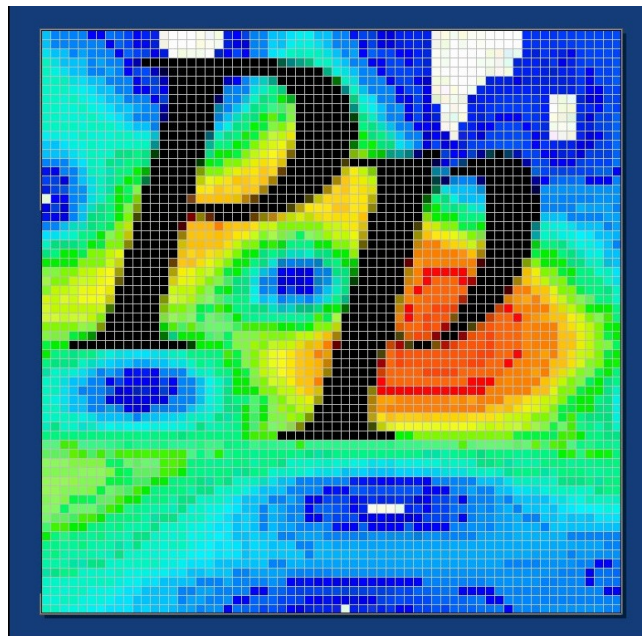


# Présentation de PosturoPro®

## Version 5.0



Révision du document : 5.0



**SARL FRAMIRAL**  
**50, rue d'Antibes, 06400 Cannes**  
**Tél: 04 93 68 67 62 ; Fax : 04 92 98 03 30**  
**[www.framiral.com](http://www.framiral.com)**

# **Intérêts du Logiciel "PosturoPro" en Exploration et Rééducation des Troubles de l'équilibre**

L'idée princeps qui a présidé à l'élaboration d'un nouveau logiciel de traitement des signaux stabilométriques repose sur le triple constat suivant :

- les paramètres standards (surface, longueur,...) usités en clinique de routine avec des plates-formes de stabilométrie statiques restent très insuffisants pour l'établissement d'un diagnostic de déficit postural, quelle qu'en soit son origine (vieillesse normale ou pathologique du système postural, atteinte pathologique de systèmes de contrôle et de régulation posturale), de même que pour le suivi d'une rééducation,
- des méthodes de traitement du statokinésigramme et des stabilogrammes en X et en Y sont utilisées depuis fort longtemps bien que l'on sache qu'elles ne sont pas applicables à l'analyse des signaux stabilométriques. C'est le cas notamment de l'analyse de Fourier (FFT) qui, appliquée en posturologie, présuppose que le contenu fréquentiel du stabilogramme est constant dans le temps, ce qui est faux,
- des méthodes d'analyse mathématique plus récentes permettent de s'affranchir des limitations de ces techniques d'analyse du signal stabilométrique et de porter un regard neuf sur les mécanismes de régulation de la posture. Certaines offrent la possibilité d'analyser le contenu fréquentiel en fonction du temps (décomposition par ondelettes), d'autres de déterminer les relations de causalité entre deux points d'échantillonnage (analyse fractale, analyse de diffusion) et, par conséquent, de savoir si les déplacements du centre de pression (CdP) sont aléatoires ou déterminés par l'intervention de boucles de régulation rétroactive.

Le Logiciel PosturoPro® est le fruit d'une collaboration entre chercheurs et ingénieurs en traitement du signal pour son développement (UMR 6149 : M. Lacour), et la Société Framiral ® pour sa mise en forme sous Windows® à l'usage des cliniciens et pour sa distribution. Il incorpore des algorithmes de traitement originaux basés sur ces nouvelles méthodes d'analyse mathématique appliquées au traitement du signal stabilométrique, et des indices de stabilité et de contrôle postural qui s'avèrent plus pertinents, plus sensibles et plus discriminants que les critères classiques. Des résultats obtenus en posturographie statique sur des groupes différents de sujets jeunes, âgés et pathologiques montrent en effet que ce logiciel permet de clairement les différencier. Les données issues de ces nouvelles analyses amènent à revisiter le concept de contrôle postural et à l'émergence d'hypothèses heuristiques. L'apport de PosturoPro® à l'analyse du contrôle postural en condition statique est d'autant plus visible que l'on s'intéresse aux investigations effectuées en condition dynamique. Par ailleurs, les données obtenues avec PosturoPro® permettent de mieux suivre les effets d'une rééducation, voire d'un traitement pharmacologique. Que contient PosturoPro® et quelle peut être son utilité en clinique quotidienne ? C'est ce qui est résumé ci-dessous.

## ***Application de la méthode de décomposition en ondelettes au signal stabilométrique***

### ***a) analyse qualitative***

La décomposition en ondelettes des stabilogrammes en X ou en Y fournit une carte tridimensionnelle des déplacements du CdP. PosturoPro® établit donc une cartographie 3D de l'enregistrement postural, semblable aux courbes de niveaux des cartes d'état major, avec le temps en abscisses, la fréquence en ordonnées et la puissance du contenu fréquentiel

figurée par un code couleurs. Les couleurs chaudes (jaune, orangée et rouge) représentent des puissances élevées (pics) tandis que les couleurs froides (vert, bleu et blanc) traduisent des puissances faibles ou nulles (creux), pour une fréquence donnée ou une bande de fréquences déterminée.

*Un premier regard qualitatif* porté sur la carte 3D permet de savoir :

- si le sujet examiné dépense (prédominance des couleurs chaudes) ou non (prédominance des couleurs froides) une grande quantité d'énergie pour maintenir son équilibre postural. On s'attend plus volontiers à une cartographie froide chez un sujet jeune et sans problème postural,
- si ce sujet présente un contenu fréquentiel de type normal (entre 0 et 3-4 Hz) ou non. Des fréquences élevées, par exemple, peuvent témoigner de l'existence de processus pathologiques (tremblement physiologique, sclérose en plaque,...),
- si la représentation cartographique du signal posturographique est homogène dans le temps (puissance constante d'une fréquence) ou accidentée (accroissement subit d'une puissance due à une instabilité posturale transitoire, très limitée dans le temps, de type artéfactuel ou non). Dans ce dernier cas, recommencer de suite l'épreuve peut constituer une réponse aux questions que peut se poser le clinicien.

A côté de ce premier regard qualitatif, dans lequel l'expérience du praticien sert de guide, un *second regard quantitatif* est fourni par les indices quantitatifs calculés à l'aide des méthodes mathématiques précitées.

### ***b) analyse quantitative***

A partir de l'analyse de l'ensemble de la carte posturographique 3D, le logiciel PosturoPro® calcule les temps d'annulation d'une fréquence donnée (ou d'une bande de fréquences déterminées). Ces temps d'annulation sont présentés sous forme de graphe à partir desquels est calculée l'intégrale des surfaces correspondantes à ces temps d'annulation.

Cette valeur de l'intégrale détermine un Indice de Contrôle Postural (ICP). Un ICP élevé signe un bon contrôle postural, c'est-à-dire témoigne d'une bonne stabilité générale. En revanche, un ICP faible souligne l'existence de déficits de régulation posturale. Cet indice est donc utile pour l'analyse du contrôle postural de personnes âgées ou présentant des dysfonctionnements de leur contrôle postural. Il permet également de déterminer les stratégies sensorielles utilisées par un sujet sain ou pathologique. Par exemple, un sujet dépendant visuel placé en présence d'un environnement visuel mobile à faible fréquence de déplacement présentera des oscillations posturales dans la plage des basses fréquences, et son ICP sera faible. Inversement, un sujet indépendant visuel aura un ICP élevé.

A partir des puissances des fréquences, on peut déterminer par ailleurs un Indice de Puissance (IP). L'IP résulte d'un calcul d'intégrale similaire à celui portant sur l'ICP.

L'intégrale des surfaces « dessinées » par les courbes de puissance peut porter sur une fréquence donnée, ou sur une bande de fréquences déterminée, ou encore sur la totalité du domaine harmonique. Plus l'IP est faible est plus le sujet est stable et, inversement, plus l'IP est élevé et plus il traduit une instabilité posturale importante.

Ces deux indices sont donc complémentaires et varient en sens opposé. Pour un sujet donné, un ICP élevé associé à un IP faible signe une très bonne stabilité posturale réalisée avec un faible coût énergétique. Pour un autre sujet, un ICP élevé associé à un IP élevé témoigne aussi d'une bonne stabilité posturale assurée au prix d'un coût énergétique important.

Un autre chiffre important fourni par le logiciel est l'Indice d'Instabilité Posturale. Cet indice est calculé à partir des deux indices précédents, et permet une évaluation de l'instabilité posturale du patient.

L'analyse fractale fournit un autre indice complémentaire des deux précédents et permet, en association avec ces indices, d'obtenir une description plus complète des perturbations posturales chez un sujet debout, que se soit pour des raisons intrinsèques (âge, pathologie) ou extrinsèques (perturbations posturales liées à un déplacement du support, à une entrée

visuelle,...).

La dimension fractale (Hausdorff) permet de déterminer si deux points consécutifs de l'échantillonnage du signal stabilométrique sont non corrélés (déplacement aléatoire ou stochastique) ou s'ils sont corrélés, c'est-à-dire liés par une relation causale. Le logiciel PosturoPro® calcule le nombre  $n$  de ces points non corrélés et exprime le rapport  $n/N$ , où  $N$  représente le nombre de points d'échantillonnage.

Un rapport  $n/N$  tendant vers l'unité témoigne d'une grande stabilité posturale tandis qu'un rapport  $n/N$  tendant vers zéro souligne une très forte instabilité posturale. Ce rapport diminuera donc chez un sujet âgé et/ou atteint d'une pathologie de son système de contrôle postural. De même, un sujet sain placé en situation de perturbation posturale par déplacement du support, modification d'une entrée sensorielle,... verra son rapport  $n/N$  diminuer par rapport à une situation contrôle.

Le logiciel PosturoPro® incorpore également l'analyse de diffusion développée par Collins et De Luca (1995). Cette analyse permet de déterminer, sur le statokinésigramme comme sur chacun des stabilogrammes en X et en Y, les coordonnées du point critique et le coefficient de diffusion. Ces indices signalent, selon les auteurs, le passage d'un mode de fonctionnement en boucle ouverte (déplacements stochastiques des déplacements du CdP) à un mode de fonctionnement en boucle fermée (avec intervention de mécanismes de régulation de la posture). Cette méthode se rapproche donc de l'analyse fractale.

On comprend aisément que l'accroissement du déplacement quadratique moyen (ordonnée du point critique) et l'accroissement du temps d'intervention des mécanismes de contrôle en boucle fermée (abscisse du point critique) soient à l'origine de chutes chez la personne âgée (ou dans certaines pathologies posturales). En effet, ces accroissements signifient que des déplacements du CdP trop amples et corrigés trop tardivement surviennent chez les sujets chuteurs ou instables.

Le logiciel PosturoPro® constitue donc une boîte d'outils nouveaux au service de l'analyse de la posture, en condition statique comme en condition dynamique. Ces outils sont plus sensibles et discriminent mieux des dysfonctionnements posturaux liés au vieillissement normal ou pathologique du système de contrôle postural, ou à des pathologies de ce système. Ils permettent également de mieux appréhender les répercussions posturales de modifications environnementales chez le sujet sain comme chez le sujet pathologique. Ce logiciel devrait également, compte tenu de la puissance des méthodes mathématiques de traitement du signal sur lesquelles il s'appuie, permettre d'améliorer le diagnostic étiologique et le suivi d'une rééducation.

**PosturoPro® dispose sur demande de passerelles permettant de lire tous types de fichiers 'patient' issus des plates-formes statiques ou dynamiques des principaux constructeurs mondiaux.**

**Ces plates-formes doivent au moins avoir les performances suivantes :**

- Fréquence d'acquisition de 40Hz
- Résolution en déplacement de 16 bits

**Il est proposé en version standard avec une des passerelles :**

- pour l'appareil Multitest® de la société FRAMIRAL®**
- **pour le logiciel Win-Posturo® de la société MEDICAPTEURS®**
- **pour le logiciel SPS® de la société SYNAPSYS®**
- **pour le logiciel associé aux plate-formes SATEL®**

**Chaque version du logiciel (suivant la passerelle) est uniquement distribuée par la société concernée (FRAMIRAL, MEDICAPTEURS, SYNAPSYS, SATEL)**

## Utilisation du logiciel

Suivant la version, PosturoPro® peut être démarré à partir du menu "Démarrer" de WindowsXP ou bien il est appelé par un click sur le bouton approprié du logiciel Multitest Equilibre (FRAMIRAL), SPS(Synapsys), Win-Posturo(Medicapteurs), SATEL. Une première fenêtre s'ouvre, offrant un choix des analyses à effectuer (Fig1) :

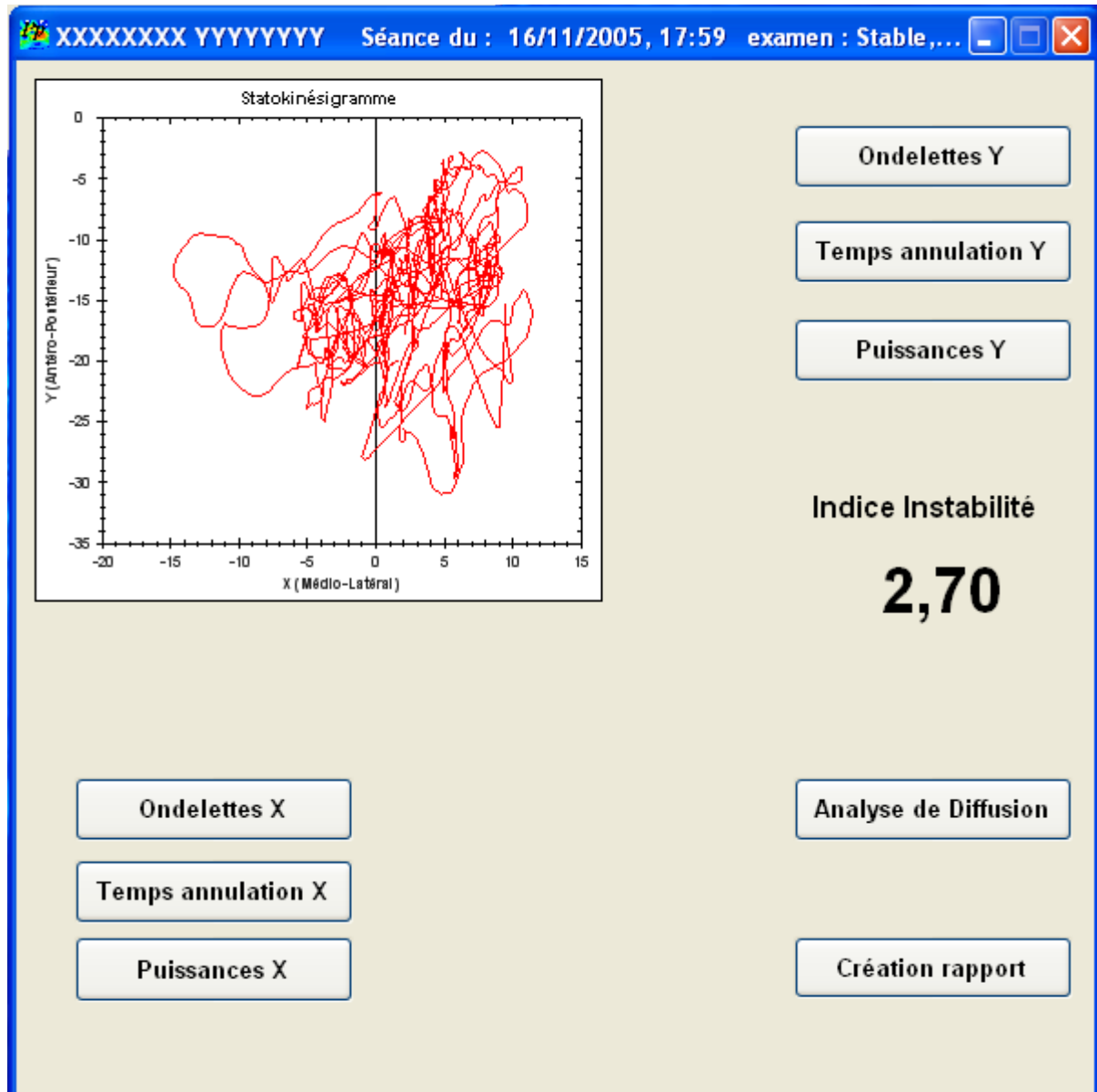


Figure 1 : Première fenêtre de PosturoPro®

Une première indication sur l'instabilité du patient est fournie par l'indice d'instabilité posturale (dans ce cas: 2,70 indique une possible atteinte pathologique – fait confirmé par le diagnostic). Suivant le bouton cliqué, l'analyse choisie sera présentée dans une nouvelle fenêtre

Les boutons pour l'analyse des mouvements dans le plan antéropostérieur (Y), sont groupés dans la partie de droite, en haut de la fenêtre. Pour l'analyse des mouvements dans le plan médiolatéral (X), les boutons se trouvent en bas de la fenêtre, à gauche. Deux autres boutons sont présents, l'analyse de diffusion (la méthode de Collins et deLuca), ainsi que la création du rapport d'examen.

## Analyse des mouvements dans le plan antéropostérieur

En cliquant sur le bouton "Ondelettes Y", on obtient la fenêtre présentée dans la figure 2 :

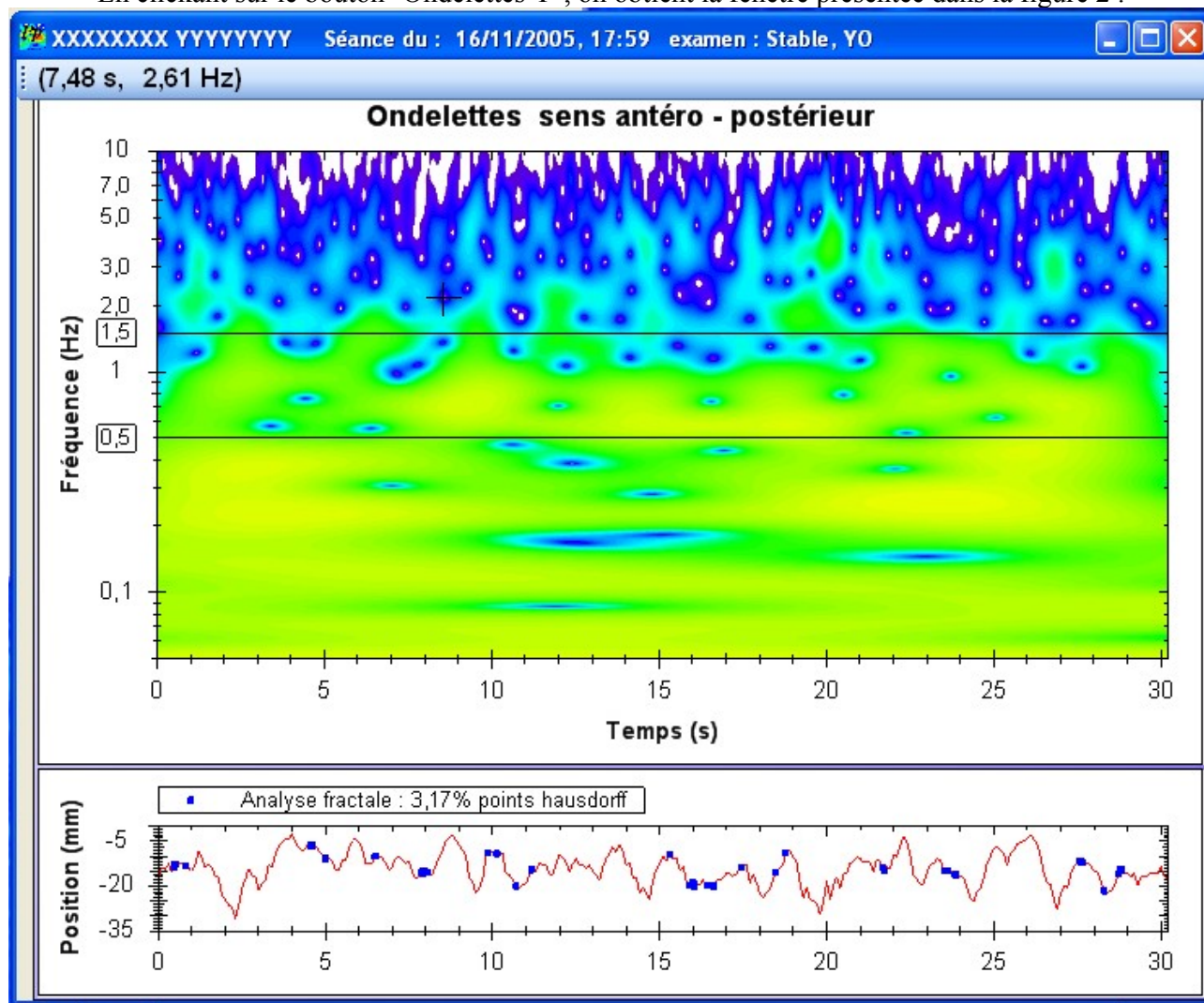


Figure 2 : Analyse par décomposition en ondelettes et analyse fractale du mouvement antéropostérieur

Note : pour des raisons évidentes, le nom et prénom du patient qui a fait l'objet de cet enregistrement ont été remplacés par XXXXXXXX et YYYYYYYY

Sur cette fenêtre, on peut distinguer deux régions : l'analyse par décomposition en ondelettes (la région supérieure) et l'analyse fractale de l'enregistrement (région inférieure). La région supérieure présente la carte tridimensionnelle obtenue à partir de la décomposition en ondelettes de l'enregistrement. Les deux régions ont une coordonnée commune, à savoir le temps (en abscisse). Ce mode de présentation permet de faire la liaison entre la courbe de l'enregistrement postural et la carte tridimensionnelle. En effet, si on souhaite cerner des détails, un zoom peut être obtenu à l'aide de la souris : en maintenant le bouton gauche appuyé on peut délimiter la zone d'intérêt (Fig. 3). L'interprétation des cartes présentées sur cette fenêtre est une question d'observation et d'expérience. Les couleurs froides (violet, bleu ...) présentes sur la carte tridimensionnelle indiquent des puissances faibles des fréquences concernées, les couleurs chaudes (orange, rouge...) indiquant des puissances élevées. La zone inférieure présente en bleu les points où l'analyse fractale ne discerne pas de corrélation entre les positions successives du centre de pression (CdP).



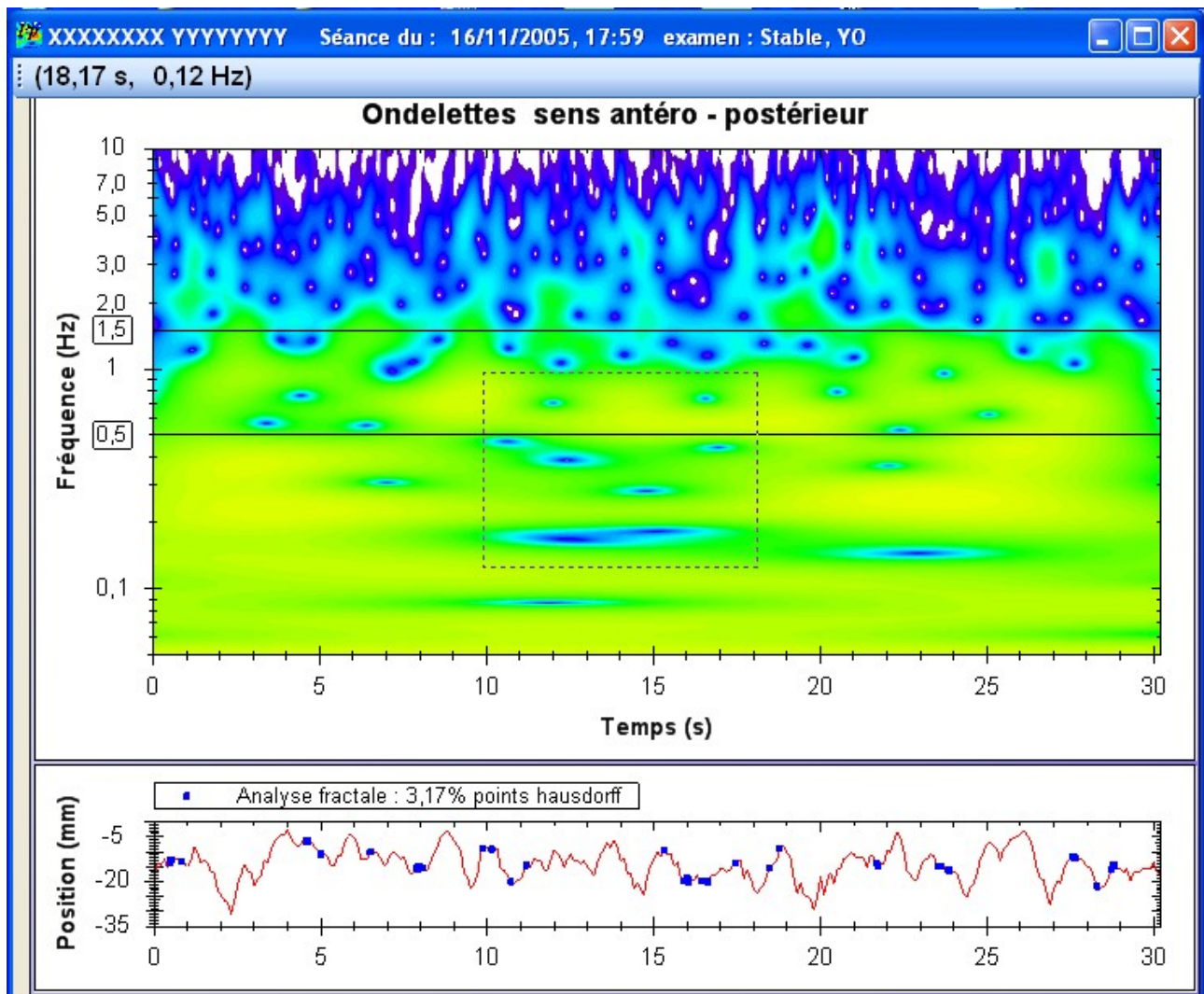


Figure 3 : Délimiter la zone de zoom

En relâchant le bouton gauche de la souris, la carte est remise aux dimensions souhaitées, ainsi que la deuxième région de la fenêtre (Fig 4). Ainsi, les deux zones se trouvent toujours en concordance temporelle pour faciliter l'interprétation. Bien entendu, la même opération est possible sur la zone consacrée à l'analyse fractale, tout en conservant la concordance temporelle. Pour revenir à la présentation initiale, le menu de l'affichage peut être activé à l'aide d'un click droit de la souris.

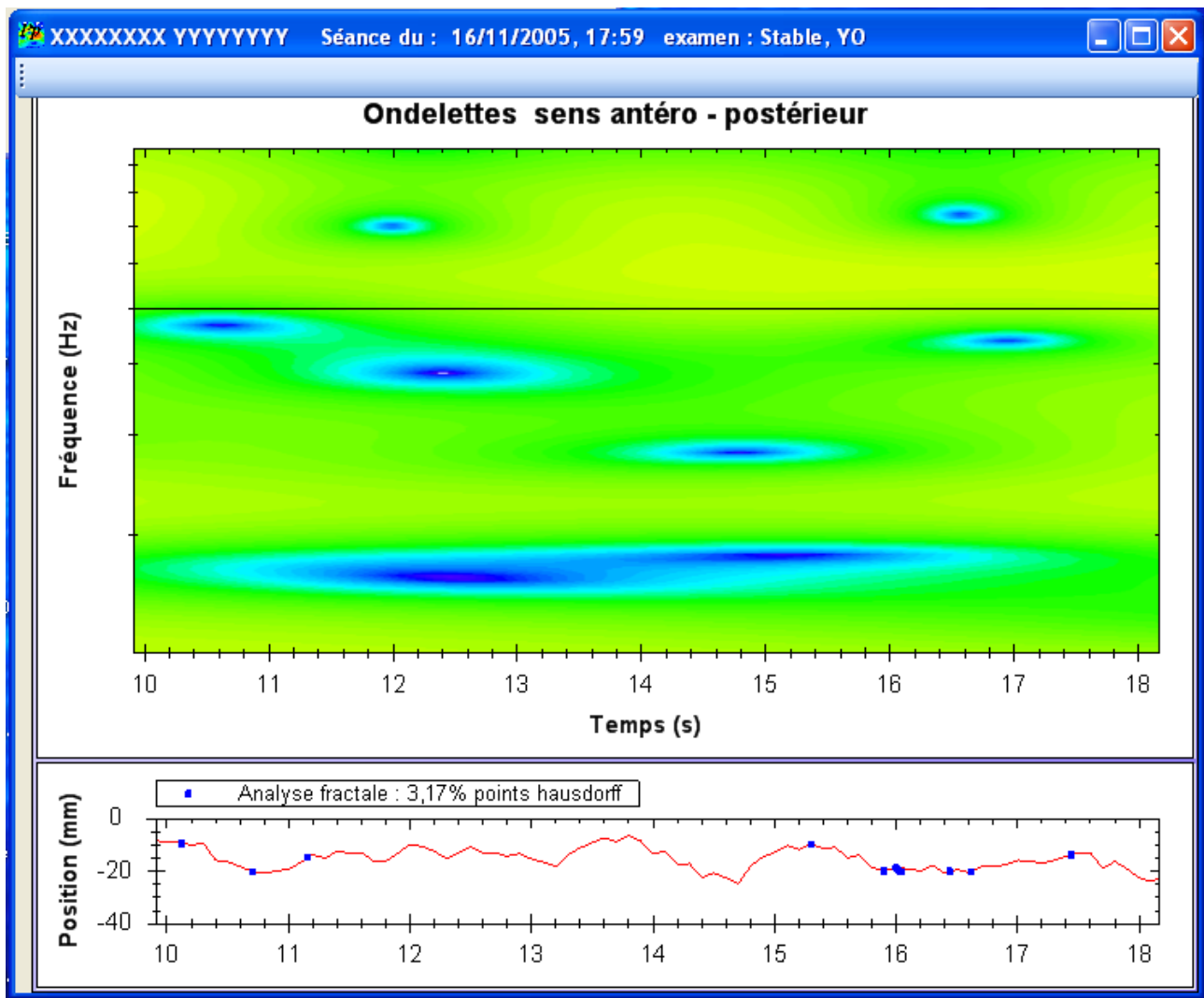


Figure 4 : Zoom sur la zone sélectionnée

Si un détail de la carte tridimensionnelle doit être localisé (en coordonnées temps – fréquence), la barre du haut de la fenêtre (en bleu clair) affiche les coordonnées du curseur. Il suffit d'aligner le curseur sur le détail en question pour en obtenir la localisation (Fig. 2 : coordonnées du curseur : 7,48s, 2,61Hz). Aussi, les coordonnées locales du tracé stabilométrique peuvent être visualisées en sélectionnant dans le menu d'affichage "afficher les coordonnées". En plaçant le curseur sur un point du tracé, on peut lire directement les valeurs du temps et de la coordonnée (Fig 5):



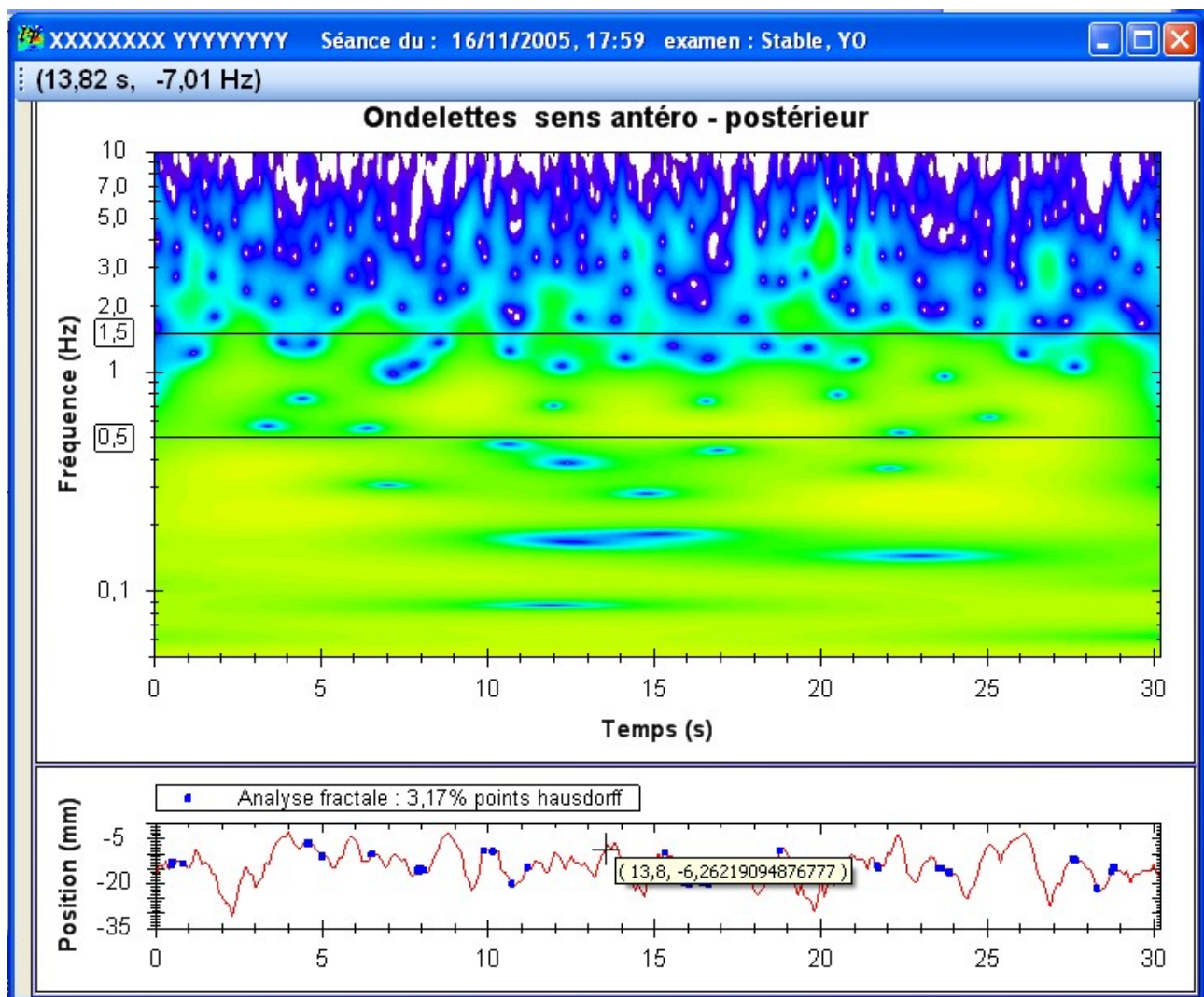


Figure 5 : Affichage des coordonnées spatio-temporelles du tracé stabilométrique.  
Dans ce cas, le curseur se trouve à 13,8 s et -6,26 mm

Pour ne plus afficher les coordonnées, il suffit de décocher la case "Afficher les valeurs" dans le menu d'affichage.

Une analyse des temps d'annulation peut être obtenue en cliquant sur le bouton "Temps annulationY" (Fig. 1) et la fenêtre qui présente les temps d'annulation s'ouvre (Fig. 6) :

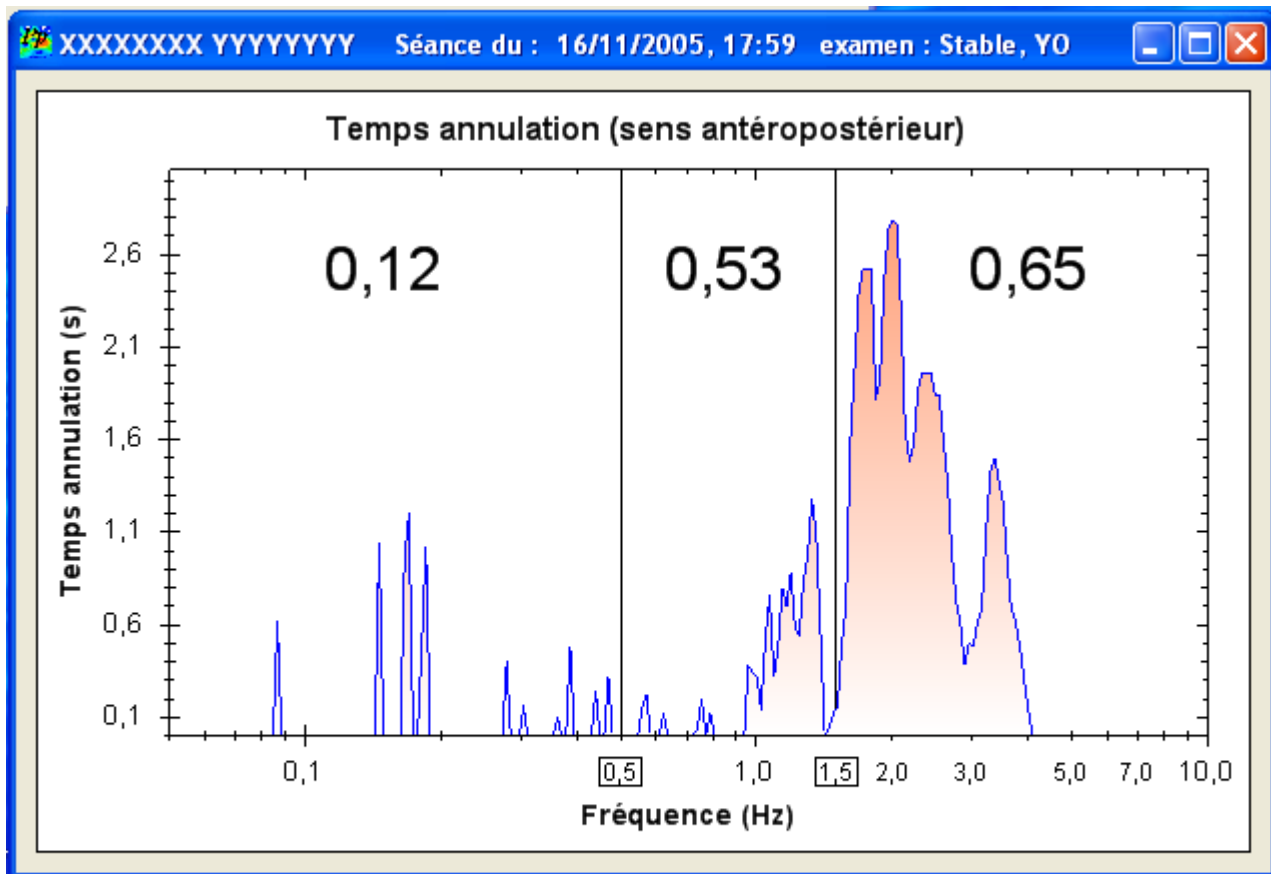


Figure 6 : Graphique des temps d'annulation

Dans ce cas, remarquer la présence de temps d'annulation importants au-delà de 1,5 Hz, ce qui peut constituer un indice de pathologie (ce qui est le cas dans cet exemple). En revanche, la présence de temps d'annulation importants en dessous de la limite de 1,5 Hz (ce qui n'est pas le cas dans cet exemple) indique une bonne stabilisation posturale.

Les trois chiffres imprimés avec des gros caractères (en noir) correspondent aux valeurs des indices ICP pour chaque domaine fréquentiel analysé (0,05-0,5 Hz ; 0,5-1,5 Hz et 1,5-10Hz). Il n'est pas nécessaire de noter ces valeurs car elles seront reprises dans le rapport d'examen (voir la rubrique "Rapport d'Examen"). Ces indices sont présentés sur la fenêtre pour permettre au praticien une évaluation rapide, sans attendre l'impression du rapport. Les trois domaines fréquentiels analysés sont marqués par les lignes verticales qui correspondent aux limites qui les séparent (0,5 et 1,5 Hz).

Bien entendu, le menu d'affichage est utilisable aussi sur cette fenêtre (Fig 7 et 8):

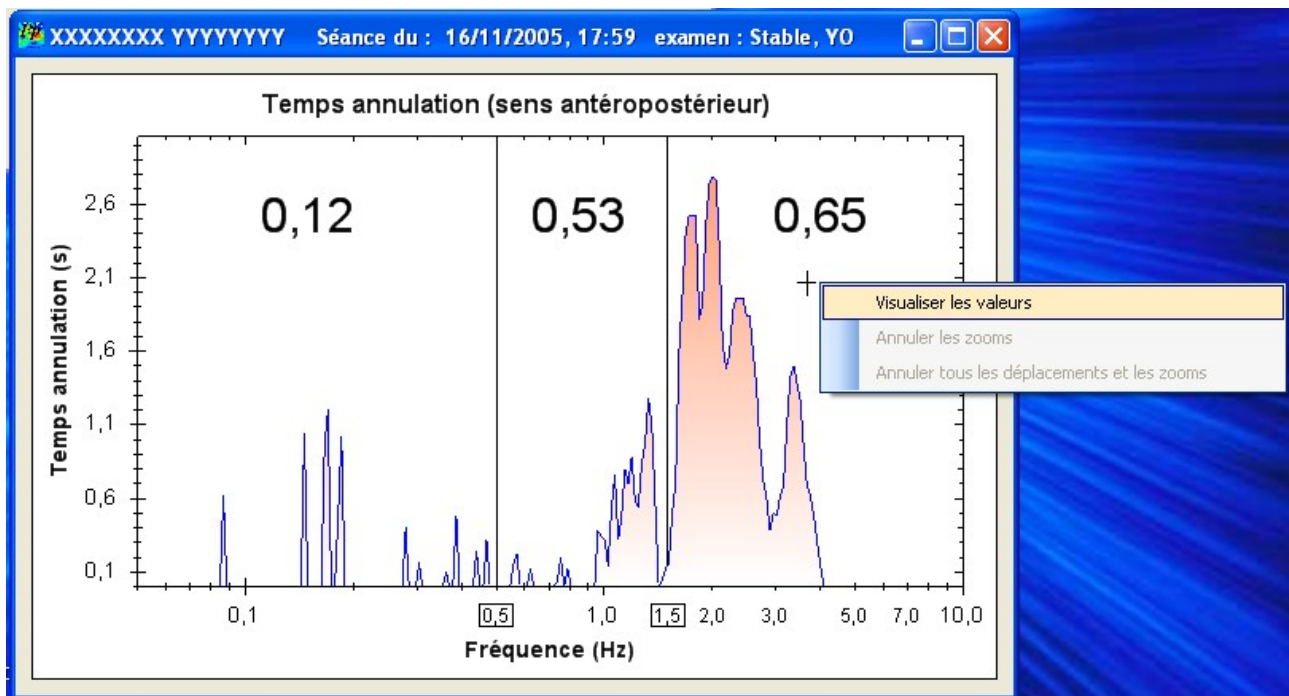


Figure 7 : Menu d'affichage

Dans ce cas la case "Afficher les valeurs" va être sélectionnée

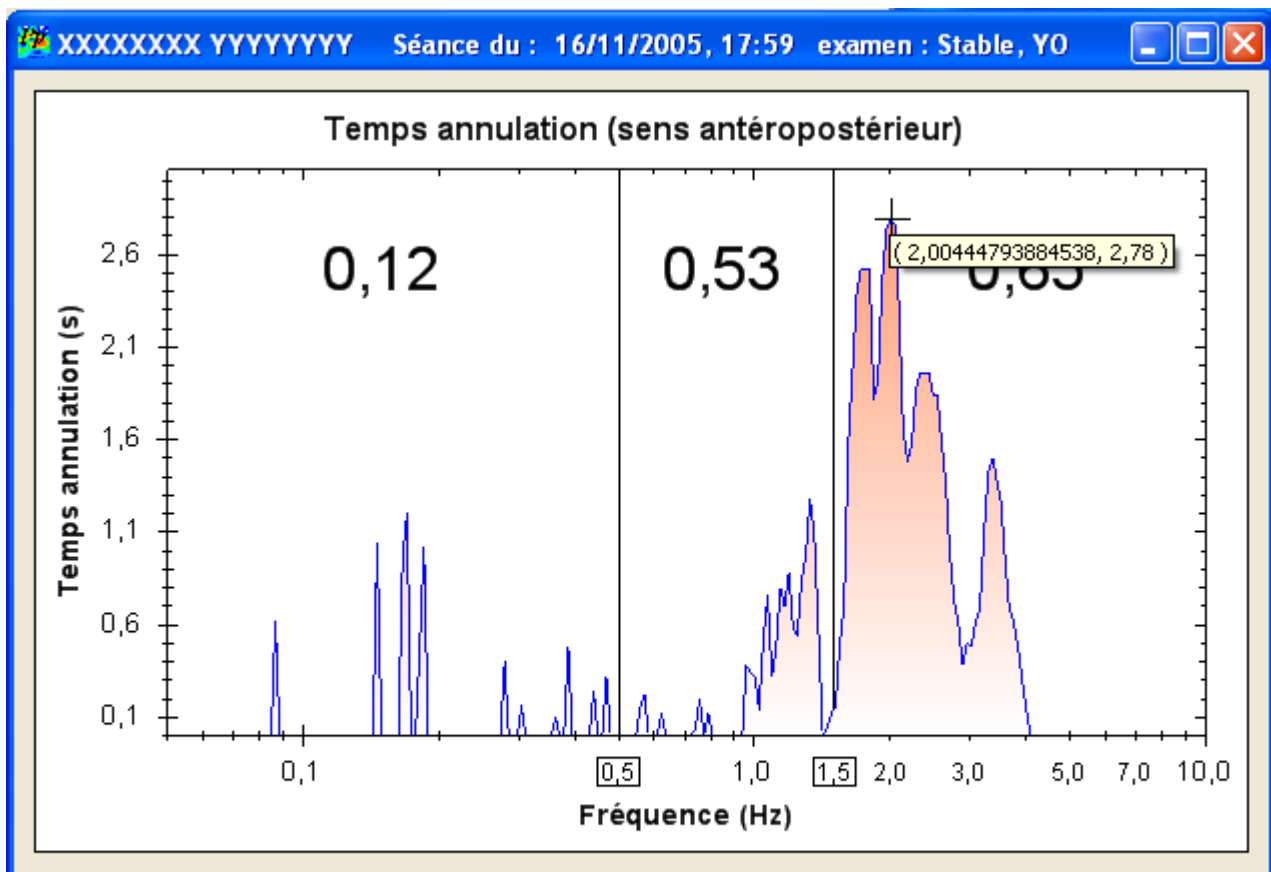


Figure 8 : Affichage des valeurs de la courbe

Dans ce cas, le curseur indique un temps d'annulation de 2,78s pour la fréquence de 2,004Hz

De manière similaire à la fenêtre présentant la décomposition en ondelettes, le zoom est fonctionnel et permet de décèler des détails si cela est souhaité.

En cliquant sur le bouton "Puissances Y" (Fig. 1), on peut obtenir le tracé des puissances moyennes observées pendant l'enregistrement (Fig 9) :

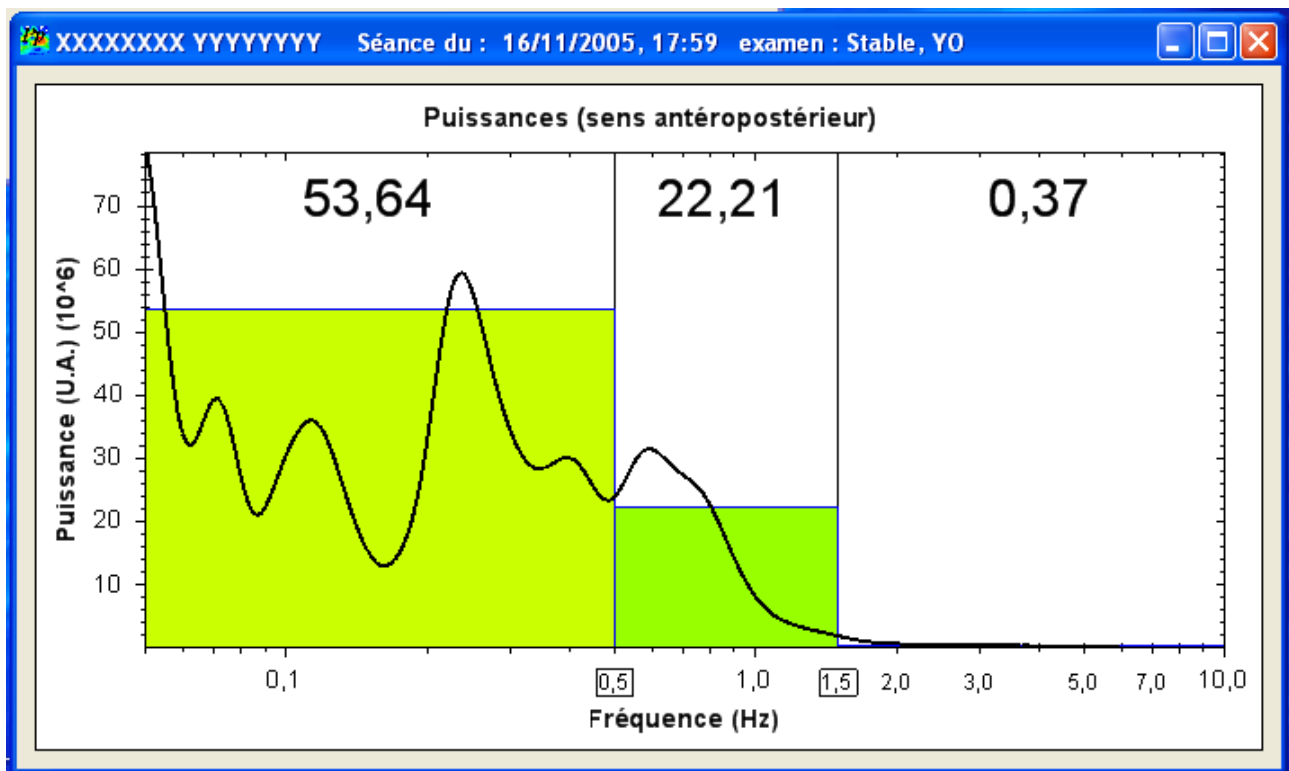


Figure 9 : Analyse des puissances moyennes observées lors de l'enregistrement

Sur cette fenêtre, les chiffres en gros caractères présentent les indices de puissance (IP) exprimés en millions pour faciliter la lecture. Dans ce cas, remarquer le pic assez prononcé présent aux alentours de 0,25 Hz (voir aussi la figure suivante)

Les trois domaines fréquentiels analysés sont marqués par les lignes verticales qui correspondent aux limites qui les séparent (0,5 et 1,5 Hz). Sur le même graphe, on peut aussi remarquer la présence des valeurs moyennes de la puissance en Unités Arbitraires (U.A.). Les couleurs sont attribuées aux rectangles correspondants suivant la même convention adoptée pour les décompositions en ondelettes (Fig. 2), à savoir des couleurs froides pour les basses puissances et des couleurs chaudes pour les hautes puissances. De manière similaire aux fenêtres déjà présentées, le menu d'affichage peut être utilisé pour zoomer ou bien pour afficher les valeurs de la courbe (Fig 10) :

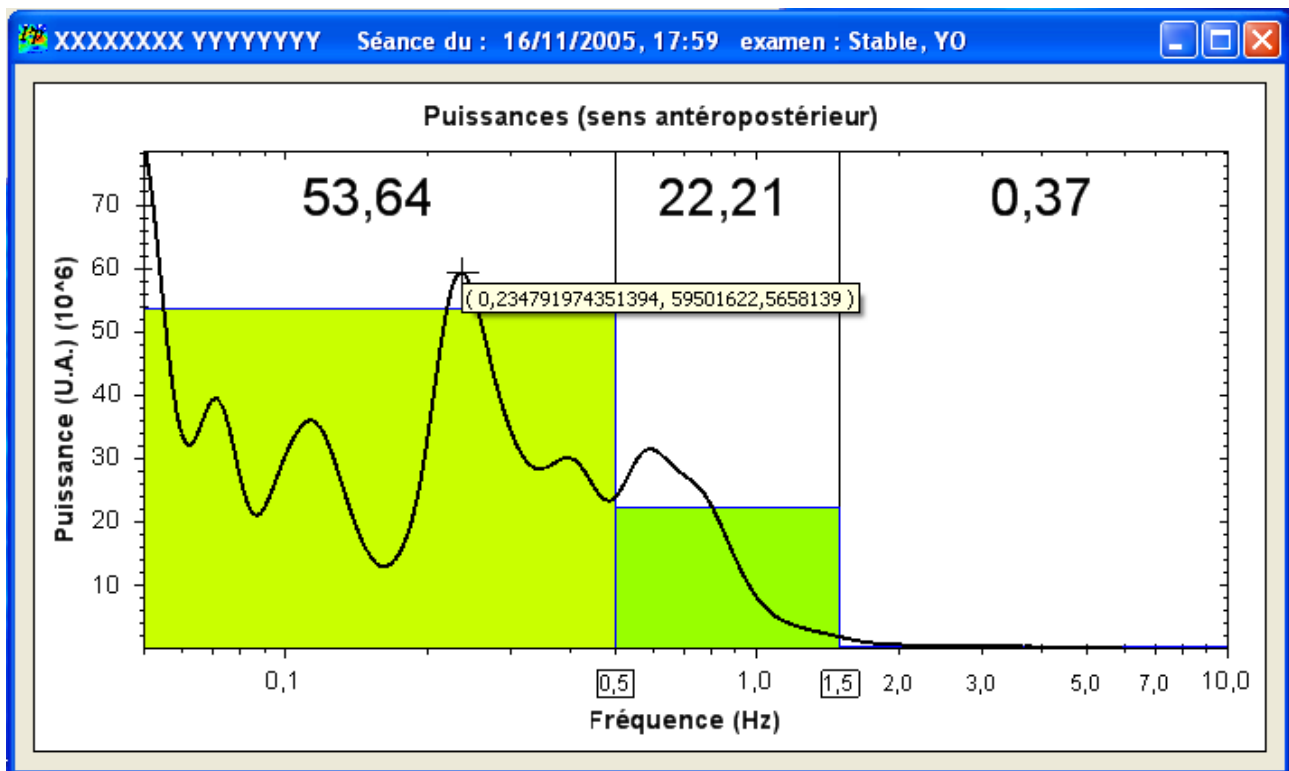


Figure 10 : Courbe des puissances moyennes exprimées pendant la durée de l'enregistrement.

### Analyse des mouvements dans le plan médiolatéral

L'utilisation de cette fonction est tout-à-fait identique à l'analyse des mouvements dans le plan antéropostérieur, et se réalise en cliquant sur les boutons : "Ondelettes X", "Temps annulationX" et "Puissances X" (Fig. 1).



## Analyse de diffusion (méthode de Collins et deLuca)

L'analyse de diffusion peut être visualisée en cliquant sur le bouton "Analyse de Diffusion" (Fig. 1). La fenêtre correspondante est alors affichée à l'écran (Fig. 11):

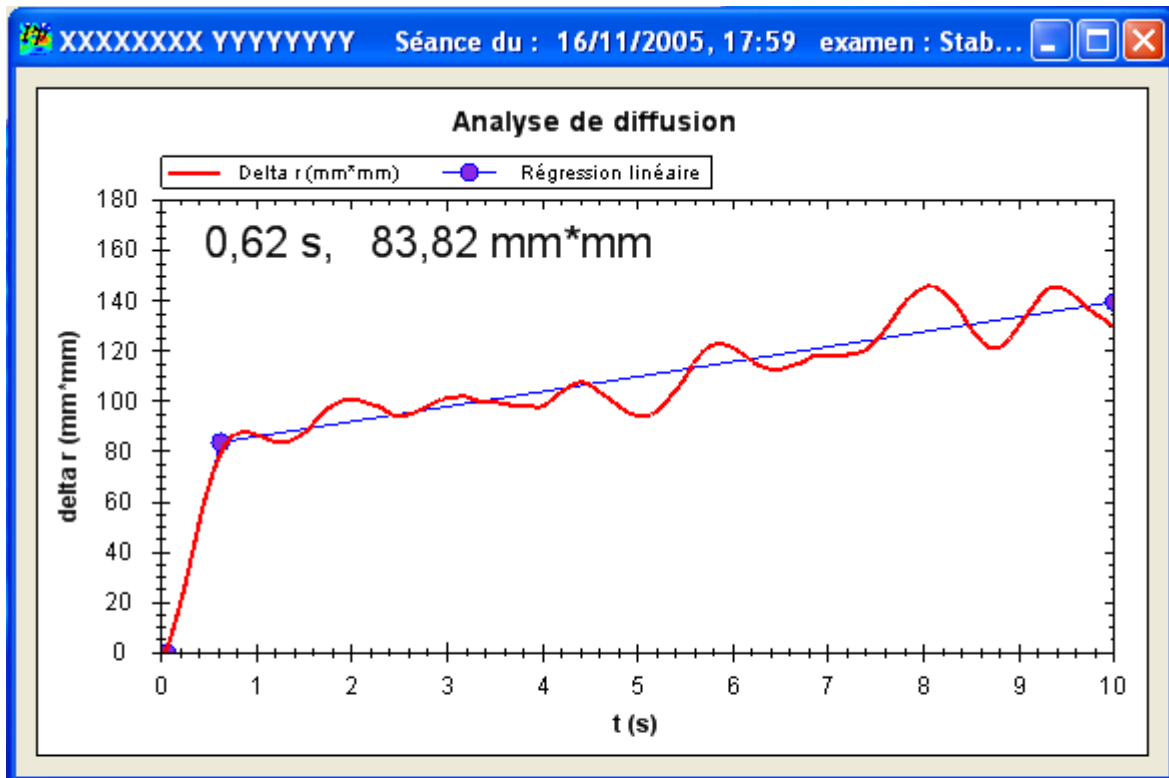


Figure 11: Analyse de diffusion

La courbe rouge correspond au déplacement quadratique moyen et les lignes bleues correspondent aux régressions linéaires appliquées aux deux zones de la courbe, le point critique (marqué par un point violet) se trouvant à l'intersection des droites précitées. Les coordonnées du point critique sont affichées en gros caractères en haut de la fenêtre graphique. Dans ce cas remarquer la valeur de 83,82 mm\*mm indiquant une atteinte pathologique (confirmée par le diagnostic)

Tout comme pour les fenêtres décrites précédemment, le menu d'affichage est utilisable, permettant ainsi de zoomer ou bien d'afficher les valeurs.

## Création du rapport d'examen

Le logiciel PosturoPro® a été conçu pour faciliter autant que possible le travail du praticien, tout en économisant du temps. En effet, la création d'un rapport d'examen est automatisée au maximum, tout en laissant la possibilité d'y inclure des commentaires et/ou recommandations. Ce rapport est un document au format PDF qui peut être imprimé ou bien envoyé par e-mail, **en restant protégé contre toute modification**. Pour obtenir le rapport, il suffit de cliquer sur le bouton "Création rapport" (Fig. 1). Après quelques secondes (nécessaires à son élaboration et à sa protection), une première fenêtre s'affiche (Fig. 12):

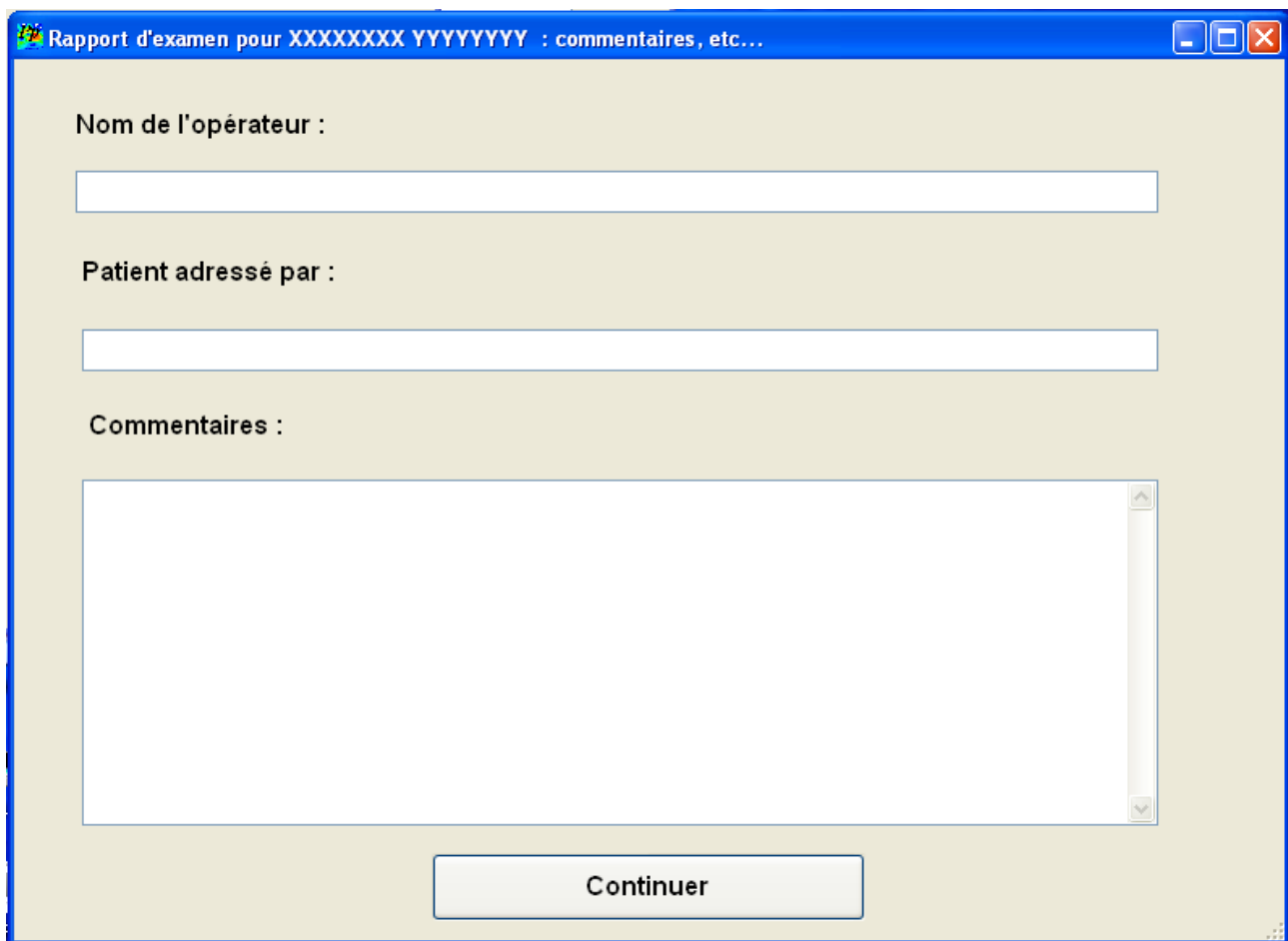
The image shows a software window titled "Rapport d'examen pour XXXXXXXX YYYYYYYY : commentaires, etc...". The window has a light beige background and a blue border. It contains three input fields: a text box for "Nom de l'opérateur :", a text box for "Patient adressé par :", and a large text area for "Commentaires :". At the bottom center, there is a button labeled "Continuer". The window also features standard Windows window controls (minimize, maximize, close) in the top right corner.

Figure 12 : Fenêtre de saisie des commentaires et des informations complémentaires à rajouter au rapport d'examen

Dans les espaces prévus à cet effet, il suffit de rentrer les informations qu'on souhaite rajouter au rapport d'examen (Fig. 13) :

The image shows a Windows-style application window with a blue title bar. The title bar text is "Rapport d'examen pour XXXXXXXX YYYYYYYY : commentaires, etc...". The window has three standard window control buttons (minimize, maximize, close) in the top right corner. The main area of the window is light beige and contains three labeled input fields. The first label is "Nom de l'opérateur :" followed by a text box containing "Alain Zeitoun". The second label is "Patient adressé par :" followed by a text box containing "Dr. Lisbonis". The third label is "Commentaires :" followed by a large text area containing the text "Ce patient présente une forte instabilité. On peut observer .....etc, etc". At the bottom center of the window is a button labeled "Continuer".

Rapport d'examen pour XXXXXXXX YYYYYYYY : commentaires, etc...

Nom de l'opérateur :

Alain Zeitoun

Patient adressé par :

Dr. Lisbonis

Commentaires :

Ce patient présente une forte instabilité. On peut observer .....etc, etc

Continuer

Figure 13 : Saisie des informations complémentaires

Ensuite, en cliquant sur le bouton "Continuer" (en bas de la fenêtre), le rapport complété sera affiché à l'écran par le logiciel gratuit Adobe Acrobat Reader qui peut être facilement téléchargé sur le web (Fig 14) :

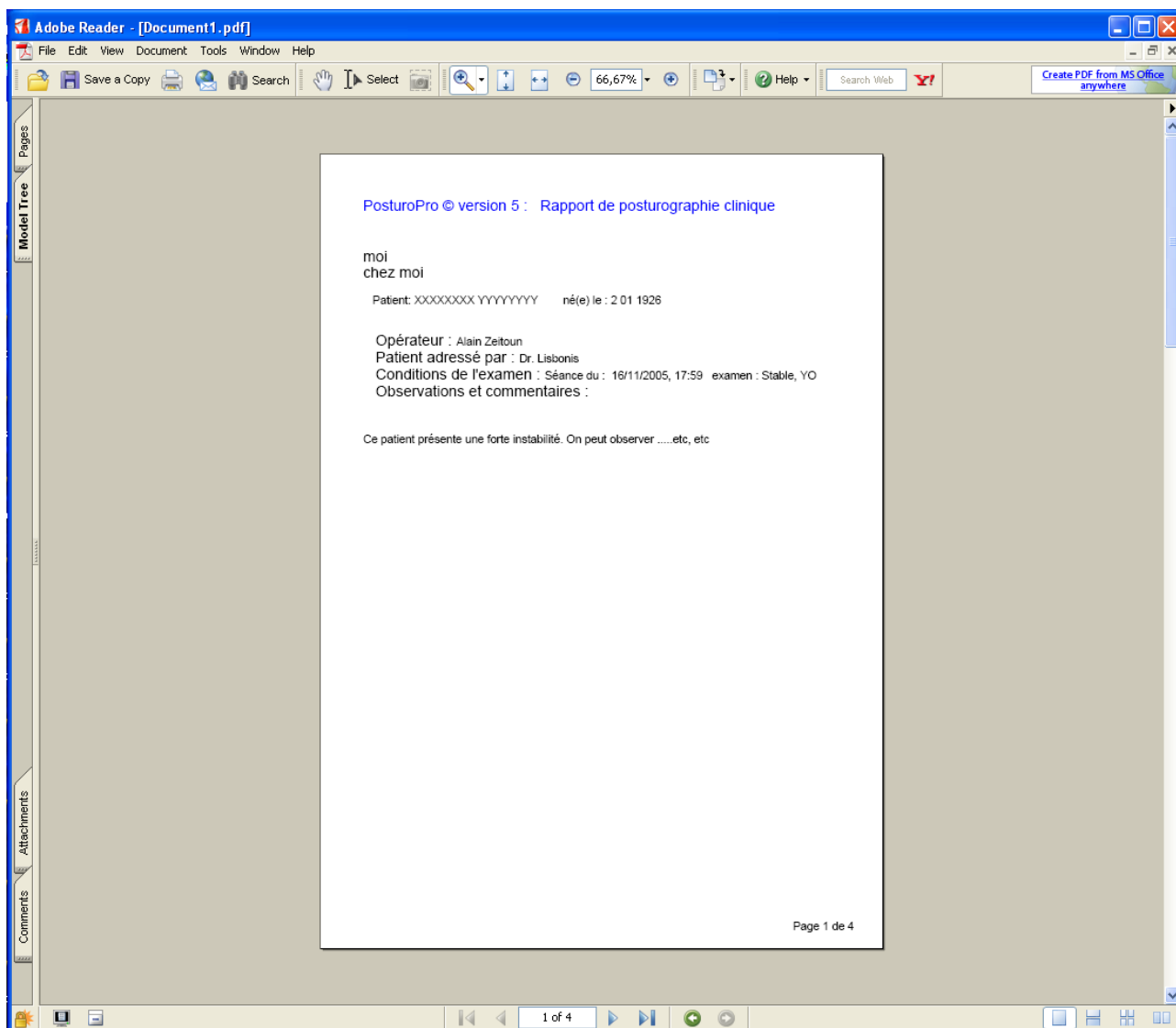


Figure 14 : Affichage du rapport d'examen

Bien entendu, toutes les pages du rapport peuvent être visualisées. Il est important de noter que si on souhaite garder une copie du document, il est nécessaire de le sauvegarder à l'aide du menu Acrobat qui permet d'enregistrer une copie. Dans le cas contraire, le document va être régénéré chaque fois que PosturoPro sera utilisé.