

MINISTERE DE LA SANTE

REGION LORRAINE

INSTITUT LORRAIN DE FORMATION EN MASSO-KINESITHERAPIE DE NANCY

**ETUDE DE L'INFLUENCE DES
SEMELLES INVERSEES SUR LE
CONTROLE POSTURAL.**

Mémoire présenté par Suzy DILLER

Etudiante en 3^{ème} année de masso-
kinésithérapie en vue de l'obtention du
Diplôme d'Etat de Masseur-kinésithérapeute.

2010-2011

Référent du mémoire

Mr DESJARDIN

Directeur du mémoire

Mr BOISSEAU

Donnent autorisation à :

Nom : DILLER

Prénom : Suzy

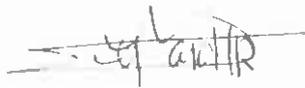
De présenter son mémoire à la soutenance orale dans le cadre du Diplôme d'Etat de Masseur-kinésithérapeute.

Référent du mémoire

Directeur du mémoire

Date et signature

21 / 04 / 2011



date et signature

21 / 04 / 2011



Cachet de l'établissement

Section Hospitalière de
Médecine Physique et Readaptation
CHU - Nancy



RESUME

Cette étude s'intéresse au retentissement sur le contrôle postural, du port de chaussures à semelle inversée (les semelles sont plus basses au niveau du talon qu'au niveau des orteils.)

Chaque personne participant à l'expérimentation est testée sur une plateforme de stabilométrie afin d'évaluer ses performances posturales dans 2 situations : avec ou sans cales. Les cales permettent de recréer la particularité des chaussures. Les 2 situations sont évaluées yeux ouverts puis yeux fermés. Notre population se compose de 82 sujets. Notre étude permet de mettre en lumière une augmentation significative de tous les paramètres (X moyen, Y moyen, surface et longueur) lorsque le sujet est sur les cales, yeux ouverts ou fermés. Ceci témoigne d'oscillations plus importantes. Nous retrouvons une antériorisation du centre de pression lors des tests avec les cales que le sujet ait les yeux ouverts ou fermés.

Les recherches bibliographiques permettent de mettre en avant les capacités d'adaptation du sujet. Les informations sont traitées par le système nerveux central qui va organiser des réponses compensatrices stéréotypées. L'entraînement peut "éduquer" ce système pour augmenter l'efficacité des réponses.

En conséquence une nouvelle expérimentation en prenant une population habituée au port de chaussures à semelles inversées permettrait d'objectiver l'adaptation posturale.

Mots clés : posture, semelle inversée, habitude

SOMMAIRE

RESUME

1. INTRODUCTION	1
2. METHODES DE RECHERCHES.....	2
3. RAPPELS GENERAUX.....	3
3.1. La posture [1].....	3
3.1.1. Notion de posture.....	3
3.1.2. Le réflexe myotatique [8]	5
3.1.3. Le pied organe de l'équilibration [3] [4] [6]	6
3.2. Plateforme de force	7
4. MATERIEL ET METHODE [9]	9
4.1. Population étudiée.....	9
4.2. Matériel	10
4.3. Méthodologie	10
4.4. Paramètres mesurés.....	11
5. RESULTATS	13
5.1. Test de Friedmann.....	13
5.2. Comparaison les yeux ouverts	14
5.3. Comparaison les yeux fermés	14
5.4. Conclusions générales.....	16
6. DISCUSSION	17
6.1. Limites de l'étude liées aux sujets.....	17
6.1.1. Limites liées à l'activité sportive	17

6.1.2. Limites liées à l'âge moyen des sujets	18
6.1.3. Limites liées au protocole.....	18
6.2. Facteurs d'habituatation	19
7. CONCLUSION	22
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXES	

1. INTRODUCTION

Dans notre société, l'idéal de la femme mince fait vendre. Le marché de l'amincissement regorge de produits miracle sous toutes les formes. Dans ces produits, nous avons la catégorie des "chaussures minceurs". Elles peuvent présenter des semelles à bascule ou à coussinet d'air pour créer des micro-instabilités ou encore des semelles inversées. L'industrie moderne rivalise d'imagination pour faire retrouver aux femmes leur taille de jeune fille. Cependant ces chaussures peuvent modifier la statique du sujet et entraîner des conséquences sur l'équilibre.

Les chaussures que nous étudions font parties de ces "chaussures minceur". Elles présentent une semelle inclinée de 9° vers l'arrière. Le talon du sujet se place plus bas que ses orteils. La première impression quand nous regardons ces semelles est de nous interroger "comment allons-nous tenir avec une telle pente?". C'est cette réflexion qui nous emmène à vérifier si la chaussure modifie ou non l'équilibre postural du sujet.

2. METHODES DE RECHERCHES

Notre recherche bibliographique doit nous permettre de répondre à ces questions :

- Quels sont les acteurs et les mécanismes qui régissent le contrôle postural ?
- Quels sont les mécanismes d'habituatation qui entrent en jeu lors de la modification de la posture?

Celles concernant ce mémoire ont été effectuées sur les moteurs de recherche suivants :

- Pubmed
- Réédoc
- Google scholar
- INSEE
- Le site de la bibliothèque universitaire de médecine de Nancy

Nous avons étendu notre étude aux 15 dernières années.

Les mots utilisés pour trouver les articles sont : posture/posturologie, pied/sole, contrôle de l'équilibre, habituatisation, plantar afferents.

Lorsque nous tapons "control posture" sur le moteur de recherche pubmed, nous trouvons 13493 articles.

La plupart des références bibliographiques utilisées dans la discussion sont issues d'une recherche manuelle à la lecture d'articles.

3. RAPPELS GENERAUX

3.1. La posture [1]

3.1.1. Notion de posture

L'équilibre d'un sujet debout est instable et se traduit par des oscillations incessantes autour d'un point moyen, le centre de pression. La verticale de gravité chez un sujet jeune et sain tombe en avant de l'axe de ses tibio-tarsiennes. On dit qu'il est "suspendu" à ses triceps.

Pour assurer la régulation de son équilibre, le sujet fait appel à 3 composantes :

- Les extérocepteurs, qui permettent de placer le corps dans son environnement (le tact et l'audition). La vision [2] joue un rôle fondamental dans le maintien de l'équilibre. Elle donne la perception du mouvement et de l'espace autour du sujet. Des troubles visuels peuvent entraîner des bouleversements dans le système postural et provoquer des déséquilibres. Les récepteurs proprioceptifs situés dans les muscles oculomoteurs jouent un rôle important dans la mobilité conjuguée yeux-tête-cou et participent à la régulation du tonus musculaire du cou, des membres et du tronc. De même l'appareil manducateur a une influence sur la posture. [3]
- Les propriocepteurs, qui situent les différentes parties du corps dans une position donnée : [4] [5] [6]

- les *mécanorécepteurs musculaires* : les fuseaux neuromusculaires donnent des informations au système nerveux central sur la longueur et la vitesse d'étirement du muscle.

- les *mécanorécepteurs tendineux* : ce sont les organes tendineux de Golgi. Ils sont sensibles à la traction et informent le système nerveux central sur la tension et la force musculaire.

- les *mécanorécepteurs articulaires* : ils sont situés dans les ligaments, les tendons, les gaines tendineuses et les capsules. Ils recueillent des informations sur la position des membres et les mouvements des articulations. Ils sont au nombre de 4 : les corpuscules de Ruffini, les corpuscules de Pacini, les organes tendineux de Golgi et les terminaisons nerveuses libres.

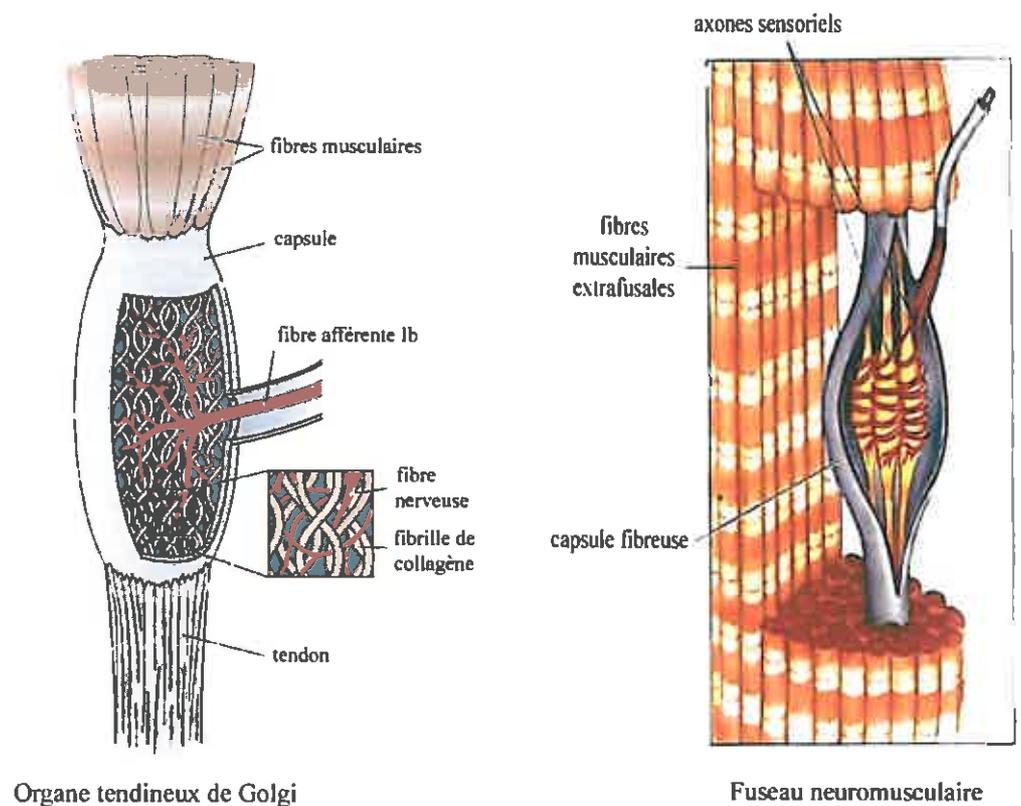


Figure 1 : schéma d'un organe tendineux de Golgi et du fuseau neuromusculaire.

- Les centres supérieurs [7] qui intègrent et traitent les différentes informations. Les structures du système nerveux central mis en jeu dans le contrôle postural sont :
 - *les ganglions de la base, les noyaux vestibulaires et le tronc cérébral*, qui régulent les ajustements posturaux. Ils agissent en anticipation et en boucle de rétroaction.
 - *les structures hémisphériques au niveau de l'aire motrice et du lobe pariétal droit*. Elles influent dans la représentation corporelle qui fixe le référentiel égo-centré.
 - *le cervelet*, qui a un rôle dans la régulation du mouvement.

3.1.2. Le réflexe myotatique [8]

Le corps oscille en permanence. Pour permettre un maintien de la posture, le sujet fait intervenir de manière automatique le réflexe myotatique. Il est lié à l'étirement des propriocepteurs et permet d'adapter le tonus musculaire en fonction des stimuli extérieurs. Une oscillation entraîne la contraction du muscle étiré et provoque un redressement. Si nous poussons une personne vers l'avant, cela va provoquer un étirement des fuseaux neuromusculaires des mollets et activer une contraction réflexe pour éviter la chute.

3.1.3. Le pied organe de l'équilibration [3] [4] [6]

Le pied a deux fonctions principales : le rôle de support et celui d'interface entre le sol et le corps humain. Outre les propriocepteurs, la peau de la sole plantaire contient de nombreux mécanorécepteurs cutanés. Ces capteurs sensoriels sont susceptibles d'informer avec précision le système nerveux central sur la situation du point d'application de la force de pression au niveau de la surface d'appui.

Ils se distinguent en 2 groupes :

- *Les récepteurs d'adaptation rapide*, sensibles à la pression et aux mouvements de la peau. Ils donnent des informations sur les propriétés dynamiques. Ce sont les corpuscules de Meissner et les corpuscules de Pacini.
- *Les récepteurs d'adaptation lente*, sensibles à l'étirement et la pression exercée sur la peau lors du maintien d'une position. Ils renseignent sur les propriétés statiques. Ce sont les corpuscules de Ruffini et les disques de Merkel.

Ces capteurs sont essentiellement localisés sur la face plantaire des orteils, le sommet de la ferme interne et la partie antérieure du bord externe du pied. La tension tricipitale permet de faciliter le rôle de ses mécanorécepteurs cutanés en transposant les pressions sur l'avant pied.

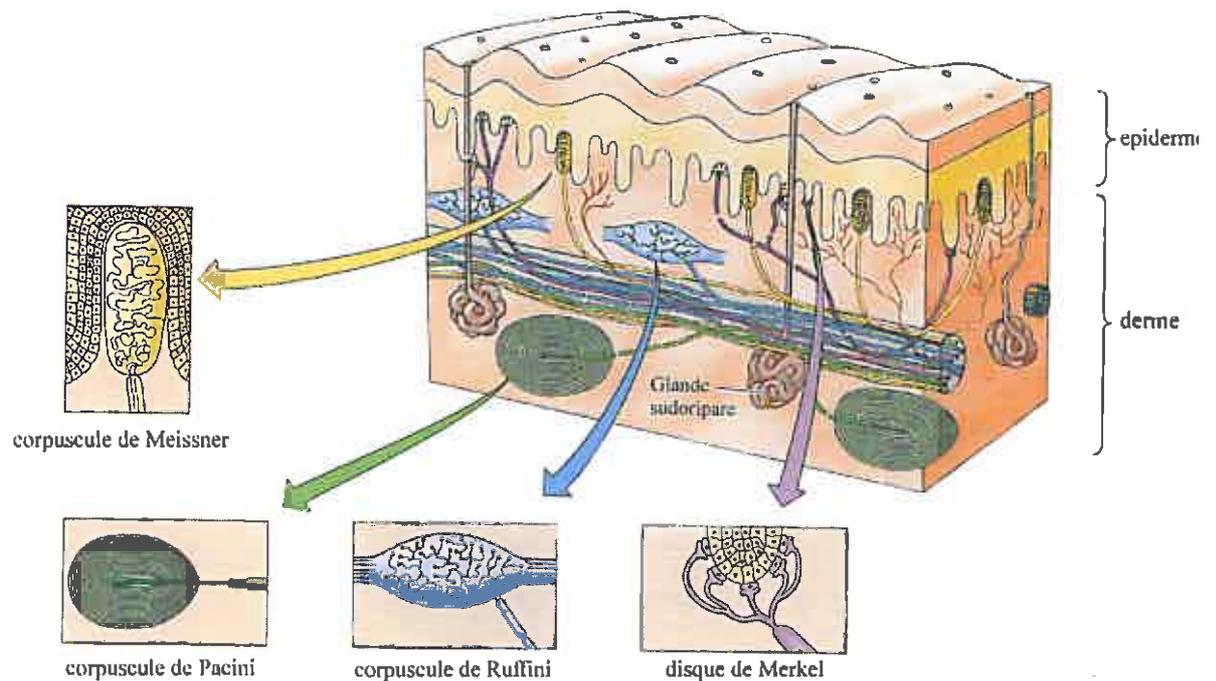


Figure 2 : schéma représentant les différents mécanorécepteurs tactiles de la peau glabre.

3.2. Plateforme de force

L'étude est réalisée avec la plateforme de force SATEL® à 3 capteurs qui répond aux Normes 85. Elle permet d'effectuer une étude de la stabilométrie statique et dynamique. La position des pieds est normalisée par une cale permettant de tenir les talons éloignés de 2cm et les pieds s'écartant de 30°. Elle détecte les positions successives du centre de pression à une fréquence d'acquisition de 40Hz. Elle est reliée à un ordinateur qui, grâce au logiciel permet d'analyser les paramètres d'équilibration.



Figure 3 : plateforme SATEL® avec les cales permettant de placer les pieds de façon normalisé

4. MATERIEL ET METHODE [9]

4.1. Population étudiée

Les sujets étudiés, hommes et femmes sont les étudiants en kinésithérapie de l'Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie de Nancy présents en novembre et décembre 2010. C'est une population jeune. Un âge limite est déterminé à 30 ans pour rendre la population la homogène possible. La moyenne d'âge est de 21 ans et 11 mois.

Les candidats sont soumis à un questionnaire (annexe I) afin d'exclure de l'étude les personnes présentant des facteurs influençant les performances posturologiques :

- pathologies de l'équilibre avec problèmes de l'oreille interne.
- porteurs de semelles orthopédiques.
- entorses de cheville récentes ou à répétition.
- maladie neurologique affectant l'équilibre.
- traitement orthodontique ou orthoptique.
- porteur de lunettes sans bilan ophtalmologique depuis 3 ans.
- prise d'alcool, de stupéfiants ou de médicaments type benzodiazépine ou psychotrope.
- consommation de caféine ou de tabac dans l'heure précédente.

Ce questionnaire permet de rendre les populations comparées les plus statistiquement homogènes.

Douze personnes sont exclues car elles présentent un ou plusieurs critères d'exclusion.

La population restante est constituée de 82 sujets.

4.2. Matériel

Une plate forme de force SATEL®

Un ordinateur

Un fil à plomb

Deux cales en bois présentant une déclive de 9° par rapport à l'horizontale afin de recréer la particularité des chaussures étudiées.

4.3. Méthodologie

Pour garantir des conditions d'examens identiques, la plateforme est installée dans la même salle, volets fermés et lumières allumées, à 90 cm du mur. Nous veillons au respect du silence.

Nous donnons à l'ensemble des sujets la même consigne "vous restez debout, immobile, décontracté, ce n'est pas le garde à vous, les bras sont le long du corps. Vous regardez dans la direction de la cible visuelle, sans la fixer, et comptez lentement et à voix haute jusqu'à ce qu'on vous dise que c'est fini."

La mesure dure 51 secondes et 2 dixièmes.

Les mesures s'effectuent dans l'ordre suivant, sujet pieds nus :

- T1 : sans cale, les yeux ouverts puis les yeux fermés.
- T2 : avec cale, les yeux ouverts puis les yeux fermés.

Entre chaque mesure les yeux fermés et les yeux ouverts ainsi que entre T1 et T2, le sujet descend de la plateforme pour permettre son l'étalonnage. Cela permet au sujet d'avoir un temps de repos.



Figure 4 : installation du sujet pour la mesure avec les cales

4.4. Paramètres mesurés

Dans le cadre de notre étude, nous retenons les paramètres qui apportent des informations sur les mouvements du centre de pression pendant l'enregistrement.

- X moyen : moyenne des valeurs observées sur l'abscisse du centre de pression. Elle indique la déviation latérale. La valeur est négative lors d'une déviation gauche et positive lors d'une déviation droite.
- Y moyen : moyenne des valeurs observées sur l'ordonnée du centre de pression. Elle représente la déviation antéro-postérieure.
- Surface : ellipse de confiance qui contient 90% des positions du centre de pression. Elle indique la précision du contrôle des oscillations du système postural.
- Longueur : trajet du centre de pression au cours de la mesure.

5. RESULTATS

L'analyse statistique permet de comparer la stratégie positionnelle du pied et de la cheville lors de la mise en place ou non d'une cale à 9° d'inclinaison.

5.1. Test de Friedman

Les variables ne suivent pas une loi normale. Nous utilisons le test de Friedman qui permet de comparer les moyennes. Il s'agit d'un test de rang. C'est-à-dire que les mesures ne sont pas faites sur les valeurs numériques des mesures mais sur leurs rangs attribués suite au classement des valeurs par ordre croissant.

Nous avons un seuil de risque placé à 5%. L'écart est jugé significatif si le pourcentage est $\leq 3,70\%$.

Les valeurs en rouge mettent en évidence une différence statistiquement significative.

5.2. Comparaison les yeux ouverts

Tableau I : résultats des tests réalisés YO

VARIABLE		MOYENNE	ECART TYPE	MIN	MAX	TEST FRIEDMAN
X moyen (mm)	T1	-1,43	5,49	-21,13	9,89	3,70%
	T2	-0,09	5,77	-19,98	14,87	
Y moyen (mm)	T1	-43,33	13,12	-70,24	-9,51	0,003%
	T2	-36,30	16,09	-67,82	14,87	
SURFACE (mm ²)	T1	187,75	83,49	69,02	518,39	0,46%
	T2	219,66	97,80	74,72	498,62	
LONGUEUR (mm)	T1	493,29	114,83	-58,38	814,62	0,003%
	T2	544,42	131,16	-45,68	1 024,40	

T1 : mesure sans les cales

T2 : mesure avec les cales.

Le test de Friedman montre qu'il existe une différence significative pour toutes les variables. Pour chacune d'elles, les valeurs sont statistiquement plus élevées avec la cale de 9°.

- Y moyen : nous remarquons une antériorisation de 7,03 mm du centre de pression podal lors de T2.
- Surface et longueur : il y a une augmentation de ses 2 variables qui atteste d'une plus grande instabilité en T2.

5.3. Comparaison les yeux fermés

Tableau II : résultats des tests réalisés YF

VARIABLE		MOYENNE	ECART TYPE	MIN	MAX	TEST FRIEDMAN
X moyen (mm)	T1	0,35	10,58	-16,47	81,30	2,12%
	T2	0,61	6,19	-22,67	15,18	
Y moyen (mm)	T1	-41,93	13,01	-70,92	-10,84	2,91%
	T2	-37,73	15,39	-75,05	17,79	
SURFACE (mm ²)	T1	195,50	82,87	64,79	480,33	0%
	T2	265,95	140,20	67,28	902,86	
LONGUEUR (mm)	T1	631,51	156,87	314,06	970,75	0,456%
	T2	698,63	192,10	373,84	1 359,75	

T1 : sans les cales

T2 : avec les cales

Les résultats montrent qu'il existe également une différence significative pour toutes les variables. Ces valeurs augmentent avec la présence de la cale lors des tests.

- Y moyen : nous observons une antériorisation du centre de pression de 4,2 mm lors de T2.
- Surface et longueur : leurs augmentations montrent que les cales entraînent un déséquilibre plus important.

5.4. Conclusions générales

Notre étude montre que la présence des cales modifie tous les paramètres enregistrés en les augmentant de manière significative, que le sujet ait les yeux ouverts ou fermés. Les oscillations sont plus importantes (augmentation de la surface) ce qui indique que le sujet est moins stable avec les cales. Nous retrouvons une antériorisation du centre de pression lors des tests avec les cales que le sujet ait les yeux ouverts ou fermés.

6. DISCUSSION

6.1. **Limites de l'étude liées aux sujets**

Il est difficile d'étudier un échantillon qui soit totalement homogène. Les facteurs interindividuels sont fréquents (morphologie, sportivité, sédentarité...) et il est quasi impossible de les maîtriser de façon formelle.

6.1.1. Limites liées à l'activité sportive

Suite à nos questionnaires nous découvrons qu'une partie des sujets de l'expérimentation ne fait pas de sport. L'autre partie pratique au moins un sport mais ces sujets n'exercent pas tous la même discipline. Dans quelles mesures la sportivité modifie-t-elle la stabilité des sujets?

L'étude Biec [10] montre que la pratique du football chez le jeune permet d'augmenter sa stabilité par rapport à une personne non sportive. La plupart des sujets testés dans notre étude pratiquent au moins un sport de façon régulière. De même nous constatons qu'il y a une différence de performance du contrôle de l'équilibre statique en fonction des sports pratiqués [11]. Une gymnaste aura un meilleur contrôle statique de sa posture qu'une basketteuse.

6.1.2. Limites liées à l'âge moyen des sujets

Nous avons choisi une population jeune avec une moyenne d'âge qui est de 21 ans et 11 mois dans une fourchette de 19 ans à 30 ans. Notre population n'est pas représentative de la population générale, qui est majoritairement représentée par la tranche des 30 ans à 44 ans (source INSEE 2007, Annexe III). Or l'équilibre est mieux contrôlé chez les jeunes que chez les personnes âgées. Lord et *all* [12] ont réalisé une étude sur 95 personnes âgées pour établir une relation entre les fonctions sensorimotrices et la stabilité posturale. Ils démontrent que cette population a des faibles performances lors des tests d'équilibre statique. Parmi les causes qu'ils avancent, nous avons la réduction de la sensibilité plantaire tactile et vibratoire ainsi que la diminution de l'élasticité du quadriceps et de la dorsiflexion de cheville.

6.1.3. Limites liées au protocole

Les mesures sont prises à des moments différents de la journée pendant plusieurs semaines. Il est alors impossible de s'assurer que l'état émotionnel ou l'état de fatigue sont identiques chez tous les sujets. Or ces facteurs influent sur le contrôle postural et l'attention.

Les chaussures sont remplacées par des cales en bois par soucis d'économie. Nous ne pouvons certifier la reproductibilité des mesures faites avec les cales par rapport aux chaussures.

La population n'est pas tirée au sort et l'ordre de passage est lié au hasard ce qui peut entraîner un biais supplémentaire.

6.2. Facteurs d'habituat

Nous avons démontré que les chaussures à 9° d'inclinaison entraînent des déséquilibres lors du maintien de l'équilibre statique bipodal. Cela se vérifie sur une seule série de mesure alors que le sujet découvre la chaussure et ses sensations spécifiques. Une autre série de mesures aurait permis de savoir si le sujet s'habitue à cette nouvelle contrainte positionnelle.

L'étude de Tauzia et *all* [13] mesurant l'effet de la hauteur des talons sur le contrôle postural montre qu'il existe des adaptations. Celle menée sur des danseuses de cabaret professionnelles démontre qu'elles peuvent diminuer les sollicitations des muscles de la loge postérieure pour s'adapter à l'augmentation de 3 centimètres de la hauteur de leurs chaussures à talon. De même en observant une femme qui est "campée sur ses escarpins", nous distinguons si elle est néophyte ou expérimentée. Une débutante a tendance à chanceler et à essayer de ne pas chuter. A l'inverse, une personne qui a l'habitude, a une démarche plus fluide et assurée.

Une autre étude de Palluel et *all* [14] montre que certaines stimulations des afférences de la voûte plantaire grâce à des semelles à picots, entraîne une amélioration du contrôle postural chez les jeunes adultes et les personnes âgées après 5 minutes de port. Cette amélioration n'est que temporaire. Cependant elle ne montre aucun effet immédiat lorsque les sujets mettent les semelles et effectuent le test sans délai. Il faut que le sujet les porte pendant un certain temps pour qu'il puisse en tirer parti. Ce qui nous conforte dans l'idée que le sujet doit s'habituer à ces nouvelles stimulations avant de ressentir des bénéfices.

Les perturbations transmises par les afférences plantaires et musculaires sont traitées par le système nerveux central. Ce dernier va organiser les réponses compensatrices. Il faut donc l'éduquer. Il est connu que les sujets s'améliorent avec l'entraînement. Il suffit de prendre exemple sur les sportifs. Ils répètent leurs gestes techniques pour en augmenter la maîtrise. Ainsi une gymnaste pourra effectuer des pivots sur la poutre sans tomber car elle aura appris à contrôler sa gestuelle.

Suite à la mise en œuvre de la méthode PEM (posture, équilibration et motricité) HUE [15] a montré que les performances statiques des personnes âgées étaient meilleures après 12 semaines de pratique. Il note une diminution des oscillations dans le plan antéro-postérieur lorsque le sujet a les yeux ouverts ou fermés. Cette conclusion nous fait penser que le même phénomène pourrait être observé sur notre étude si elle était reconduite après une période de port de la chaussure. Cela permettrait au sujet de conditionner ses réponses posturales pour diminuer ses oscillations.

Lors de nos tests le sujet est placé en légère flexion dorsale de 9°. Il en résulte que les appuis plantaires sont modifiés et les stimulations de la sole sont changées. Roll et Kavounoudias [16][17] démontrent que les messages envoyés par les afférences tactiles de la sole plantaire contribuent au maintien de la posture. Il est probable que la vibration simule un message qui est interprété comme une augmentation de pression au niveau de la zone cutanée stimulée. La stimulation d'une zone induit une illusion kinétique orientée dans le plan horizontal et dans le même sens que le site vibré. Ainsi les sujets vont avoir une illusion de mouvement vers l'avant si la partie antérieure de leur plante est stimulée.

Les auteurs vont plus loin en montrant que pour compenser, le sujet s'incline du côté opposé à la zone vibrée. Cette réponse posturale a pour objet de compenser le déséquilibre et permettre au sujet de marcher sur un plan instable sans être en perpétuel déséquilibre. Dans notre étude le sujet compense l'augmentation de pression postérieure par une inclinaison vers l'avant. Ce qui explique l'antériorisation du Y moyen.

D'après Riley et *all* [18], l'oscillation est un moyen d'exploration de l'espace postural qui permet au système nerveux central d'établir les limites de stabilité du corps. Il fait apparaître deux systèmes, un au court terme et un au long terme. Le premier permet d'obtenir des informations sur le corps et son orientation pour établir des limites acceptables de stabilité. Le second, à long terme, utilise ces données pour maintenir l'équilibre postural. Cela permet de simplifier la tâche d'intégration des corrections sensorielles provenant de sources multiples.

7. CONCLUSION

Notre étude a évalué l'influence des chaussures à semelles inversées sur le contrôle postural des sujets. Elle révèle que leur port entraîne des modifications au niveau des performances posturales. Les oscillations sont plus importantes en surface et en longueur, ce qui témoigne d'une plus grande instabilité.

Il est clair que ces chaussures entraînent des perturbations qui peuvent être délétères pour le sujet. La littérature nous a permis de mettre en avant les multiples possibilités d'adaptation du sujet qui a la capacité de corriger son déséquilibre par un mouvement compensatoire.

Mais nous ne pouvons garantir son adaptation complète. En effet, notre étude ne recense que les résultats à court terme. Les personnes peuvent réagir différemment à un changement de posture. Seule une nouvelle étude comparant les résultats trouvés immédiatement et après un temps d'adaptation, pourrait affirmer que les chaussures ne sont pas délétères.

BIBLIOGRAPHIE

- [1]. **XHARDEZ Y.** – Vade-mecum de kinésithérapie et de rééducation fonctionnelle – 6^{ème} éd. – Paris : Maloine, 2009. – p 53, 1392 p.
- [2]. **JANIN M.** – Sensibilité et motricité podales : leur influence sur le contrôle des actions posturo-cinétique de sujets sains et pathologiques. – Thèse STAPS : Toulouse : 2009. – p 13 - 14, 171p.
- [3]. **WILLEM G.** – Manuel de posturologie : approche clinique et traitements des pathologies rachidiennes et céphaliques. – 2^{ème} éd. – Paris : Frison Roche, 2004. – p 18 – 21, 243 p.
- [4]. **BESSOU M., DUPUI P., SEVERAC A., BESSOU P.** – Le pied, organe de l'équilibration. – VILLENEUVE P. – Pied, équilibre et posture. – Paris : Frison Roche, 1996. – p 21 – 32, 227 p.
- [5]. **YLINEN J.** – Etirement musculaire en thérapie manuelle : théorie et pratique. – Issy les Moulineaux : Masson, 2009. – p 44 - 45, 286 p.
- [6]. **PURVES, AUGUSTINE, FITZPATRICK, KATZ LAMANTIA, Mc NAMARA, WILLIAMS.** – Neurosciences. – 2^{ème} éd. – Paris : De Boeck, 2003. – p189 – 199, 727 p.

[7]. **THOUMIE P.** – Vieillessement du contrôle postural. - **WEBER B.** – Posturologie clinique : dysfonctions motrices et cognitives. – Issy Les Moulinaux : Masson, 2007. – p 103, 173 p.

[8]. **MESURE S., LAMENDIN H.** – Posture, pratique sportive et rééducation. – Paris : Masson, 2001. – p 1 – 24, 145 p.

[9]. **GAGEY P-M, WEBER B.** – Posturologie: régulation et dérèglement de la station debout. – Paris : Masson, 2004. – 201 p.

[10]. **BIEC E., KUCZYNSKI M.** - Postural control in 13-year-old soccer players. - Eur J Appl Physiol, 2010, 110, 4, p.703 – 708.

[11]. **BRESSEL E., YONKER J-C., KRAS J., HEATH E-M.** - Comparison of Static and Dynamic Balance in Female Collegiate Soccer, Basketball, and Gymnastics Athletes. - Journal of Athletic Training, 2007, 42, 1, p.42 – 46.

[12]. **LORD S., CLARK R., WEBSTER I.** – Postural stability and associated physiological factors in a population of aged persons. – journal of gerontology, 1991, 46, 3, p69 – 76.

[13]. **TAUZIA A., FERRUS T., VILLENEUVE P., WEBER B., GAGEY P-M.** – Etude stabilométrique de l'effet de la hauteur des talons sur le contrôle postural chez la danseuse professionnelle. – **WEBER B., VILLENEUVE P.**, posturologie clinique : tonus, posture et attitude. – Issy les moulinaux : Masson 2010.- p.166 – 172.

[14]. PALLUEL E., NOUGIER V., OLIVIER I. – Do spike insoles enhance postural stability and plantar-surface cutaneous sensitivity in the elderly. – *Age*, 2008, 30, 1, p.53 – 61.

[15]. HUE O., LEDROLE D., SEYNNES O., BERNARD P-L. – Influence d'une pratique motrice de type "posture-équilibre-motricité" sur les capacités posturales du sujet âgé. – *annale de réadaptation et de médecine physique*, 2001, 44, 2, p. 81- 88.

[16]. ROLL R., KAVOUNOUDIAS A., ROLL J-P. – Cutaneous afferents from human plantar sole contribute to body posture awareness. *Neuroreport*. 2002, 13, 15, p.1957 – 1961

[17]. KAVOUNOUDIAS A., ROLL R., ROLL JP. - The plantar sole is a dynamometric map for human balance control. – *Neuroreport*, 1998, 9, 14, p. 3247 – 3252.

[18]. RILEY M-A., WONG S., MITRA S., TURNEY M-T. - Common effects of touch and vision on postural parameters. – *Experimental brain research*, 1997, 117, p. 165 – 170 .

Source des figures.

Figure 1 :

Le schéma de l'organe tendineux de Golgi est tiré du livre [7] page 359.

Le schéma du fuseau neuromusculaire est tiré d'un site internet :

http://ethologie.unige.ch/etho2.03/images/fuseau_neuromusculaire.jpg

Figure 2 :

Le schéma est tiré du livre [7] page 192.

ANNEXES

ANNEXE I : questionnaire remis aux étudiants

Rayer les mentions inutiles

Nom : Prénom :

Age : Sexe :

Taille : Pointure :

Pathologie de l'oreille interne : OUI NON

Port de semelles orthopédiques : OUI NON

Entorse de cheville récente/ à répétition : OUI NON

Pathologie neurologique affectant l'équilibre : OUI NON

Port d'un appareil dentaire : OUI NON

Port de lunettes/lentilles : OUI NON

Si oui, le dernier bilan ophtalmologique est-il inférieur à 3ans : OUI NON

Traitement orthoptique en cours : OUI NON

Consommation avant les mesures,

• Tabac OUI NON

• Psychotropes, benzodiazépines OUI NON

• Alcool OUI NON

• Myorelaxant OUI NON

• Café OUI NON

ANNEXE II : tableau récapitulatif des résultats

		âge	yeux ouverts				yeux fermés			
			X	Y	longueur	surface	X	Y	longueur	surface
1	T1	20	-10,55	-19,22	535,71	261,77	-8,46	-25,95	664,78	170,18
	T2		-5,03	-15,74	606,88	170,41	-3,38	-15,49	729,33	211,1
2	T1	20	-2,49	-18,87	465,81	160,46	-6,59	-15,97	571,26	179,23
	T2		-5,2	-25,83	609,1	341,86	-2,46	-23,4	695,11	184,67
3	T1	26	3,85	-24,69	442,93	163,08	4,1	-31,51	436,6	120,74
	T2		-0,07	-42,3	410,15	148,64	1,84	-47,61	455,55	131,26
4	T1	19	-3,06	-38,63	441,08	105,39	-6,22	-40,23	386,71	106,76
	T2		3,61	-42,87	438,7	168,75	-2,05	-38,93	503,09	149,82
5	T1	19	-2,9	-32,19	477,69	218,88	-5,71	-37,63	514,15	215,59
	T2		-0,92	-29,85	559,04	241,57	3,43	-30,3	796,26	262,33
6	T1	22	-8,82	-52,45	469,22	173,54	-8,31	-39,28	872,07	264,89
	T2		-7,49	-39,02	571,47	231,22	-6,99	-33,86	1049,56	359,47
7	T1	19	-3,96	-24,68	497,07	199,37	-4,72	-24,69	727,55	228,39
	T2		2,43	-3,93	406,22	79,82	-2,58	-13,7	652,27	256,09
8	T1	20	3,72	-54,6	693,28	296,37	8,88	-59,05	919,39	282,56
	T2		1,43	-37,36	927,94	412,23	1,83	-25,36	1190,29	437,27
9	T1	24	-9,36	-33,87	539,21	227,9	-9,67	-29,31	786,89	184,35
	T2		-19,98	-33,9	723,51	275,25	-12,87	-24,54	670,27	268,97
10	T1	21	-6,37	-41,21	466,01	69,02	-2,23	-35,92	691,92	212,2
	T2		-10,18	-44,42	574,34	159,57	-10,36	-53,81	619,12	144,54
11	T1	22	-7,93	-32,1	407,5	118,16	-5,36	-28,25	445,33	111,25
	T2		-1,25	-17,24	460,18	188,99	-0,64	-20,75	620,99	223,97
12	T1	20	-4,21	-63,64	571,25	159,43	-4,22	-63,15	636,44	285,78
	T2		0,51	-65	606,1	160,05	3,67	-67,35	581,57	182,29
13	T1	20	1,64	-54,2	515,89	104,68	2,8	-24,17	970,75	258,9
	T2		-2,31	-28,96	652,58	143,99	-3,42	-12,66	1359,75	329,63
14	T1	21	-2,96	-36,35	613,35	123,36	-0,5	-37,38	891,54	228,89
	T2		6,9	-27,93	688,26	189,1	15,18	-24,83	946,38	514,1
15	T1	21	-7,05	-45,37	504,04	164,62	-4,24	-33,85	666,57	307
	T2		1,3	-40,79	511,08	498,62	3,45	-33,87	878,6	657,26
16	T1	27	-2,37	-59,31	346,13	97,45	-4,03	-60,45	387,47	68,85
	T2		0,12	-37,13	433,02	205,89	-1,52	-35,1	391,17	140,83
17	T1	22	1,04	-40,54	532,16	318,27	0,61	-42,65	471,62	131,06
	T2		0,01	-25,92	622,56	275,33	1,78	-14,1	881,54	192,18

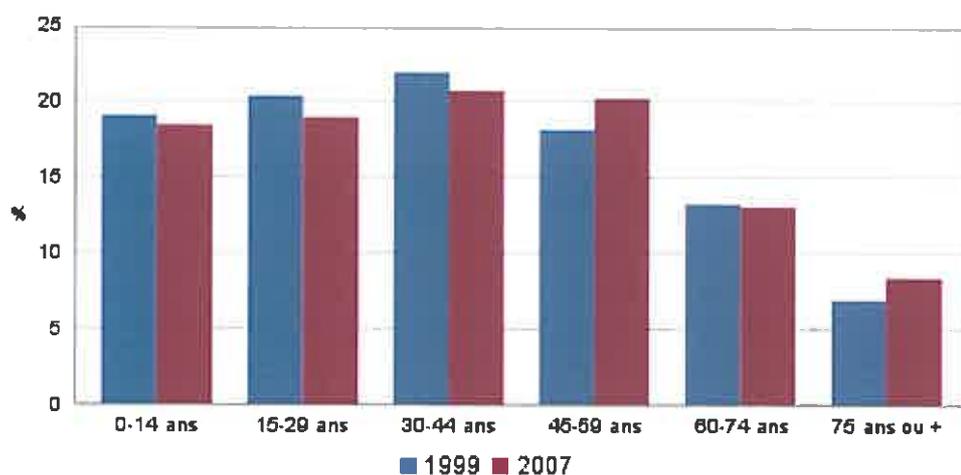
		yeux ouverts				yeux fermés				
	âge	X	Y	longueur	surface	X	Y	longueur	surface	
18	T1	20	-7,3	-63,67	583,91	154,63	-2,62	-43,35	900,86	337,01
	T2		-13,07	-54,18	646,98	144,95	-6,11	-45,44	813,19	189,24
19	T1	20	-9,75	-37,97	714,42	265,64	-9,78	-37,45	926,35	263,13
	T2		-3,24	-30,01	681,69	214,8	-4,69	-30,85	950,29	309,47
20	T1	24	1,65	-48,31	664,13	313,95	4,62	-42,94	862,56	297,78
	T2		-2,69	-39,31	601,17	244,33	0,06	-34,94	820,74	322,82
21	T1	20	-1,6	-31,73	603,99	345,46	-1,03	-30,94	784,11	299,04
	T2		6,44	-13,26	627,62	301,34	3,69	-19,59	887,86	419,76
22	T1	23	0,85	-29,42	490,11	135,22	1,44	-14,19	788,05	312,44
	T2		-10,6	-42,14	561,86	184,62	-5,34	-41,59	800,56	207,91
23	T1	20	-6,02	-53,42	487,8	139,53	-3,95	-58,3	631,62	272,61
	T2		-6,3	-34,69	502,9	87,99	-0,36	-38,76	782,94	268,61
24	T1	21	0,54	-31,47	461,7	147,02	-0,66	-33,7	627,69	140,65
	T2		-4,9	-38,77	499,35	129,52	-3,62	-40,3	565,25	134,83
25	T1	27	-0,24	-58,03	471,15	139,78	0,92	-53,5	550,57	204,43
	T2		9,04	-62,01	453,48	192,85	9,19	-56,24	591,09	142,48
26	T1	21	2,1	-34,5	377,07	378,79	-1,3	-29,76	482,45	283,95
	T2		5,18	-26,59	463,98	483,12	5,2	-33,81	465,69	475,5
27	T1	29	-3,84	-30	669,58	210,26	-1,55	-35,38	823,65	299,92
	T2		-5,89	-28,06	679,8	233,29	-0,13	-27,3	916,03	390,16
28	T1	22	0,4	-20,22	597,59	366,29	3,75	-18,02	749,83	462,98
	T2		-0,56	-19,64	549,76	457,08	-3,59	-24,69	880,71	268,35
29	T1	22	-11,58	-39,96	522,14	236	-10,71	-48,84	638,96	480,33
	T2		-10,4	-35,8	549,41	329,32	-7,66	-41,32	518,43	287,52
30	T1	24	1,8	-44,24	655,1	208,29	4,22	-46,97	748,49	216,82
	T2		4,07	-32,45	547,41	214,66	3,86	-34,12	660,32	321,9
31	T1	22	3,51	-32,08	460,14	113,86	3,98	-43,15	678,44	211,38
	T2		3,35	-18,14	577,39	185,07	2,65	-18,95	833,32	395,96
32	T1	22	-8,94	-48,58	577,31	180,82	-9,84	-51,89	702,94	174,6
	T2		4,48	-36,06	575,68	169,96	2,44	-34,84	821,15	229,28
33	T1	22	-6,06	-40,57	443,76	110,39	-8,36	-36,81	754,6	167,35
	T2		-3,47	-40,45	391,84	113,14	-7,46	-37,92	713,37	201,83

		yeux ouverts				yeux fermés				
	âge	X	Y	longueur	surface	X	Y	longueur	surface	
34	T1	25	-4,73	-64,82	506,9	201,08	0,98	-61,68	738,41	182,81
	T2		0,13	-63,85	538,64	468,21	6,43	-44,55	679,34	503,27
35	T1	20	-13,07	-21,41	486,95	162,93	-12,14	-29,09	627,55	158,29
	T2		-5,34	-24,55	443,07	158,78	-5,35	-23,27	511,1	235,97
36	T1	22	-3,72	-69,62	362,3	124,81	0,71	-70,92	508,33	105,14
	T2		0,47	-67,82	545,99	114,78	4,73	-75,05	600,91	375,06
37	T1	22	1,87	-47,26	334,08	179,12	3,75	-39,19	344,24	130,73
	T2		2,29	-30,89	379,38	228,44	4,08	-39,48	501,01	224,79
38	T1	27	-7,75	-46,06	542,49	221,08	-11,55	-51,06	871,44	299,13
	T2		1,88	-43,2	719,89	327,33	2,84	-37,18	1099,71	444,7
39	T1	22	-5,18	-33,65	528,14	246,36	0,01	-30,17	727,92	212,49
	T2		2,39	-33,88	502,88	174,86	0,49	-31,23	841,76	223,84
40	T1	22	0,77	-34,66	432,37	132,25	2,57	-44,39	529,89	110,97
	T2		0,87	-24,14	538,75	175,96	0,67	-34,48	589,22	160,56
41	T1	21	-2,52	-70,24	495,93	184,83	4,95	-64,16	723,11	225,28
	T2		3,57	-54,66	593,28	269,57	0,31	-48,17	1134,01	481,51
42	T1	20	9,36	-32,36	620,01	136,15	9,92	-30,42	766,73	96,92
	T2		6,66	-23,92	478,26	85,75	2,54	-24,31	716,69	133,5
43	T1	22	0,31	-39,38	449,03	290,53	-0,39	-37,3	451,05	137,62
	T2		1,3	-16,85	467,92	188,3	2,64	-24,18	419,78	136,7
44	T1	28	-6,16	-21,25	582,84	102,89	-2,77	-23,92	617	119,66
	T2		-0,82	-44,95	675,64	357,85	-1,15	-51,25	714,98	251
45	T1	23	-21,13	-38,28	481,59	122,75	-16,47	-37,16	771,47	224,48
	T2		-17,26	-38,37	614,5	272,34	-22,67	-47,14	714,68	249,24
46	T1	21	-0,86	-40,38	367,53	94,32	-2,62	-41,29	487,14	82,91
	T2		1,31	-49,03	400,51	74,72	1,42	-51,17	428,63	67,28
47	T1	22	-0,44	-48,87	451,82	124,35	-0,05	-49,68	600,69	154,91
	T2		-0,22	-48,53	515,38	174,68	0,89	-48,71	496,24	174,86
48	T1	20	-2,97	-25,29	528,51	159,92	0,83	-25,96	718,32	220,33
	T2		-6,42	-43,43	484,55	236,32	0,27	-46,66	675,25	201,42
49	T1	19	3,66	-64,91	521,27	155,7	8,11	-58,2	607,45	145,48
	T2		-0,43	-59,59	493,81	204,71	0,65	-59,83	523,45	123,61
50	T1	22	-3,24	-38,42	814,62	206,83	-2,85	-36,74	945,51	212,42
	T2		-1,6	-27,66	1024,4	292,91	-0,89	-34,01	961,7	189,83

		yeux ouverts				yeux fermés				
		âge	X	Y	longueur	surface	X	Y	longueur	surface
51	T1	22	7,93	-36,77	443,75	272,53	14,11	-35,97	439,7	113,99
	T2		14,87	14,87	459,57	111,7	14,32	-43,02	603,66	167,71
52	T1	22	1,05	-46,39	462,79	145,2	-0,22	-41,14	531,83	131,64
	T2		2,85	-53,54	524,67	237,52	0,48	-44,77	560,55	160,62
53	T1	21	6,93	-54,54	519,63	114,27	4,74	-56,11	702,46	224,74
	T2		8,28	-33,69	503,52	120,93	10,33	-37,11	610,63	152,17
54	T1	30	2,22	-46,59	402,71	79,69	8,56	-45,86	450,55	78,36
	T2		1,28	-33,53	534,69	114,75	12,18	-46,03	627,97	148,3
55	T1	21	0,62	-44,46	509,61	290,82	2,47	-42,93	522,07	157,63
	T2		3,07	3,07	459,17	267,3	7,83	-47,19	717,71	293,51
56	T1	19	1,12	-39,97	327,42	81,3	81,3	-38,6	352,02	103,06
	T2		4,11	-22,55	414,96	148,46	3,62	-23,15	430,88	114,25
57	T1	24	-2,77	-35,05	545,64	112,11	-4,54	-28,85	530,6	188,25
	T2		-3,11	-33,41	622,65	327,54	-10,62	-35,72	837,41	373,85
58	T1	23	-1,26	-34,91	536,51	207,18	1,58	-34,38	706,07	219,31
	T2		-1,73	-25,77	474,44	192,7	-0,65	-30,26	584,11	142,22
59	T1	26	4,89	-24,15	454,26	393,21	1,4	-29,05	636,31	167,87
	T2		1,1	-15,45	568,23	299,14	5,96	-20,54	757,02	348,35
60	T1	19	0,3	-44,13	409,9	130,48	3,36	-35,59	511,72	161,07
	T2		-6,5	-33,12	462,27	309,91	-1,31	-37,25	605,73	485,59
61	T1	21	2,58	-60,25	459,18	153,8	8,16	-57,09	523,02	147,54
	T2		8,43	-61,67	461,15	166,35	6,74	-66,82	654,6	324,47
62	T1	20	-8,41	-35,08	528,09	90,41	-7,06	-30,52	778,91	191,51
	T2		-1,72	-23,34	624,01	194,6	-4,81	-25,88	765,23	274,31
63	T1	20	9,09	-40,24	377,54	210,9	210,9	-37,29	444,32	190,6
	T2		12,41	-5,61	635,35	264,53	17,79	17,79	902,86	902,86
64	T1	20	1,75	-42,89	472,29	137,31	-0,61	-38,45	560,03	171,53
	T2		-1,88	-33,32	482,35	151,25	-6,16	-36,51	593,49	268,26
65	T1	27	-5,54	-62,14	495,48	518,39	-0,45	-63,21	679,89	186,39
	T2		-2,65	-45,13	676,19	142,48	-8,3	-54,53	654,75	654,75
66	T1	20	-6,66	-64,95	661,5	107,31	-5,85	-64,92	743,56	124,46
	T2		-2,81	-51,99	478,54	120,84	-3,81	-52,84	671,62	170,27
67	T1	20	2,47	-47,38	489,92	89,01	0,03	-48,44	561,67	64,79
	T2		0,84	-56,23	582,92	118,12	2,54	-61,02	676,57	103,26

		yeux ouverts				yeux fermés				
	âge	X	Y	longueur	surface	X	Y	longueur	surface	
68	T1	22	2,11	-50,92	341,84	357,47	1,55	-47,89	314,06	178,64
	T2		1,17	-39,88	388,26	471,86	0,64	-36,6	373,84	244,33
69	T1	22	-5,51	-58,38	-58,38	229,39	-5,73	-53,7	572,23	186,3
	T2		-4,3	-45,68	-45,68	444,78	-8,69	-38,48	665,92	401,29
70	T1	21	5,95	-54,03	429,99	136,97	4,7	-50,33	406,02	113,87
	T2		2,03	-47,22	532,18	292,86	0,26	-43,38	418,5	271,21
71	T1	20	2,56	-45,16	460,92	256,04	3,8	-41,15	573,24	119,28
	T2		9,4	-44,86	503,06	233,77	7,14	-51,46	588,7	124,74
72	T1	19	5,86	-40,45	532,62	127,87	5,3	-37,73	781,2	134,03
	T2		1,29	-43,53	519,32	125,53	7,95	-35,3	563,33	185,96
73	T1	20	3,08	-52,75	794,49	174,4	4,74	-40,65	730,82	224,63
	T2		4,88	-52,85	701,11	275,05	7,75	-51,31	695,04	371,69
74	T1	23	0,19	-9,51	531,84	305,88	0,68	-10,84	720,65	334,51
	T2		1,25	-4,45	566,99	210,16	1,39	-7,5	907,1	315,84
75	T1	21	-0,93	-57,22	510,4	213,73	-3	-63,99	756,85	186,76
	T2		-2,05	-51,66	669,15	168,47	-2,02	-50,07	738,66	177,16
76	T1	21	9,79	-42,14	453,49	166,32	13,11	-43,54	492,23	122,7
	T2		1,02	-54,54	685,59	173,45	5,76	-58,91	652,04	194,15
77	T1	21	194,15	-55,49	289,78	163,63	0,85	-52,38	380,33	266,56
	T2		11,89	-57,81	358,71	175,72	9,71	-63,49	422,45	102,96
78	T1	26	1,12	-55,2	526,98	213,27	-3,34	-61,46	662,28	179,25
	T2		-0,59	-53,16	682,68	208,72	-2,36	-52,05	894,63	229,8
79	T1	21	1,85	-50,09	354,07	111	1	-48,21	394,65	148,06
	T2		3,35	-34,72	415,16	142,91	3,96	-31,33	446,37	195,25
80	T1	21	-1,59	-50,36	538,86	171,3	-0,81	-49,67	573,97	188,71
	T2		-1,19	-41,89	513,01	218,14	-3,26	-37,13	693,04	279,43
81	T1	22	0,91	-60,57	531,19	157,22	2,94	-63,15	602,75	135,42
	T2		7,21	-51,96	448,51	175,31	9,24	-62,8	676,92	154,03
82	T1	20	-4,91	-40,45	511,17	187,75	-5,2	-37,05	665,94	154,86
	T2		1,97	-11,05	718,61	191,81	12,17	-13,01	985,49	219,3

ANNEXE III : tableau de la population par grandes tranches d'âge



Sources : site de l'Insee

<http://www.recensement.insee.fr/chiffresCles.action?zoneSearchField=FRANCE&codeZone=1-FE&idTheme=3&rechercher=Rechercher>