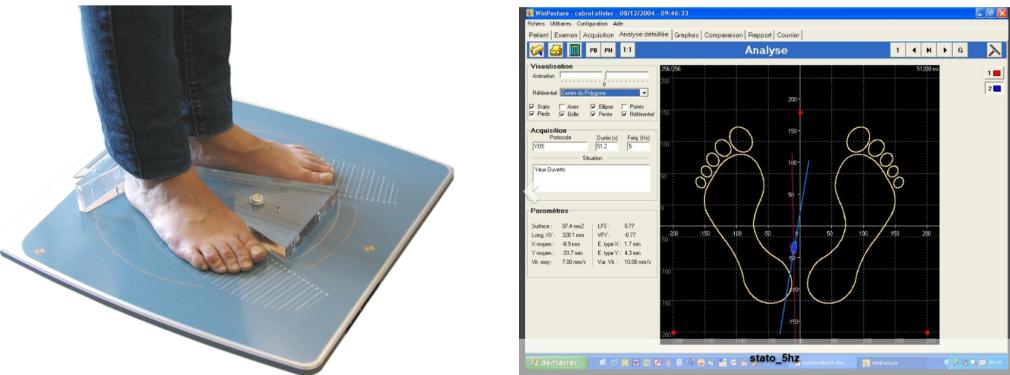
Les pressions plantaires mesurent la répartition des forces sous les pieds au niveau des zones d'appui. Ces pressions sont capturées par des capteurs disposés sur une surface ou intégrées dans des semelles. Ces mesures permettent d'identifier les points de pression maximale et minimale, fournissant des données sur la statique et la dynamique du pied. Les centres de pression sont calculés à partir des variations de pression. Ils reflètent les ajustements dynamiques de la posture en réponse aux déséquilibres. Les mesures de ces signaux nous permettent de cartographier les zones d'appui et de visualiser les charges appliquées sur les pieds. On peut alors identifier les zones à risque de pathologie (comme l'hallux valgus ou la fasciite plantaire). L'évaluation des déséquilibres ou anomalies dans la distribution des forces est alors possible. Les études sont appliquées en podologie et orthopédie, pour détecter les troubles plantaires ou les anomalies posturales. Elles sont aussi utilisées pour suivre les progrès post-blessures ou post-chirurgie de patients. Enfin, on peut aussi les mener dans le but d'optimiser les performances athlétiques en analysant les impacts au sol.

### 2.2 Méthode d'enregistrement

Les plateformes stabilométriques mettent l'accent sur l'étude des mouvements posturaux en évaluant les forces verticales et les déplacements dans les plans horizontal et vertical. Ces plateformes disposent fréquemment d'instruments additionnels, comme des surfaces instables ou des systèmes de visualisation interactifs pour perturber l'équilibre et examiner les réactions compensatoires du patient. Ces dispositifs sont utilisés pour évaluer la stabilité posturale en position debout, notamment chez des patients atteints de troubles neurologiques ou vestibulaires. Ils sont également utilisés pour détecter les déficiences proprioceptives et pour la rééducation. En gériatrie, ils permettent d'évaluer les risques de chute, et en sport, ils servent à optimiser les stratégies d'équilibre.

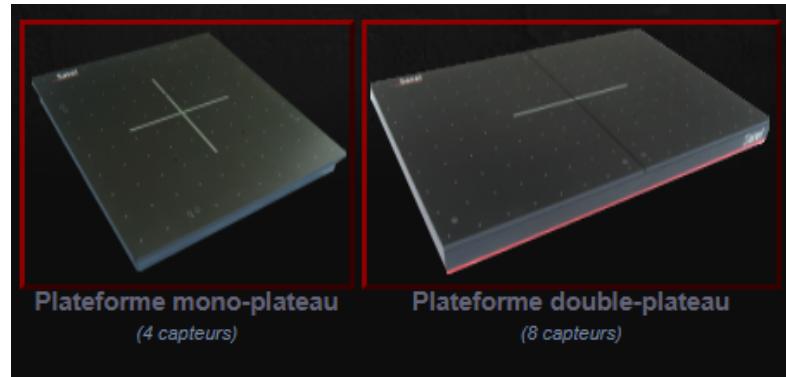
**Exemples :**

- Stabilo Stabilometric Platform
- Plateforme Satel



(a) Plateforme stabilométrique

(b) Logiciel Winposture



(c) Plateforme stabilométrique Satel

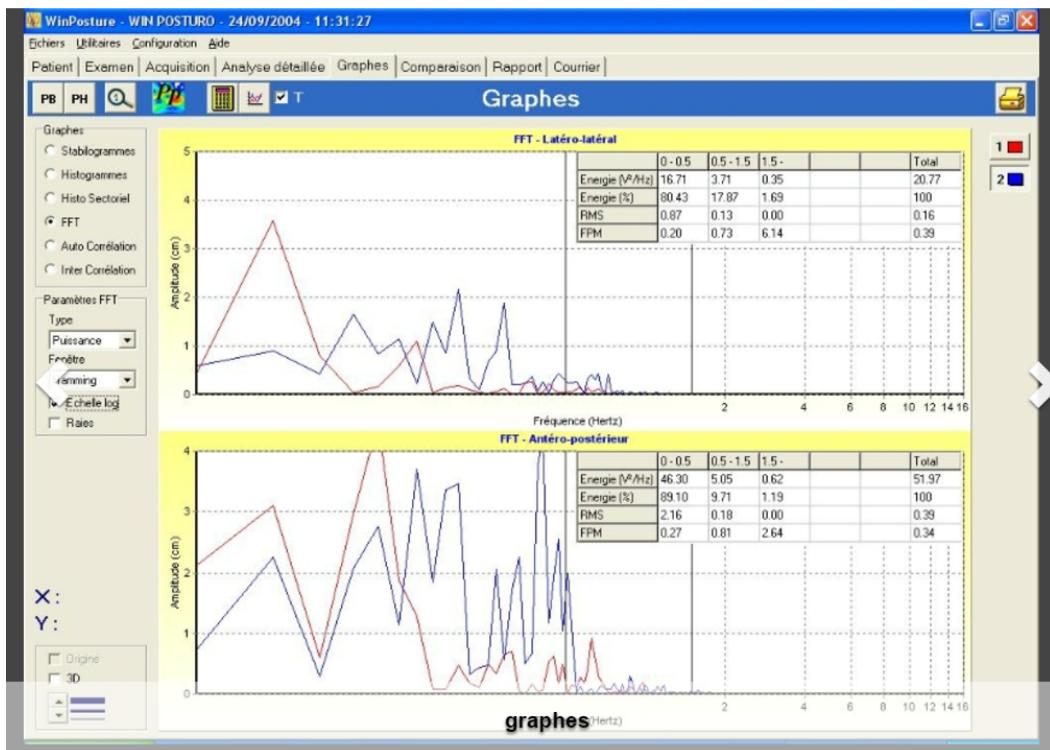


Figure 4: Logiciel Winposture

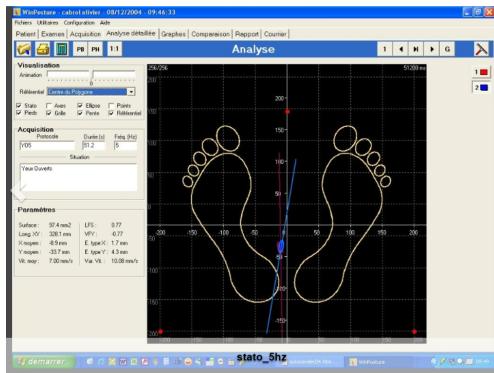
### **3 Analyse de marché**

#### **3.1 Win-posturo**

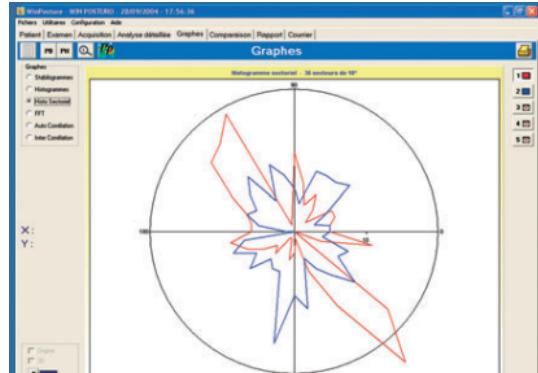
WIN-POSTURE NV Software est une plateforme d'analyse en posturographie statique. Elle se distingue par sa convivialité et son ergonomie, facilitant son utilisation. Il offre la possibilité de créer et de gérer des protocoles d'acquisition tout en permettant de paramétriser des normes conformes aux recommandations de l'AFP85 (SOFPEL). Ce logiciel intègre des fonctionnalités avancées telles que l'analyse fractale et l'analyse par ondelette. Il permet également de comparer les résultats des examens pour chaque patient, avec des données facilement exportables vers Excel. Les rapports et bilans générés sont entièrement personnalisables, et le logiciel propose des outils intégrés pour la création de courriers et le publipostage.

WIN-POSTURE NV Software une nouvelle plateforme d'analyse de stabilographie statique qui a comme fonctionnalités :

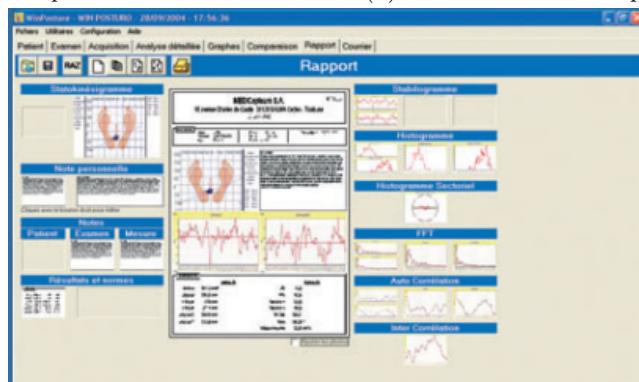
- Convivialité et ergonomie incomparables.
- Création et gestion des protocoles d'acquisition
- Paramétrage des normes et référentiels
- Production de la totalité des données stabilométriques normalisées APE 85
- Nouvelles fonctionnalités issues de l'actualité scientifique (option : ondelettes, analyses fractales et de diffusion...)
- Possibilité de comparaison des examens
- Multiples Visualisations du signal stabilométrique
- Edition de rapports et bilans personnalisables
- Exportation directe des données stabilométriques vers Excel
- Editeur de courrier
- publipostage



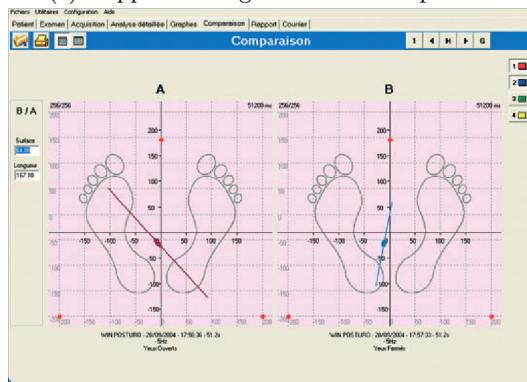
(a) Logiciel Winposture



(b) Visualisation de l'ellipse de confiance



(c) Rapport du logiciel sur un cas patient



(d) Comparaison de l'équilibre orthostatique yeux ouverts/fermés

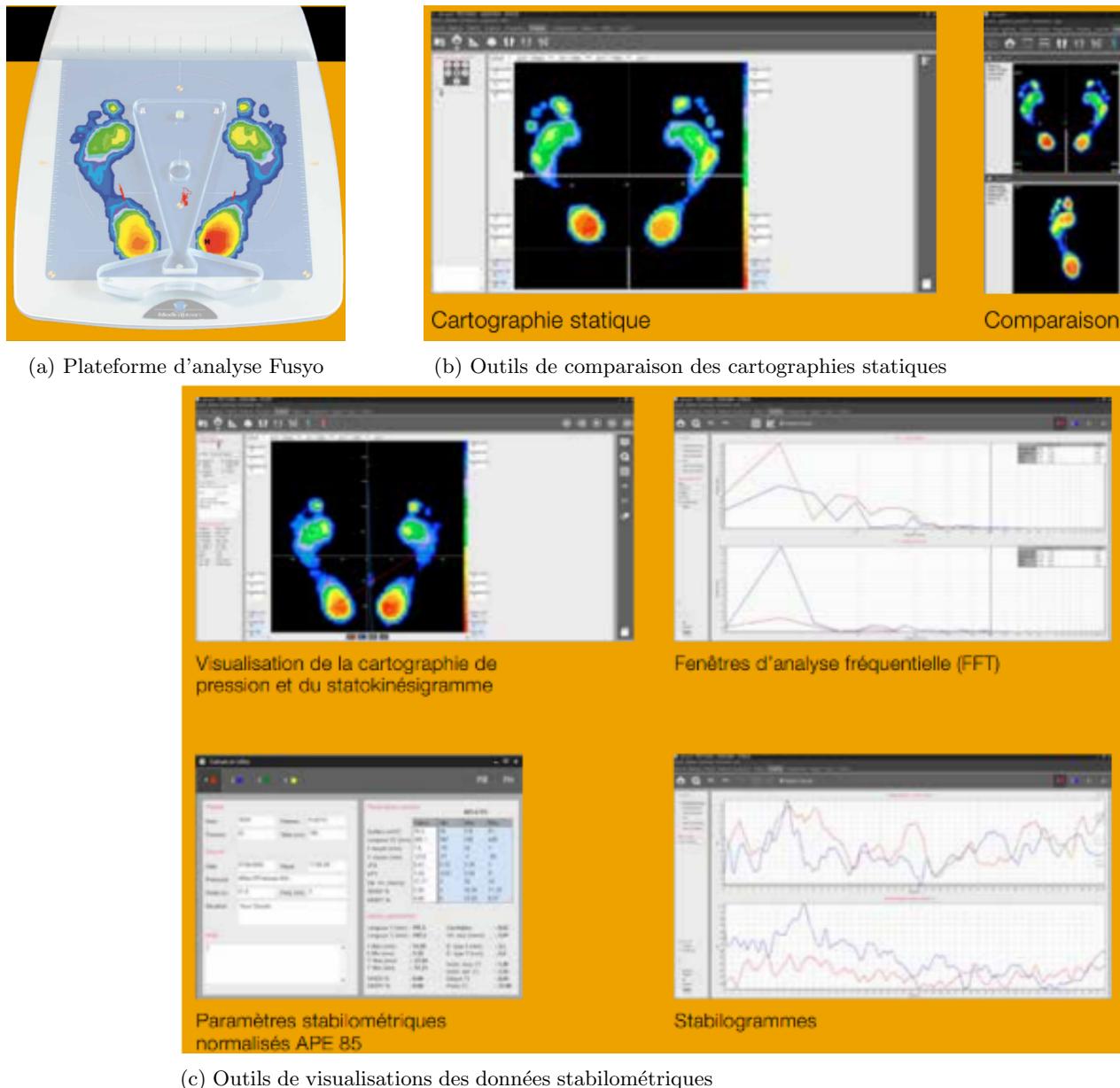
### 3.2 Fusyo

Fusyo combine analyses stabilométriques et baropodométriques pour une évaluation complète de l'équilibre et des pressions plantaires. Cette plateforme d'analyse se distingue par ses visualisations avancées, notamment en thermographie, 3D et isopression. Il inclut des indicateurs tels que le Foot Posture Index, offrant une précision précieuse pour des analyses cliniques approfondies. Il permet de créer et gérer des protocoles d'acquisition tout en fournissant des données stabilométriques normalisées selon l'APE 85. Les résultats sont personnalisables et peuvent être facilement comparés entre les examens.

Fusyo combine analyses stabilométriques et baropodométriques pour une évaluation complète de l'équilibre et des pressions plantaires. Cette plateforme d'analyse a comme fonctionnalités:

- Analyse statique
- Cartographie statique avec calcul par zone
- Multitude de visualisations (thermographique, isopression, pourcentage, 3D...)
- Impression à l'échelle 1/1

- Comparaison d'examens
- Rapport personnalisable : insertion de photos, ajout de commentaires, création de modèles types, impression à la file
- Possibilité de lier des documents électroniques à un examen
- Exportation au format PDF
- Gestion d'un agenda multi-praticiens
- Convivialité et ergonomie incomparables
- Création et gestion des protocoles d'acquisition
- Paramétrage des normes et référentiels
- Production de la totalité des données stabilométriques normalisées APE 85
- Nouvelles fonctionnalités issues de l'actualité scientifique (option : ondelettes, analyses fractales et de diffusion...)
- Possibilité de comparaison des examens
- Multiples visualisations du signal stabilométrique
- Edition de rapports et bilans personnalisables
- Exportation directe des données stabilométriques vers Excel
- Editeur de courrier
- Publipostage



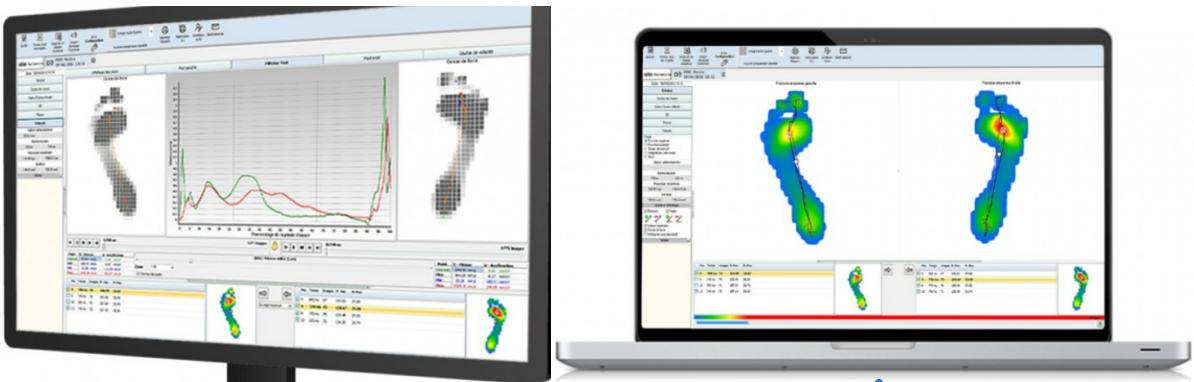
### 3.3 FOOTWORK PRO

FootWork Pro est conçu pour les analyses statiques et dynamiques. Il inclut des fonctionnalités avancées telles que centre des pressions, pression maxi de chaque pied, répartition avant et arrière, droite et gauche. Projection du centre de gravité, zone d'études et film de la statique. Possibilité de paramétriser la durée, la fréquence et le pourcentage des points. Il est compatible avec les ordinateurs Windows, cette plateforme d'analyse est simple à intégrer dans des environnements de travail classiques. Il permet l'édition des comptes rendus et permet la possibilité d'envoi par mail des analyses avec création des fichiers patients.

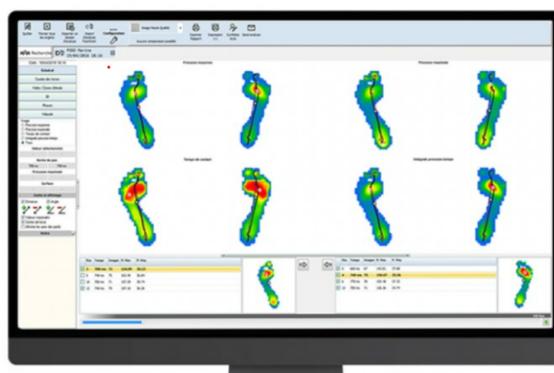
FootWork Pro est conçu pour les analyses statiques. Cette plateforme d'analyse a comme fonctionnalités:

- Fichier patients
- Analyse statique : centre des pressions, pression maxi de chaque pied, répartition avant et arrière, droite et gauche. Projection du centre de gravité, zone d'études et film de la statique.
- Stabilométrie : ellipses et dimensions des centres de poussée. Oscillation et pourcentage en surface et en temps : plan frontal, sagittal. Possibilité de paramétriser la durée, la fréquence et le pourcentage des points. Analyse unipodale.

- Analyse dynamique : pas multiples avec reconnaissance automatique pied droit / pied gauche. Pressions moyennes et maxi, durée d'appui et intégrale pression / temps. Zones d'études : précise les zones de travail du pied. Automatiques, intelligentes, manuelles et médio-latérale. Analyse des 3 temps du pas avec superposition d'une référence. Vidéo 3D.
- Compatible PC Windows uniquement.
- Editions des comptes rendus et possibilité d'envoi par mail des analyses.
- Inclus 3 ans de contrat d'assistance et de mise à jour



(a) Outil de visualisation des données posturo-graphiques FootWork (b) Outil de visualisation 3D des centre de pression Foot-work



(c) Outil de comparaison des models 3D Footwork

### 3.4 Win-pod

WinPod est une solution intuitive destinée aux analyses posturales simples et qualitatives. Il permet de personnaliser les rapports en y ajoutant photos, commentaires et modèles prédéfinis. En temps réel, il génère des cartographies et suit l'évolution des centres de pression. Cependant, WinPod est limité en termes d'analyses avancées et convient mieux aux besoins cliniques de base ou aux bilans qualitatifs qu'aux études approfondies.

WinPod est une solution intuitive destinée aux analyses posturales simples et qualitatives. Cette plateforme d'analyse a comme fonctionnalités:

- Cartographie statique avec calcul par zone
- Multitude de visualisations (thermographique, isopression, 3D...)
- Analyse numérique et graphique des paramètres de stabilométrie
- Evolution des cartographies et des centres de pression
- Quotient de Romberg
- Visualisation temps réel

- Archivage de tout type de documents électronique à la fiche d'examen clinique
- Rapport personnalisable : insertion de photos, ajout, de commentaires
- Exportation au format PDF
- Intégration du foot posture index FPI (Normalisation internationale du pied)
- Calcul du CPEI (Centre of Pressure Foot Index)
- Impression à l'échelle 1/1
- Comparaison d'examens
- File d'impression



(a) Plateforme stabilométriques Win-pod



(b) Outil de comparaison de données 3D et de photos Win-pod

- Analyse numérique et graphique des paramètres de stabilométrie
- Evolution des cartographies et des centres de pression
- Quotient de Romberg
- Visualisation temps réel



(c) Outil de visualisation des signaux posturographiques

### 3.5 SabotSoft

SabotSoft est une solution avancée pour les analyses détaillées des oscillations corporelles et des déséquilibres posturaux. Il intègre des modèles complexes, tels que les vecteurs de vitesse, ou les spectres croisés, souvent utilisés pour identifier des pathologies neurologiques spécifiques. Son interface, bien que avancée, requiert une expertise technique pour être exploitée au maximum. Les graphiques et représentations visuelles qu'il propose sont d'une grande précision, facilitant l'interprétation des données pour des experts en biomécanique ou neurologie.

SabotSoft est une solution avancée pour les analyses détaillées des oscillations corporelles et des déséquilibres posturaux. Cette plateforme d'analyse a comme fonctionnalités :

- Statokinésogrammes et ellipses de confiance
- Centre de pressions et centre de masse
- Contrôle et sur-contrôle des oscillations (densité spectrale d'interaction)
- Vectogramme du centre de pressions et du centre de masses

- Distribution des vecteurs vitesse par secteur autour de l'origine.
- Détection des singularités et limites du modèle du pendule inversé mono-articulé.
- Révélation des blocages fonctionnels (par exemple, non-alignement des axes de cheville) ou des dysfonctions (ex. : jambe courte).

- **Spectre des forces verticales :**

- Analyse par FFT de la résultante des forces verticales  $Z(t)$ .
- Identification de mouvements verticaux de haute fréquence et de trémors pathologiques.

- **Diagramme des asymétries :**

- Visualisation des asymétries des placements moyens du centre de pressions (CdP).
- Comparaison avec une référence normative basée sur une population témoin.
- Identification des écarts de position et de direction, illustrés par des vecteurs.
- Différences entre les enregistrements en condition yeux ouverts et yeux fermés.

- **Ondelette :**

- Représentation temps-fréquence du signal stabilométrique à l'aide d'ondelettes.
- Analyse tridimensionnelle (temps-fréquence-intensité) ou plane (par code couleur).

