



**HAL**  
open science

## Relations entre posturologie et score EDSS

Laurent Peyrodie, Samuel Boudet, Antonio Pinti, Fabrice Cavillon, Olivier Agnani, Philippe Gallois

► **To cite this version:**

Laurent Peyrodie, Samuel Boudet, Antonio Pinti, Fabrice Cavillon, Olivier Agnani, et al.. Relations entre posturologie et score EDSS. Sciences et Technologies pour le Handicap, 2010, 4 (1), pp.55-71. 10.3166/sth.4.55-71 . hal-00838839

**HAL Id: hal-00838839**

**<https://hal.science/hal-00838839v1>**

Submitted on 2 Jul 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

## Relations entre posturologie et score EDSS

Laurent Peyrodie<sup>1,2</sup> — Samuel Boudet<sup>3</sup> — Antonio Pinti<sup>4</sup> —  
Fabrice Cavillon<sup>3</sup> — Olivier Agnani<sup>5</sup> — Philippe Gallois<sup>5</sup>

<sup>1</sup> HEI - Hautes Etudes d'ingénieur (Lille) -France

<sup>2</sup> LAGIS FRE 3303-CNRS, Laboratoire Automatique et Génie informatique et Signal de Lille -France

<sup>3</sup> FLM - Faculté Libre de Médecine, Institut Catholique de Lille (Lille)

<sup>4</sup> LAMIH, FRE 3046 CNRS - Laboratoire d'Automatique Mécanique et d'infomatiques Industrielles et Humaine de Valenciennes-France

<sup>5</sup> GHICL - Services de médecine physique et d'explorations fonctionnelles, hôpital Saint Philibert- Lomme -France

Laurent.peyrodie@hei.fr

---

*Le but de cette étude est d'établir la corrélation entre le niveau de handicap évalué par l'Expanded Disability Status Scale (EDSS) et les données issues d'une plateforme de mesure d'équilibre pour des sujets atteints de Sclérose En Plaques (SEP). La base de données est constituée de 96 patients et de 90 sujets sains appariés par âge et sexe. Aucun n'est atteint de troubles orthopédiques. Pour chaque patient le score EDSS a été calculé par le praticien. Pour chaque personne un ensemble d'indices linéaire et non linéaires sont calculés à partir des mesures posturométriques.*

*Résultats : Le test statistique objective des corrélations significatives ( $p < 0.05$ ) entre indices non linéaires et score EDSS. Cette corrélation est supérieure à celle établie à partir des indices linéaires. Il apparaît possible de retrouver ce score directement à partir des indices non linéaires avec un biais proche de celui communément admis par les spécialistes pour ce score.*

*MOTS-CLÉS : Scléroses en plaques, score EDSS, signal posturographique, taux de récurrence*

*KEYWORDS : Multiple sclerosis, EDSS, posturometric signal, recurrence quantification analysis*

---

## 1. Introduction

La Sclérose En Plaques (SEP) est une affection démyélinisante évolutive et fréquente (50/100000) (Van Bockstael et al., 2004). Elle évolue généralement par poussées plus ou moins graves, au cours desquelles se manifestent des symptômes qui peuvent de nouveau disparaître après la poussée (rémission). L'évolution de la maladie est très différente selon les personnes, les symptômes peuvent être plus ou moins prononcés. Les symptômes de la SEP sont imprévisibles et varient grandement d'une personne à l'autre (De Seze 2002). En effet, les plaques peuvent siéger sur des zones différentes du système nerveux central : encéphale et moëlle épinière. Il existe donc une multiplicité et un polymorphisme des signes cliniques. Parmi ceux-ci, les patients peuvent présenter des troubles moteurs, sensitifs (30% des cas), visuels, génito-sphinctériens, et cognitifs. Le diagnostic de la SEP repose sur les critères de Mac Donald et de Barkhof qui précisent la localisation et le caractère des lésions neurologiques.

Dans la sclérose en plaques, la notion de handicap et de sa connaissance sont importantes car le handicap reste malgré tout, le véritable enjeu à long terme de cette maladie (Marissal et al., 2000), (Ozakbas et al., 2004), (Spain et al., 2007), (Miller et al., 2006). D'ailleurs, l'évaluation du handicap sous la forme d'une échelle appelée EDSS (Expanded Disability Status Scale) a été retenue pour évaluer l'évolution de la maladie (Kurtzke, 2003).

Les troubles de sensibilité profonde sont présents dès le début de la maladie (80% après 5 ans d'évolution), et sont responsables de perturbations importantes de la régulation de l'équilibre. La posturographie est une discipline récente qui permet d'analyser de manière précise les oscillations d'un sujet. La littérature reste pauvre en ce qui concerne le lien entre l'analyse posturographique des perturbations somesthésiques (troubles de la sensibilité profonde caractérisés par une altération de la perception de la position des segments des membres dans l'espace, et des appuis au sol) et la SEP (Visser et al., 2008).

L'examen posturométrique nous semble être un examen pertinent pour la mesure des troubles de l'équilibre (qui sont implicitement pris en compte dans le score EDSS). L'objectif de ce travail consiste à montrer la corrélation entre les mesures issues de la posturométrie et le score EDSS. Cette corrélation sera établie à partir d'indices non linéaires et nous montrerons qu'elles apportent des informations complémentaires de celles fournies par le stabilogramme couramment utilisé.

## 2. Le score EDSS

L'échelle d'évaluation du handicap spécifiquement adaptée à la SEP est l'EDSS (Expanded Disability Status Scale ou Echelle étendue d'évaluation du handicap) (Brochet 2009). Elle se compose de deux parties. Une première partie, cotée de 0 à 3,5, tient compte de paramètres fonctionnels une deuxième partie cotée de 4 à 10 tient compte des capacités ambulateurs du patient. Les différentes fonctions

évaluées sont les fonctions motrice, sensitive, urinaire, la parole, la déglutition, la vue et les fonctions cognitives.

L'échelle est cotée de 0 à 10 et à chaque valeur, correspond un niveau de handicap

0.0 : Examen neurologique normal (tous scores à 0).

1.0 : Absence de handicap fonctionnel, signes minimales d'atteinte d'une des fonctions.

1.5 : Absence de handicap fonctionnel, signes minimales d'atteinte d'au moins 2 fonctions.

2.0 : Handicap fonctionnel minimal dans une des fonctions (1 fonction, score 2 ; les autres 0 ou 1).

2.5 : Handicap fonctionnel minimal dans 2 fonctions (2 fonctions score 2 ; les autres 0 ou 1).

3.0 : Handicap fonctionnel modéré dans une fonction ou atteinte minimale de 3 ou 4 fonctions, mais malade totalement ambulatoire (1 fonction score 3, les autres 0 ou 1 ; ou 3 ou 4 fonctions score 2 ; les autres à 0 ou 1).

3.5 : Totalement ambulatoire ; comme 3.0, mais atteintes combinées différentes (1 fonction score 3 et 1 ou 2 score 2, ou 2 fonctions score 3 ; ou 5 fonctions score 2 ; les autres 0 ou 1).

4.0 : Malade totalement autonome pour la marche, vaquant à ses occupations 12 heures par jour malgré une gêne fonctionnelle relativement importante : 1 fonction à 4, les autres 0 ou 1, ou atteinte combinée de plusieurs fonctions à des scores inférieurs à 4, mais supérieurs à ceux notés en 3.5. Le patient peut marcher 500 m environ sans aide ni repos.

4.5 : Malade autonome pour la marche, vaquant à ses occupations la majeure partie de la journée, capable de travailler une journée entière, mais pouvant parfois être limité dans ses activités ou avoir besoin d'une aide minimale, handicap relativement sévère : une fonction à 4, les autres à 0 ou 1, ou atteinte combinée de plusieurs fonctions à des scores inférieurs à 4, mais supérieurs à ceux notés en 4.0. Le patient peut marcher sans aide ni repos 300 m environ.

5.0 : Peut marcher seul 200 m sans aide ni repos, handicap fonctionnel suffisamment sévère pour entraver l'activité d'une journée normale ; en général une fonction à 5, les autres 0 ou 1, ou combinaisons diverses supérieures à 4.5.

5.5 : Peut marcher 100 m seul, sans aide ni repos ; handicap fonctionnel suffisamment sévère pour empêcher l'activité d'une journée normale.

6.0 : Aide unilatérale (cane, canne anglaise, béquille), constante ou intermittente nécessaire pour parcourir environ 100 m avec ou sans repos intermédiaire.

6.5 : Aide permanente et bilatérale (cannes, cannes anglaises, béquilles) pour marcher 20 m sans s'arrêter.

7.0 : Ne peut marcher plus de 5 m avec aide ; essentiellement confiné au fauteuil roulant ; fait avancer lui-même son fauteuil et effectue seul le transfert, est dans son fauteuil roulant au moins 12 heures par jour.

7.5 : Incapable de faire plus de quelques pas ; strictement confiné au fauteuil roulant ; a parfois besoin d'une aide pour le transfert ; peut faire avancer lui-même son fauteuil; ne peut y rester toute la journée ; peut avoir besoin d'un fauteuil électrique.

8.0 : Essentiellement confiné au lit ou au fauteuil, ou promené en fauteuil par une autre personne ; peut rester hors du lit la majeure partie de la journée ; conserve la plupart des fonctions élémentaires ; conserve en général l'usage effectif des bras.

8.5 : Confiné au lit la majeure partie de la journée ; garde un usage partiel des bras ; conserve quelques fonctions élémentaires.

9.0 : Patient grabataire ; peut communiquer et manger.

9.5: Patient totalement impotent, ne peut plus manger ou avaler, ni communiquer.

10 : Décès lié à la SEP.

L'analyse des critères de définition de l'EDSS montre que ce score repose sur un algorithme de choix complexe qui demande une expertise médicale longue et approfondie. Une erreur de 0.5 est ainsi communément admise sur les scores compris entre 3 et 6. Le score EDSS de chaque patient est calculé, et doit être régulièrement réévalué afin de suivre l'évolution de la maladie.

### 3. La posturométrie

#### 3.1. *Les activités posturo-cinétiques chez l'homme*

La posture d'un individu est l'agencement des différents segments corporels les uns par rapport aux autres à un moment donné. C'est une attitude particulière du corps qui résulte d'une activité musculaire permanente, appelée le tonus musculaire (Gagey et al.,1990). La posture orthostatique est la position fondamentale de l'espèce humaine: station debout (érigée) en attitude de "repos militaire". L'équilibration est la fonction physiologique qui permet, le maintien de la posture en dépit des diverses circonstances qui tendent à la perturber. L'équilibration a pour but de faire coïncider sur un axe vertical la force de pesanteur corporelle avec la force de réaction du plan de support appliquée à la sole plantaire. Lorsque ce but est atteint le sujet est en équilibre. Cet état d'équilibre peut être obtenu lorsque le sujet est en condition statique (le centre de gravité se projette alors dans le polygone de sustentation) par une distribution harmonieuse du tonus musculaire. Cet état d'équilibre peut être aussi obtenu lorsque le sujet est en condition dynamique, au cours de divers actes moteurs par exemple lorsque le sujet se déplace (locomotion). Le polygone de sustentation est alors déplacé et/ou déformé, le centre de gravité se projette en dehors de celui-ci et les processus de régulation ont pour but, par des contractions musculaires adaptées, de le ramener à l'intérieur du nouveau polygone de sustentation. Analyser les activités posturo-cinétiques consiste à faire un bilan de l'aptitude d'un individu à maintenir son équilibre dans les conditions statiques (posturographie statique), dans les conditions dynamiques (posturographie

dynamique) et de son aptitude à se déplacer (fonction locomotrice : marche, course). La posturographie a fait l'objet de nombreuses études sur des sujets sains (Gagey et al., 1995) à partir desquelles ont été établies des « normes » posturographiques ainsi que sur des patients atteints de syndromes vestibulaires (Nelson et al., 1995), cérébelleux, ou chez les hémiplegiques (Visser et al., 2008).

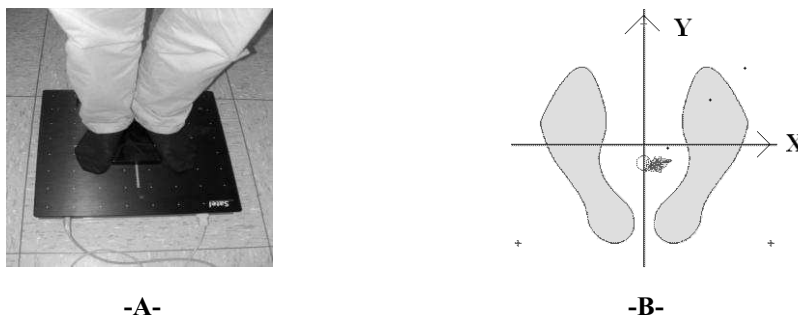
L'intérêt d'un examen de posturologie trouve sa place :

- en neurologie pour analyser la fiabilité des différentes boucles sensori-motrices impliquées dans la régulation centrale de la posture
- en rééducation fonctionnelle : pour quantifier les déficits fonctionnels; proposer des exercices de rééducation par biofeedback postural.

La posturographie ne permet pas d'établir de diagnostic mais effectivement de quantifier le poids de toutes les « entrées » de l'équilibre.

### 3.2. La posturographie statique

La posturographie statique est réalisée à l'aide d'une plateforme de forces, constituée d'un plateau indéformable sur lequel le sujet doit rester le plus immobile possible (figure 1A), (Broglia et al 2009). Trois capteurs de force transmettent à un ordinateur en temps réel l'évolution de la position du centre de pression des pieds (qui peut être assimilé à la projection du centre de gravité sur le polygone de sustentation). Ce tracé, le statokinésigramme (Figure 1B), est représenté par une ellipse englobant 95% des points de l'enregistrement. Ce tracé permet un calcul automatisé des paramètres de l'équilibre orthostatique notamment la surface qui, comparé à des valeurs normalisées, rendent compte de l'aptitude du sujet à maintenir son équilibre orthostatique.



**Figure 1 . La plateforme de mesure(A) et le statokinésigramme (B)**

Lors de l'examen, le patient reçoit la consigne de rester debout sur la plate forme, le plus immobile possible, dans deux conditions expérimentales, "yeux ouverts" et "yeux fermés". Chaque séquence dure 51,175 secondes, enregistre 2048 points avec une fréquence d'acquisition de 40 Hertz. Le polygone de sustentation ne se déformant pas et ne se déplaçant pas, on assimilera ces conditions à des conditions d'équilibration statique. Par la suite nous utiliserons uniquement, les valeurs en X et en Y issues de la plateforme pour évaluer les indices non linéaires ainsi que la surface du statokinésigramme. Nous montrons qu'elle peut-être corrélée avec le score EDSS.

#### **4. Méthodes d'analyse des mesures**

##### **4.1. L'analyse linéaire temps -fréquences**

Une analyse temps fréquence par Transformée de Fourier Rapide (TFR) est réalisée sur la bande passante des signaux de 0 à 6 Hz (Gagey et al., 1995). Les médecins utilisent cette analyse pour établir la corrélation entre les troubles de l'équilibre et les perturbations liées aux disfonctionnement des différents types de voies neurologiques, mono ou poly synaptiques (la rapidité de la réponse motrice dépendant du nombre de relais synaptique). Toutefois il semble difficile de corréler cette analyse à la mesure de l'EDSS ( Peyrodie et al., 2009).

##### **4.2. L'analyse non linéaire**

La présence de non linéarité semble se justifier par l'existence de boucles de régulation complexes d'où résultent les stratégies d'équilibration. Dans ce problème, la mise en équation du système d'équilibrage du corps humain n'est pas encore à ce jour bien identifiée. Nous cherchons à estimer le changement de stratégie d'équilibration de l'individu. Afin de mieux connaître la dynamique du système nous avons utilisé la méthode de quantification des récurrences (RQA) qui repose sur l'analyse des matrices de récurrences.

###### **4.2.1. Quantification des récurrences**

Un système dynamique représente un ensemble de variables qui évolue au cours du temps. L'analyse d'un système complexe caractérisé par l'interaction non-linéaire d'un ensemble de variables nécessite la description de toutes ses variables, le système est alors supposé multidimensionnel. En 1981, Takens (Takens 1981) démontre la possibilité de reconstruire une image équivalente au comportement original d'un système multidimensionnel, en utilisant une simple série chronologique d'une seule variable scalaire et en la décalant dans le temps.

Ainsi, à partir de la variable  $x$ , représentée par la suite de ses  $N$  valeurs, on peut construire les vecteurs  $X_i$  de dimension  $m$  tel que :

$$X_i = (x_i, x_{(i+\tau)}, x_{(i+2\times\tau)}, \dots, x_{(i+(d_E-1)\times\tau)})$$

où  $\tau$ , est un délais temporel et  $x_i$  l'évaluation de la variable à l'échantillon  $i$  et  $i=1..m$ .

avec  $m = N - (d_E - 1) \tau$  où  $d_E$  est la dimension de plongement.

L'extrémité du vecteur  $X_i$  décrit une trajectoire dans  $R^{d_E}$  (espace de plongement). Si les paramètres  $d_E$  et  $\tau$  sont correctement choisis, ces trajectoires caractérisent la dynamique du système.

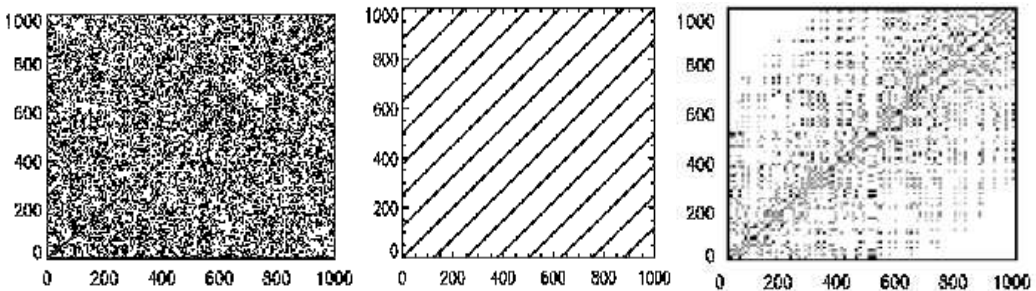
Eckmann et Ruelle ont utilisé le résultat de Takens, pour évaluer de façon visuelle la dynamique d'un système au moyen d'une matrice appelée matrice des récurrences RP (Recurrence Plot) (Eckmann et al., 1987)). Pour cela le rapport de voisinage entre deux vecteurs (trajectoires)  $X_i$  et  $X_j$  est exprimé en calculant la distance euclidienne entre ces deux vecteurs. Ces vecteurs sont alors dits récurrents si :

$$|X_i - X_j| \leq R \text{ où } R \text{ est un rayon fixé}$$

et on définit le coefficient  $a_{ij}$  correspondant de la matrice des récurrences par

$$a_{ij} = 1 \text{ si } |X_i - X_j| \leq R \text{ sinon } a_{ij} = 0 .$$

Les points récurrents sont représentés par les coefficients tels que  $a_{ij}=1$  dans la matrice RP.



**Figure 2 :** Représentation de différentes matrices de récurrences (a : bruit blanc, b : sinusoïde, c : équation logistique corrompu avec un paramètre de bruit linéairement croissant).

L'aspect très visuel associé à ces matrices et notamment l'observation des diagonales parallèles à la « diagonale principale » permet de conclure quand à la



nature des signaux observés. La Figure 2-b indique par exemple un signal périodique.

Initialement, la méthode des récurrences (RP) s’est basée sur l’analyse et l’inspection visuelle de la représentation matricielle graphique des récurrences. Or, il s’est avéré qu’il existait des structures dynamiques très complexes qui ne sont pas facilement identifiées par l’inspection visuelle. Zbilut et Webber ont alors introduit le concept de quantification des récurrences (RQA) (Zbilut et al., 2001) qui définit des mesures calculées à partir de la matrice des récurrences. Cette approche basée sur les structures de lignes des diagonales introduites par la méthode RP, consiste à calculer des variables très informatives, efficaces pour l’évaluation du degré du déterminisme d’une série temporelle et de la complexité d’une structure déterministe.

Nous proposons dans ce travail de se focaliser uniquement sur le pourcentage de récurrence qui est l’indice qui quantifie le pourcentage de la surface occupée par les points récurrents. Les autres indices obtenus à partir de la matrice RP nous sont apparus moins discriminant que le pourcentage de récurrence dans cette application.

Mesures	Définitions	Formule
Pourcentage des récurrences  (%r)	Nombre de points récurrents divisé par la surface totale du triangle en excluant la diagonale principale.	$\%r = 100 \times \frac{\sum_{i,j=1}^N [a_{ij}=1]}{N(N-1)}$

Tableau 1 : Mesures RQA

Il apparaît clairement que la représentation selon la matrice RP passe par le réglage des paramètres qui sont le délai ( $\tau$ ), la dimension de reconstruction ou de plongement ( $d_E$ ) et le rayon ( $r$ ). Le choix de ces paramètres repose d’une part sur des critères mathématiques et d’autre part sur le savoir faire acquis par l’expert. Plusieurs auteurs ont discuté de l’influence de la valeur de «  $d_E$  » sur les capacités des mesures RQA à mettre en évidence les changements de dynamique. Ainsi, dans [Iwanski et al., 1998], Isawski montre en utilisant l’équation logistique, que les instants des bifurcations restent inchangés quand ( $d_E$ ) augmente, et donc que les mesures RQA sont très peu influencées par ( $d_E$ ). Cette constatation empirique est démontrée dans (Gao et al., 2000).

Traditionnellement le choix du délai repose sur le critère de l’information mutuelle basé sur une estimation de la fonction de densité de probabilité de la variable étudiée. Cette estimation est toujours délicate sur des mesures issues du

vivant. Un choix précis du délai est donc complexe à mettre en œuvre et repose en général sur une bonne connaissance a priori de la dynamique du système.

Puisque le pourcentage de récurrence est finalement peu sensible au choix de la dimension de plongement et du décalage temporel, nous les avons arbitrairement choisis égaux à 1.

Le choix du rayon est fondamental dans l'analyse RQA. Un rayon trop grand définit tous les points comme récurrents et rend impossible la recherche de variations à l'opposé un rayon trop petit rend la méthode sensible aux bruits de mesure, il faut donc trouver un compromis, celui donné dans la littérature est lié à l'étendue de mesure  $\Delta E$  du signal.

$$r = \sqrt{d_E} * 10\% \Delta E$$

Nous proposons par la suite une alternative à ce choix.

#### 4.2.2. Application au signal stabilométrique

Le signal stabilométrique est caractérisé par deux variables X et Y. La distance par rapport à une référence centrale est pertinente, c'est pourquoi nous avons choisi de lier les variables X et Y par la distance stabilométrique définie par :

$$d = \sqrt{(X - X_c)^2 + (Y - Y_c)^2}$$

Cette distance permet en effet d'étudier des groupes de population sans préjuger de leurs pathologies.

#### 4.3. Choix du rayon

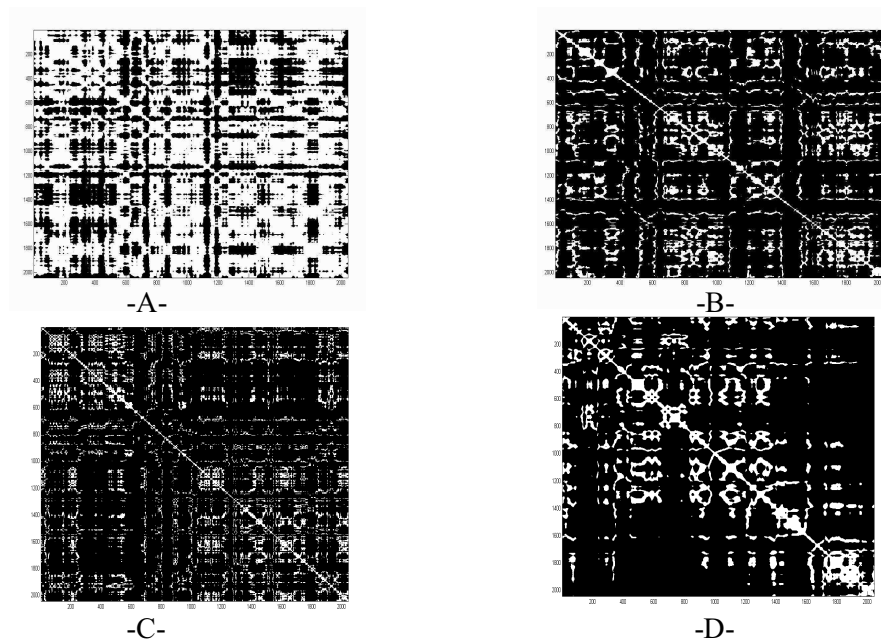
L'objectif de réglage du rayon repose sur un antagonisme, conserver la variabilité (la dynamique) du signal et répondre au mieux à nos objectifs de recherche de corrélation entre score EDSS et signal posturométrique. Notre expérience nous permet de fixer le taux de récurrence aux alentours de 20% (Gallois et al., 2002). Il s'agit ensuite de déterminer le coefficient de corrélation entre le taux de récurrence ou l'entropie et le score EDSS des patients pour chacun des patients, et pour chaque examen. Le rayon permettant d'obtenir un maximum de corrélation (pour un taux de récurrence proche de 20%) est considéré comme étant le plus adapté à nos objectifs. Le rayon a donc été réglé empiriquement sur la base de données en fonction de notre objectif (figure 4). Les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Examen	Rayon	Coefficient de Corrélation
d, Yeux ouverts	5	0,8026
d, Yeux fermés	9	0,8643

Tableau 2 : Rayon donnant le maximum de corrélation

A la vue de ces résultats, la valeur du rayon la plus pertinente est de 9.

#### 4.4. Matrices des récurrences



**Figure 3.** Matrices RP pour un patient sain (A), un score EDSS de 2.5 (B), un de 3.5 (C) et un de 4.5 (D). Le rayon choisi est de 9, le délai et la dimension sont de 1.

L’observation des matrices des récurrences (Figure 3) nous montre que des différences claires existent entre les différents scores d’EDSS et qu’elles seront

vraisemblablement mises en évidence par les mesures RQA. Un pixel noir sur la figure correspond à deux points récurrents.

**5. Méthode et résultats**

**5.1. Méthode**

Notre objectif est de montrer si une corrélation existe entre les scores de handicap et les mesures stabilométriques. Pour chaque patient, les fonctions motrices (pyramidale), sensitive, cérébello-vestibulaire, urinaire, la parole et la déglutition, visuelle et mentale (cognition) font chacune l’objet d’une évaluation neurologique. L’ensemble de ces items va permettre au praticien de déterminer le score global EDSS. Notre base de données est constituée de 92 patients et de 90 sujets sains appariés par âge et sexe, aucun n’est atteint de troubles orthopédiques. L’étude de la population saine et son appariement aux sujets SEP, nous a permis de voir s’il existait des différences significatives avec les différents sous-groupes SEP (déterminés en fonction du score EDSS).

Score EDSS	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4,5
Nombre d’individus	90	5	16	10	11	16	12	14	8

Tableau 3 : Répartition de la population

Un total de 92 patients volontaires, âgés de 25 à 68 ans, pour un âge moyen de 48.23 ans et de score EDSS moyen de 3.03 ont participé à cette étude. 90 sujets sains ont été enregistrés dans les mêmes conditions pour confronter les résultats.

Les données proviennent du service de médecine physique de l’hôpital Saint Philibert de Lomme.

Protocole : Pour chaque sujet, deux enregistrements ont été effectués, le premier enregistrement est réalisé les yeux ouverts et le second les yeux fermés. Chaque enregistrement est effectué suivant une procédure standardisée (cf §3.2) à l’aide d’un système d’acquisition analogique numérique sur 16bits. Pour chacun des enregistrements les calculs suivant ont été réalisés.

- Calcul de la surface du stabilogramme ;
- Calcul des pourcentages de récurrence, de déterminisme et du Shannon (Rayon de 9, le délai et la dimension sont fixés à 1) sur chacun des enregistrements.

Les courbes associées nous permettent de voir rapidement si il existe une possibilité de discrimination des populations et nous sélectionnerons les indices les plus discriminants pour la prédiction des scores EDSS.

### 5.2. Discrimination par le pourcentage de récurrence

La possibilité de différencier les niveaux d'EDSS par le calcul du pourcentage de récurrence apparaît très clairement à la figure 4. Sur l'intervalle des valeurs 1,5 à 3,5 a une valeur de pourcentage de récurrence calculée, correspond un seul score EDSS. Le pourcentage de récurrence (Figure 4) apparaît donc comme un indice qui pourrait permettre de retrouver le score EDSS à partir des données posturométriques.

Nous allons étudier maintenant la possibilité de prédire le score EDSS à partir du taux de récurrences. Afin de montrer que la méthode non linéaire apporte une réelle information supplémentaire, nous comparons les résultats avec la surface du stabilogramme.

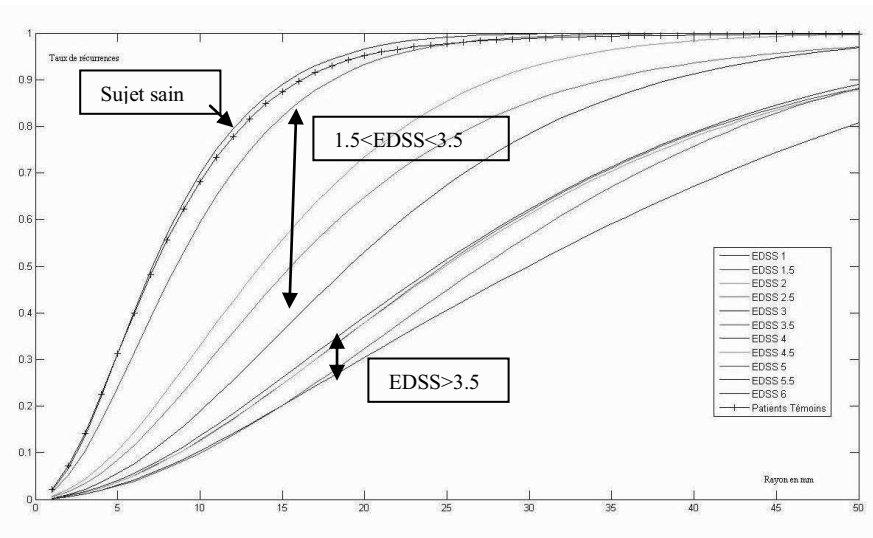


Figure 4. Moyenne du pourcentage de récurrence calculée sur chaque EDSS sur la population concernée en fonction du rayon.

### 5.3. Prédiction de la valeur de l'EDSS

Dans cette partie, nous avons supprimé les scores EDSS supérieurs à 5 qui ne sont pas significatifs dans notre étude parce que trop élevés. Les témoins ont un EDSS de 0.5. L'analyse des résultats montre qu'il est possible de relier le taux de récurrences ( Figure 5) à l'EDSS par la relation :

$$\text{EDSS} = -0.0465x^2 - 1.4621x + 0.0847 \text{ où } x = \log(\% \text{rec})$$

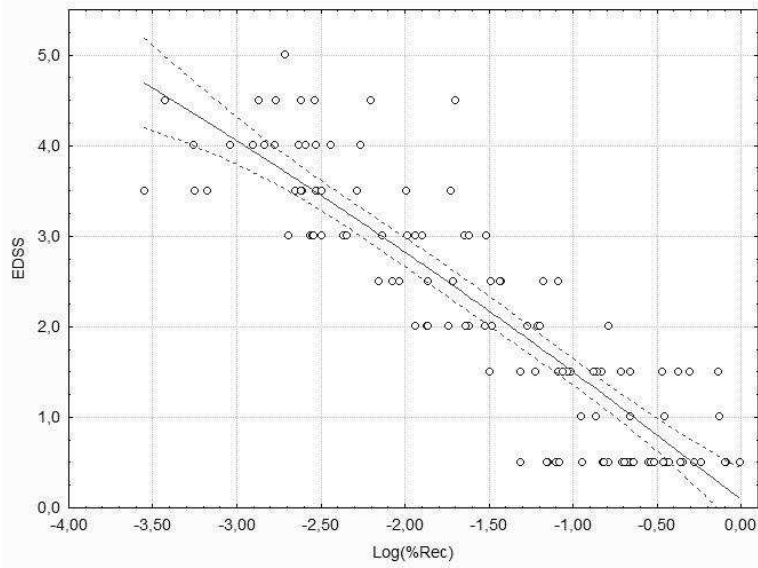
La relation entre les deux variables est précisée par le coefficient de corrélation qui est de 0.85 avec une significativité p inférieure à 0.0001. La confrontation des données réelles et recalculées avec l'équation de régression montre en moyenne un écart de 0.5 pour des scores EDSS compris entre 1.5 et 5.

L'analyse des résultats montre qu'il est possible de relier la surface du stabilogramme (Figure 6) à l'EDSS par la relation :

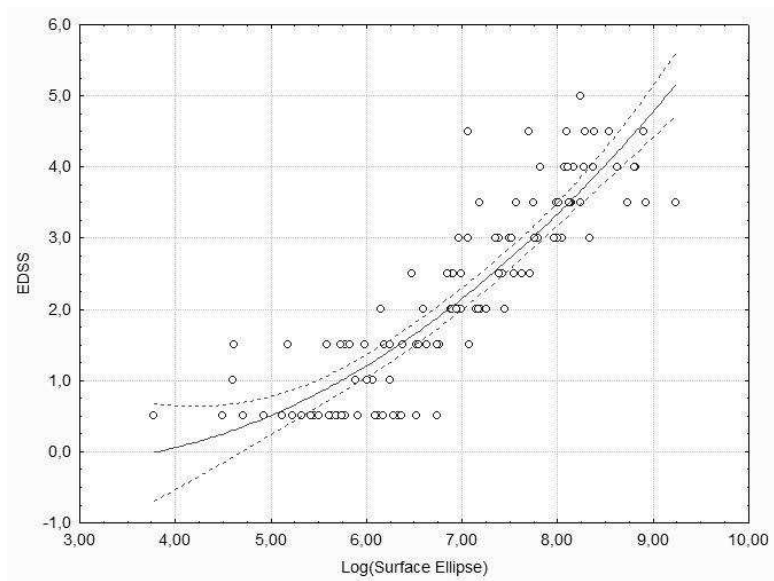
$$\text{EDSS} = 0.1235 x^2 - 0.660x + 0.7214 \text{ où } x = \log(\text{Surface de l'ellipse})$$

L'utilisation de la surface du stabilogramme permet d'obtenir une précision moyenne comprise entre 0.5 et 1 de l'EDSS pour des valeurs de surfaces comprises entre 0 et 6.

La corrélation entre la surface stabilométrique et le pourcentage de récurrences est forte (0.98). La significativité de cette corrélation est difficile à interpréter. La surface stabilométrique est une mesure globale représentant le recouvrement de l'espace de la projection du centre d'inertie. Cette mesure est indépendante de l'évolution (la dynamique) de proximité entre points consécutifs. Le taux de récurrence prend en compte la dynamique à l'intérieur de l'ellipse de surface représentée par le statokinésigramme, il représente une image de la vitesse du centre de gravité. L'utilisation de la méthode RQA est en moyenne plus précise pour la détermination du score EDSS que celle obtenue avec la surface du stabilogramme qui ne représente finalement que la densité des points.



**Figure 5.** *log(%récurrence) en fonction du score EDSS, pour chaque patient*



**Figure 6.** *Surface en fonction du score EDSS, pour chaque patient*

## 5.4. Discussion

La méthode RQA, et notamment le pourcentage de récurrence, nous permet donc de séparer les populations pour des EDSS>1 à l'aide des mesures posturométriques. Ce résultat corrobore la figure 3 où l'inspection visuelle des matrices de récurrences nous indiquait cette éventualité. L'estimation de l'EDSS, en étudiant le signal stabilométrique est donc possible. La précision moyenne de cette évaluation est de 0.5 avec le taux de récurrences et de 1 avec la surface du stabillogramme.

Quelques patients présentaient des scores EDSS en désaccord avec les taux de récurrences calculés. Ces aberrations étaient très visibles, les taux de récurrences recoupaient généralement ceux de patients à EDSS plus élevés. Trois cas de figure se sont présentés. Dans le cas de figure, le plus fréquent où les EDSS étaient sous-évalués, les patients possédaient en fait un EDSS bien plus élevé que celui mentionné dans la base de données. Cette analyse a permis de déceler des erreurs d'évaluation du score par le praticien ou des erreurs de reports dans la base de données. Pour d'autres il s'agissait de facteurs exogènes, comme d'autres pathologies pouvant affecter l'examen posturographique. Il peut-être indispensable de confronter les deux types d'examens pour minimiser les facteurs exogènes. Les derniers cas sont liés à l'insuffisance de la base de données. Les patients présentant des EDSS élevés sont peu nombreux, la base de donnée ne comporte en effet que trois patients à EDSS 6, aucun à EDSS 5,5, et 5 à EDSS 5. Il est donc impossible d'établir un taux de récurrence de référence pour ce type de patients. La prévision doit être pertinente pour les scores de 1.5 à 5, les scores au delà sont hors cadre de cette étude, le stade très avancée de la SEP qu'il représente ne nécessite hélas plus de prédiction. A un stade très précoce de la maladie (EDSS 1 par exemple), il existe peu d'altération des capacités de régulation de l'équilibre. Il paraît normal de ne pouvoir discerner la population témoin de cette catégorie de patients. D'autres modalités comme l'IRM permettrons certainement de faire cette distinction.

## 6. Conclusion et perspectives

Cette étude préliminaire a démontré la possibilité d'estimer en moyenne les scores EDSS supérieurs à 1 pour un patient atteint d'une SEP avec un biais équivalent à celui du spécialiste. Cette estimation repose sur le calcul du taux de récurrences de la distance posturométrique.

La portée de l'examen posturographique qui apparaissait jusqu'ici comme un examen complémentaire à ceux habituellement pratiqués (IRM, EEG) surtout liés à l'analyse somatotopique s'éclaire d'un jour nouveau. Aujourd'hui cet examen de courte durée, pourrait être utilisé pour estimer le score EDSS lorsque le recueil de données est difficile. Si le pourcentage de récurrences est fortement corrélé à l'EDSS et comme l'EDSS est un indice d'évolution de la maladie, dans l'avenir il faudra regarder l'intérêt de ce pourcentage comme un facteur de l'évolutivité de l'affection.



Bien évidemment même si les résultats statistiques sont encourageants, il faut poursuivre l'étude pour confirmer ces premiers résultats. Après avoir fixé  $d_E$  et  $\tau$  à 1 pour conserver le maximum d'information, il pourrait être intéressant de refaire cette étude pour d'autres valeurs.

Par la suite, nous étudierons la possibilité de définir l'existence d'une signature posturale du patient en fonction du stade de sa maladie. Ces signaux non linéaires « annonciateurs » d'un changement de stratégie d'équilibration chez ces patients, pourraient nous permettre ainsi d'anticiper la mise en place de protocoles thérapeutiques avant que les signes cliniques n'apparaissent. Toutefois, cette étude montre que cette prévision ne peut-être que multimodale, d'autres pathologies pouvant venir se greffer et perturber ainsi la mesure posturométrique.

### Remerciements

Nous tenons à remercier toute l'équipe de médecine physique (Dr C. Donzé) et du service de neurologie (Pr. P. Hautecoeur) de l'hôpital Saint Philibert de Lomme d'avoir participé activement à cette étude.

### Bibliographie

- Brochet B., « Place de l'EDSS dans l'évaluation précoce du handicap = Assessing incapacity at early stages of Multiple sclerosis using the EDSS », *Revue neurologique* ISSN 0035-3787, 2009, vol. 165, [Note(s) : S173-S179]
- Broglio SP, Sosnoff JJ, Rosengren KS, McShane K, « A comparison of balance performance: computerized dynamic posturography and a random motion platform. », *Arch Phys Med Rehabil.* 2009 Jan;90(1):145-50.
- De Seze J, Mackowiak A, Stojkovic T, Ferriby D, Hautecoeur P, Vermersch P, "Primary progressive forms of multiple sclerosis: application of the new diagnostic criteria", *Rev Neurol (Paris)*. 2002 Mar;158(3):341-5.
- Eckmann JP, Kamphorst S. O, Ruelle D, "Recurrence plots of dynamical systems", *Europhys Letters*, vol 4(9), pp 973-977, 1987.
- Gagey P-M, Bizzo G, Bonnier L, Getaz R, Guillaume P, Marucchi C. « Huit leçons de Posturologie. » 75012 Paris Association française de posturologie. 1990.
- Gagey P.M., Weber B. « Posturologie; Régulation et dérèglements de la station debout ». Masson, Paris. ISBN 2-225-84881-5 [2] (1995)
- Gallois P, Forzy G, Leduc JJ, Andres F, Peyrodie L, Lefebvre E, Hautecoeur P, 'Comparaison de l'analyse spectrale et de l'analyse non linéaire de l'EEG dans les troubles cognitifs', *Neurophysiologie clinique* 32 (2002)297-302
- Gao J.B, Cai H.Q, "On the structures and quantification of recurrence plots". *Phys. Lett. A*, V270: 75-87 (2000).

- Joseph S. Iwanski and Elizabeth Bradley “Recurrence plots of experimental data: To embed or not to embed?”, *Chaos* 8, 861 (1998).
- Kurtzke J. Rating ‘neurologic impairment in multiple sclerosis: an expanded disability status scale (EDSS).’, *Neurology* 1983;33:1444–52.
- Marissal JP, Hautecoeur P., »Economic repercussions of multiple sclerosis”, *Pathol Biol (Paris)*. 2000 Mar;48(2):139-50.
- Miller A, Dishon S, « Health-related quality of life in multiple sclerosis: The impact of disability, gender and employment status ». *Qual Life Res.* 2006 Mar;15(2):259-71
- Nelson SR, Di Fabio RP, Anderson JH. Vestibular and sensory interaction deficits assessed by dynamic platform posturography in patients with multiple sclerosis. *Ann Oto Rhino Laryngol.*; 104 (1):62-8.(1995).
- Ozakbas S, Cagiran I, Ormeci B, Idiman E., « Correlations between multiple sclerosis functional composite, expanded disability status scale and health-related quality of life during and after treatment of relapses in patients with multiple sclerosis. », *J Neurol Sci.* 2004 Mars 15;218, (1-2):3-7
- Peyrodie L, Boudet S, Zouache M, Cavillon F, Agnani O, Gallois P, “Non linear analysis of posturology data : A preliminary study” , Summer School “From Nonlinear Dynamics to BioMedicine”, Rouen 2009.
- Spain LA, Tubridy N, Kilpatrick TJ, Adams SJ, Holmes AC, « Illness perception and health-related quality of life in multiple sclerosis. », *Acta Neurol Scand.* 2007 Nov;116(5):293-9. Epub 2007 Sep 11
- Takens F, “Detecting strange attractors in turbulence”, Springer Verlag, *Lectures Notes in mathematics*, vol 898, pp 366-381,1981.
- Van Bockstael V, Gosselin S, Vukusic S, “Confavreux C. Prevalence of multiple sclerosis in french farmers” *Multiple Sclerosis* 2004 ; 10 : P156.
- Visser JE, Carpenter MG, van der Kooij H, Bloem BR., « The clinical utility of posturography. », *Clin Neurophysiol.* 2008 Nov;119(11):2424-36. Epub 2008 Sep 12. Review
- Zbilut P, Thomasson N, Webber LC, “ Reccurrence quantification analysis as a tool for nonlinear exploration of nonstationary cardiac signals”, *Elsevier, Medical and engineering physics*, vol (51),pp 1-8 Chicago(USA) , 2001.

