اختبار حسب التقييس العالمي ISO 10328 لأطراف صناعية سفلى مصنوعة من مواد مركبة ذات أساس بوليمري مقواة بألياف طبيعية مستخرجة من نبتة الحلفاء.
(مثال عملي لأهمية التقييس في التنمية المستدامة)

م/ وهبي المنقعي[أ] ؛ د/ سامي بن إبراهيم [ب] ؛ أ.ت.ع/ رضا بالشيخ [ج]؛ أ.ت.ع / المعز الشفرة [د]

إن الأعمال والإصدارات المتعلقة بالاختبارات الميكانيكية الخاصة بأجهزة تقويم العظام و الأطراف الصناعية تكاد تكون قليلة أو نادرة. ويعتبر التقييس العالمي ISO 10328 هو المعيار الأكثر شيوعا في هذا الميدان حيث يحدد كل إعدادات التحميل و التي هي في الحقيقة مستوحاة من طريقة حركة مشي الإنسان.

و في هذا الإطار قمنا باختبار أحد أجزاء أطراف صناعية للمبتورين تحت الركبة و التي تتكون إجماليا من ثلاثة عناصر رئيسية: السكوت (أو التجويفة) و القدم و الجزء الواصل بينهما. و**السكوت** (أو التجويفة) موضوع هذا العمل يصنع عادة من مواد مركبة ذات أساس بوليمري مقواة بألياف عالية المقاومة (كألياف الكربون و ألياف الزجاج مثلا) و ذلك لضمان سلامة مستعملي هذه الأطراف، حيث يجب ألا تنكسر الأطراف الصناعية عند استعمالها في جميع الأحوال، مما يجعل تكلفتها عالية ليست في متناول جميع شرائح المجتمع من ذوي الاحتياجات الخاصة. و لذلك كان من المهم التفكير و البحث عن إمكانية استبدال ألياف الكربون الباهظة الثمن بألياف أخرى اقل تكلفة منها مثل الألياف الطبيعية المستخرجة من نبتة الحلفاء المتوفرة بكثرة في شمال إفريقيا. فنكون بذلك قد خفضنا في تكلفة صناعة الأطراف الصناعية باستعمالنا لموادا طبيعية ليس لها أضرار بيئية بعد نهاية العمر الافتراضي لهذه الأطراف الصناعية. و لكن قبل أن يتم لباس الأطراف الصناعية المعدة من مواد جديدة يجب اختبارها بالاعتماد على المتطلبات و التوصيات التي يتضمنها التقييس العالمي ISO 10328 .

و هذا البحث يقدم وصفا لمراحل تحضير العينات و تركيبها على الجهاز التجريبي الذي تم تصميمه و تصنيعه في نفس إطار هذا العمل كما يقدم وصفا لخطوات الاختبارات و يبرز أهم النتائج المتحصل عليها بعد الاختبارات الستاتيكية و الديناميكية كما يعرض الاستنتاجات النهائية في استعمال ألياف الحلفاء كبديل لألياف الكربون. هذا ما يجرنا إلى التطرق إلى موضوع التقييس كوسيلة للتنمية المستدامة.

الكلمات المرشدة:

الأطراف الصناعية تحت الركبة ؛ الاختبارات الميكانيكية ؛ ألياف نباتية من الحلفاء ؛ التقييس العالمي ISO 10328 ؛ التنمية المستدامة.

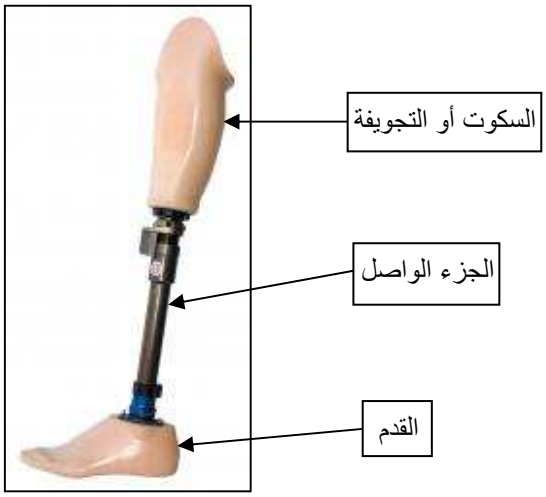
أ: الكلية التقنية بالإحساء قسم صيانة الآلات الميكانيكية، المملكة العربية السعودية.
ب: المدرسة الوطنية للمهندسين بتونس، قسم الهندسة الميكانيكية، جامعة تونس المنار، الجمهورية التونسية.
ج: المدرسة الوطنية للمهندسين بتونس، قسم الهندسة الصناعية، جامعة تونس المنار، الجمهورية التونسية.
د: المعهد التحضيري للدراسات الهندسية، جامعة تونس المنار، الجمهورية التونسية.

1) مقدمة

إن بتر احد أعضاء الإنسان نتيجة لحوادث الطرقات أو لسبب من الأسباب الأخرى له تأثير كبير على الضحية حيث يدخل عليه حزنا و غما كبيرين. و هذا الألم العميق يمكن تخفيفه لدى المصاب بتعويض العضو المبتور بآخر صناعي، مما يعينه على الرجوع تدريجيا إلى الحياة الطبيعية و المشاركة فيها.

و يجدر الإشارة إلى أن الأعضاء المبتورة السفلى يمكن تعويضها بأطراف صناعية تركب على الجزء المتبقي عن طريق تجويفة (**شكل1**). لذلك حرص المختصون بصناعة الأطراف الصناعية، على أن تكون هذه التجويفات مريحة و صالحة عمليا للمصاب. فتعددت أنواع و طرق ربط التجويفات كما تنوعت المواد التي تصنع منها.

و اختبار أي جزء جديد من الأطراف الصناعية يكون إما بتجربته مباشرة على المبتور و هذه الطريقة يمكن أن تمثل خطرا عليه و إما بالقيام باختبارات ميكانيكية على الجزء قبل الاستعمال بإتباع التقيس العالمي ISO 10328.



شكل1: طرف اصطناعي لمبتور تحت الركبة

2) التقييس العالمي ISO 10328 [1،2]

تم إعداد التقييس العالمي ISO 10328 عن طريق لجنة فنية تضم مختصين. و هذا التقييس يتضمن الطرق العملية للاختبارات الستاتيكية و الديناميكية للأطراف الصناعية السفلى (البتر تحت و فوق الركبة) حيث يتحصل على أحمال مركبة انطلاقا من تطبيق قوة مفردة على العينة.

ويحتوي التقييس العالمي ISO 10328 (و المعنون بالأطراف الصناعية - اختبارات مكونات الأطراف الصناعية السفلى) على ثمانية أجزاء:

الجزء الأول: ترتيبات الاختبارات

الجزء الثاني: عينات الاختبار

الجزء الثالث: الاختبارات الرئيسية للهيكل

الجزء الرابع: إعدادات التحميل للاختبارات الرئيسية للهيكل

الجزء الخامس: الاختبارات الإضافية

الجزء السادس: إعدادات التحميل للاختبارات الإضافية للهيكل

الجزء السابع: وثيقة التقديم للاختبار

الجزء الثامن: تقرير الاختبارات

و الأجزاء الأربعة الأولى هي التي تم الاعتماد عليها في هذا البحث.

3) من النبتة إلى ألياف الحلفاء

أ- مقدمة

الحلفاء هي نبتة عشبية معمرة من عائلة الحشائش (**الشكل2(أ)**)، تنبت في المناطق القاحلة في حوض البحر الأبيض المتوسط الغربي في شمال أفريقيا. فهي تنمو في تونس و المغرب و ليبيا كما تنمو في أوروبا الجنوبية كأسبانيا وإيطاليا. و تغطي كذلك الحلفاء مساحات شاسعة من الهضاب العليا الجزائرية. و هي تنمو على شكل خصلات يبلغ ارتفاعها حوالي

المتر، وتشكل مساحات واسعة في وسط المناطق الجافة، مثل القصرين. وهي تقوم بدور بيئي هام ضد التصحر و التعرية في هذه المنطق القاحلة. و يمكن أن ترعى الخيول والجمال أوراق الحلفاء الصغيرة ، ولكن نظرا لكون هذه العشبة غنية جدا باللينين فهي ليست مغذية للحيوانات العاشبة الأخرى. و قد استعملت الحلفاء سابقا في صناعة الحبال و الحصير و السلال... و تستعمل الحلفاء حاليا لصناعة الورق.

من خلال دراسة استعمال الحلفاء سابقا و حاضرا في مجالات متعددة و لكون هذه النبتة تنبت بوفرة في البلاد التونسية فان كثيرا من البحوث انطلقت لدراسة إمكانية استعمال هذه النبتة في تطبيقات أخرى و استثمارها في الميادين الطبية. فمنهم من بحث في استعمالها للتخسيس و منهم من بحث في إمكانية استخراج ألياف تقوية للمواد المركبة و هو موضوع هذا العمل الأكاديمي.

ب- استخراج الياف تقوية من الحلفاء

إن استخراج ألياف نباتية لتقوية المواد المركبة ليس بالأمر الجديد في عصرنا هذا [3]. و لكن استعمال ألياف من الحلفاء يعتبر من البحوث الرائدة. و من بين الأعمال التي تعرضت إلى التوصيف الميكانيكي لألياف الحلفاء ودراسة سلوكها داخل مادة حاضنة، نذكر البحث [4] حيث تطرق إلى تأثير توجيه الألياف على الخواص الميكانيكية للمادة المركبة من ألياف الحلفاء و البوليستر. و لم تتوقف البحوث عند هذا الحد بل اتسعت دائرة المعتنين بمادة الحلفاء إلى اتجاهات عديدة أخرى [5]...

ج- صناعة أقمشة غير منسوجة من ألياف الحلفاء

أظهرت العديد من الدراسات البحثية أن ألياف الحلفاء يمكن أن تستخدم لتقوية المواد المركبة. ويبقى السؤال عن الطريقة الأمثل لتشكيل الألياف لاستغلالها صناعيا.

هناك ثلاثة طرق ممكنة:

- النسيج الذي يؤدي إلى الأنسجة
- الحياكة التي تؤدي إلى التريكو
- تقنية غير المنسوجات.

و قد تم التخلي عن التقنيتين الأولى و الثانية لأن ألياف الحلفاء ليست لها المرونة الكافية لغزل خيط متواصل. و نجد في العمل [5] وصفا دقيقا للتقنية المستعملة للحصول على أقمشة من ألياف الحلفاء غير المنسوجة مما أدى إلى مستوى جيد من الإتقان في صناعة أقمشة غير منسوجة من ألياف الحلفاء (**شكل2(ب)**). و قد سمحت لنا هذه التقنية باستعمال ألياف الحلفاء لتقوية المواد المركبة لصناعة التجويفات التي سيتم اختبارها في ما بعد.

أ) نبتة الحلفاء

ب) أقمشة غير منسوجة من ألياف الحلفاء

شكل 2: أقمشة غير منسوجة من ألياف الحلفاء

4) تحضير العينات للاختبار

نعني بتحضير العينات (التجويفات) للاختبار كل الإعدادات اللازمة قبل القيام بالاختبارات المذكورة في التقييس العالمي ISO 10328 و تضم هذه الإعدادات أربعة خطوات رئيسية و هي:

- صناعة جهاز الاختبار الذي يتم عليه تركيب العينة
- صناعة العينات (التجويفات) (**شكل 3 (أ)**)

- إعداد جدعه اصطناعية من السليكون المقوى بالقطن (**شكل 3 (ب)**)
- تركيب جميع المكونات على جهاز الاختبار مع مراعاة المحاذاة اللازمة (**شكل 3 (ج)**)

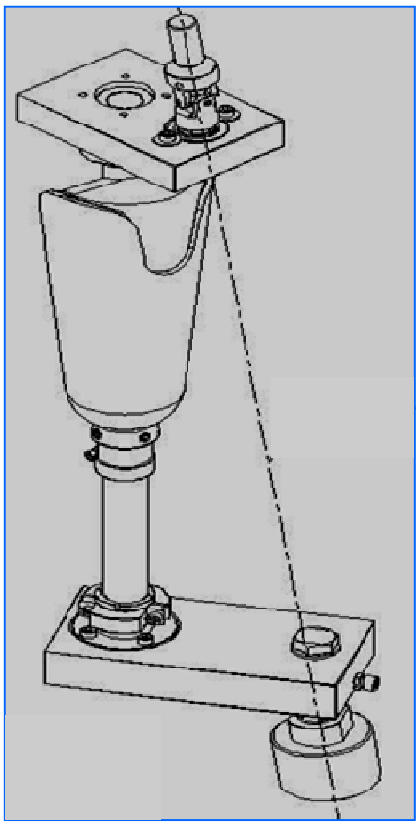
بالنسبة لجهاز الاختبار قمنا بتصنيع أجزائه بالاعتماد على دراسة الروابط من جهة و دراسة ديناميكية من جهة أخرى. في حين لم نقم بمراجعة مقاومة الأجزاء المكونة لجهاز الاختبار للأحمال المسلطة عليها لتأكدنا من أنها تتحمل هذه الأحمال دون صعوبة.

و قد تم صنع العينات (التجويفات) عن طريق التشكيل بالتفريغ من راتنج ميتاكريليت الميثيل مقوى بقماش غير منسوج من ألياف الحلفاء. ثم قمنا بإعداد الجدعه و هي خطوة تتطلب عناية كبيرة فهي الأساس الذي يرتكز عليه عمل المحاذاة للثلاثي (التجويفة؛ الجدعه؛ جهاز الاختبار).

و تجدر الإشارة إلى أن تحضير العينات للاختبار هي مرحلة حساسة جدا فهي تضم خطوات متتالية و مترابطة يعتمد بعضها على البعض، مما يتطلب اهتماما شديدا في إنجازها من أجل الدقة و ضمان نجاح الاختبارات.

أ) نزع التجويفة من القالب و تشطيبها

ب) نزع الجدعه من القالب



ج) تركيب التجويفة و الجدعه على جهاز الاختبار

شكل3 : خطوات تحضير العينات للاختبار

5) الاختبارات

أ) مقدمة

الاختبارات التي نعرضها تم انجازها في ايطالية في مخبر الاختبارات الميكانيكية للشركة TECNOTESSILE و آلة الاختبار المستخدمة هي آلة تعب من نوع: Italsigma MTS 407 Controller و قدرتها القصوى هي (100 كيلو نيوتن، 25 هرتز). و تمت هذه التجارب في فصل الخريف حيث سجلنا درجات حرارة ما بين 20 و 25 درجة مئوية.

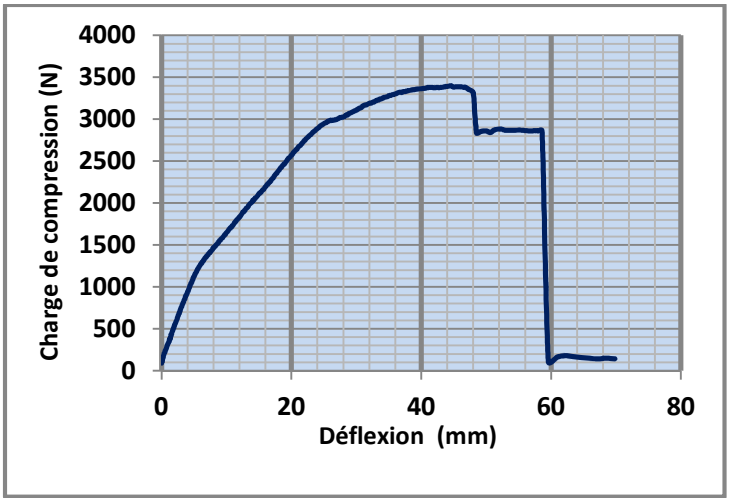
و قد أنجزت ثلاث اختبارات ناجحة وهي:

- اختبار استاتيكي إلى حد التكسير أجري على تجويفة مصنوعة من ألياف الكربون.

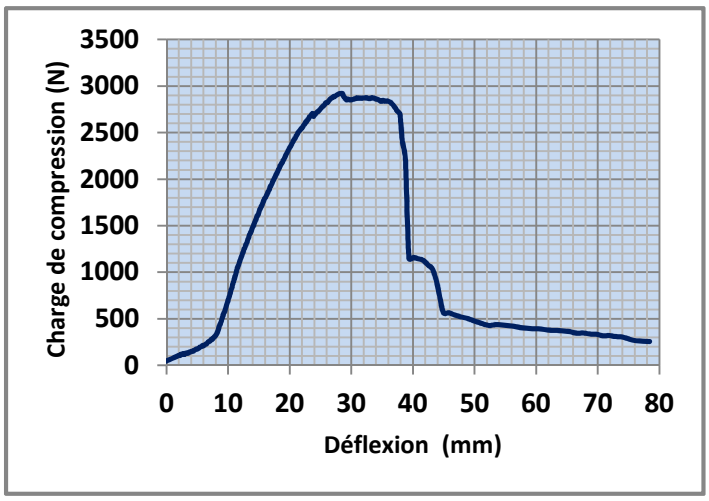
- اختبار استاتيكي إلى حد التكسير أجري على تجويفة مصنوعة من ألياف الحلفاء.
- اختبار ديناميكي أجري على تجويفة مصنوعة من ألياف الحلفاء.

ب) نتائج الاختبارات الستاتيكية

يبين **الشكل 4(أ)** نتيجة الاختبار الستاتيكي إلى حد الانكسار أجري على تجويفة مصنوعة من ألياف الكربون. و بالرجوع إلى متطلبات التقييس العالمي ISO 10328 يمكننا ان نجزم بان التجويفة المصنوعة من ألياف الكربون اجتازت الاختبار الستاتيكي بنجاح لان قيمة القوة التي انكسرت عندها التجويفة هي اكبر من المطلوب في التقييس العالمي ISO 10328 في حين يبين **الشكل4(ب)** نتيجة الاختبار الستاتيكي أجري على تجويفة مصنوعة من ألياف الحلفاء. و يمكننا ان نجزم بان التجويفة المصنوعة من ألياف الحلفاء لم تجتز الاختبار الستاتيكي بنجاح لان قيمة القوة التي انكسرت عندها التجويفة هي اصغر من المطلوب في التقييس العالمي ISO 10328.



أ) نتيجة الاختبار الستاتيكي لتجويفة مصنوعة من ألياف الكربون.



ب) نتيجة الاختبار الستاتيكي لتجويفة مصنوعة من ألياف الحلفاء.

شكل 4 : نتائج الاختبارات الستاتيكية

على الرغم من أن نتيجة الاختبار الستاتيكي الذي أجري على تجويفة مصنوعة من ألياف الحلفاء سلبية، إلا أننا يمكن أن نعتبر النتيجة غير بعيدة من القيمة الموصى بها حيث تصل النتيجة إلى ما يقارب **90**٪ من الهدف المنشود و هي نتيجة مشجعة بالنسبة إلى تجويفات مصنوعة من ألياف الحلفاء.

ج) نتائج الاختبارات الديناميكية

يتم تثبيت العينة (التجويفة) على جهاز الاختبار و بعد التأكد من المحاذاة الجيدة للعينة و للجدعة على جهاز الاختبار يركب الهيكل المكون من هذه العناصر في فكي آلة التعب. أما الفك العلوي الثابت فمزود بحساس للقوة و أما الفك السفلي المتحرك فمرتبط باسطوانة هيدروليكية تمد الهيكل بقوة ترددية حسب متطلبات التقييس العالمي ISO 10328 **(الشكل5)**. و يتمثل الاختبار الديناميكي في متابعة حركة الفك السفلي تبعا لعدد الدورات. و يبرز **الشكل6** نتيجة الاختبار الديناميكي على تجويفة مصنوعة من ألياف الحلفاء. و يمكن ملاحظة منحنيين متشابهين على **الشكل6** ، احدهما باللون الأزرق و الآخر باللون الوردي. و هذان المنحنيان يطوقان تأرجحات الفك السفلي ولهما نفس الشكل الذي يتميز بثلاثة مناطق وهي:

- المنطقة الأولى التي تتسم بارتفاع سريع يصل إلى 70000 دورة
- و المنطقة الثانية تتسم بارتفاع أبطأ بكثير يقارب المنحنى الخطي. وتستمر هذه الزيادة إلى ما يقارب 2 مليون دورة.
- بينما تتسم المنطقة الثالثة بارتفاع سريع ينتهي على الأرجح بانكسار العينة.

و الجدير بالذكر أن شكل المنحنيين الأزرق و الوردي يذكرنا بالمنحنيات التي يتحصل عليها في اختبار تغير الإبعاد.

أ) الفك العلوي مزود بجهاز استشعار القوة

ب) تثبيت جهاز الاختبار في الفك العلوي

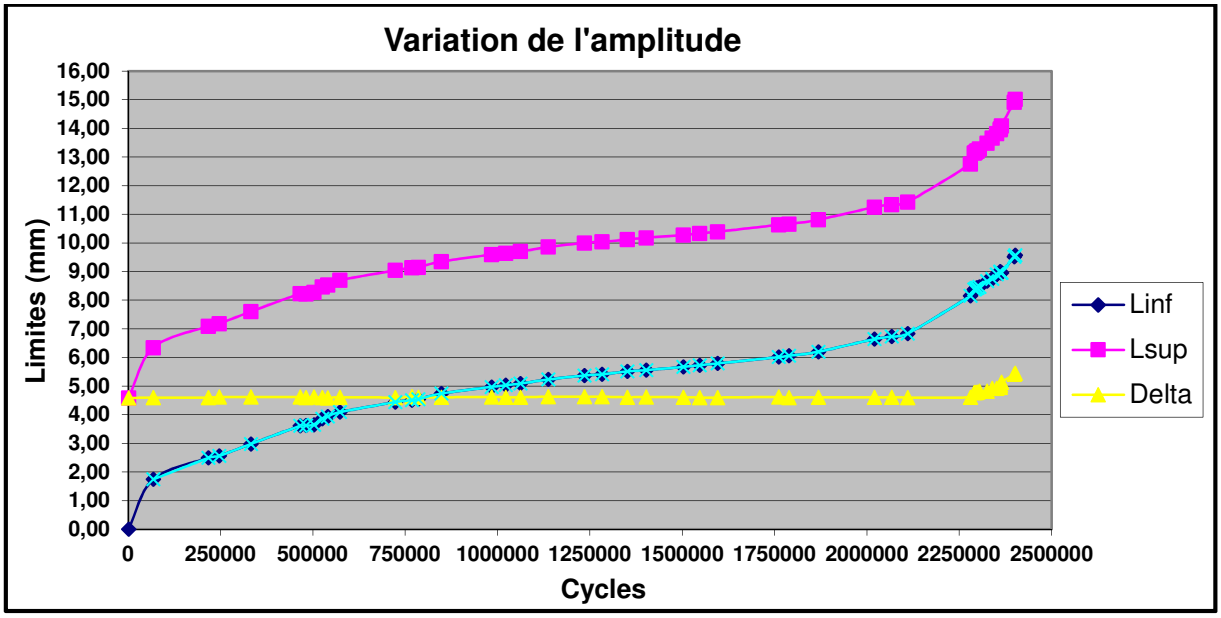
ج) تركيب جهاز الاختبار على آلة التعب

د) الفك السفلي موصول بأسطوانة هيدروليكية

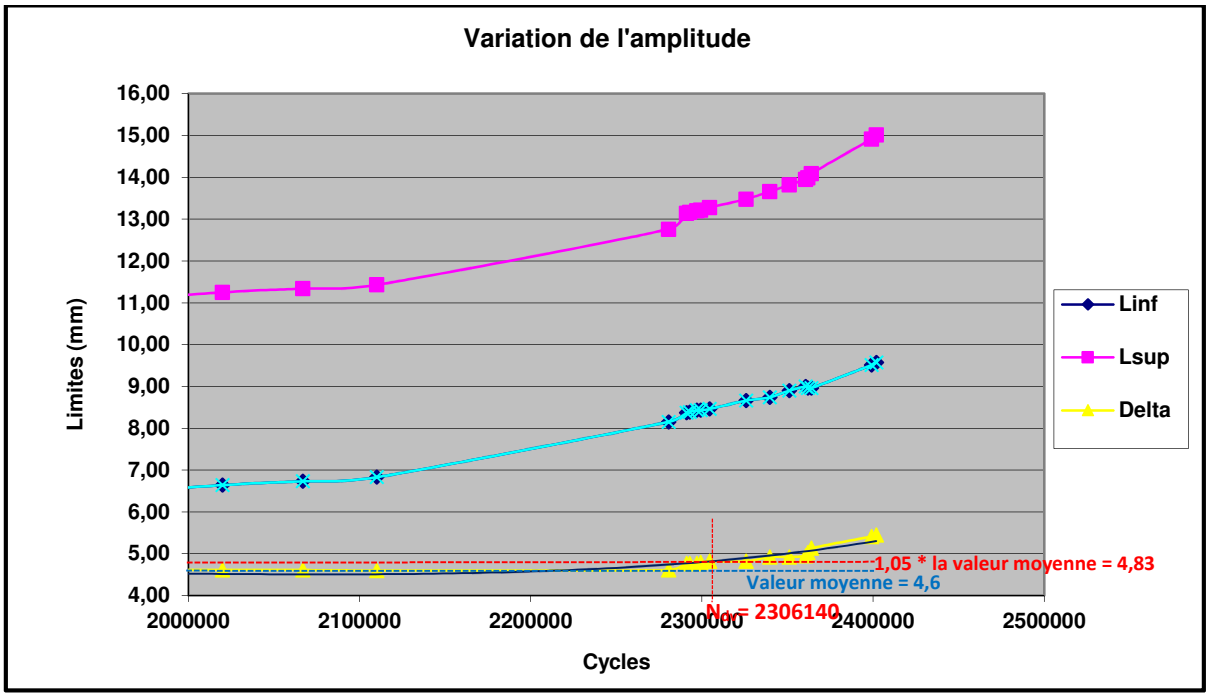
ح) تثبيت جهاز الاختبار في الفك السفلي

شكل 5 : وصف تركيب جهاز الاختبار على آلة التعب

أما المنحنى الأصفر (**الشكل6**) فيمثل مدى الاختلاف في تأرجحات الفك السفلي لآلة الكلال. و نلاحظ أن هذا المدى ثابة على أغلبية المنحنى الأصفر، ولكن عند بلوغه قيمة (2300000 دورة) فأنه ينمو بطريقة سريعة، تنبئ بتدهور الخواص الميكانيكية للعينة المصنوعة من ألياف الحلفاء. لذلك فإننا اعتمدنا على المنحنى الأصفر لتحديد نهاية الاختبار و معرفة عمر العينة و مقارنته بمتطلبات التقييس العالمي ISO 10328 و يتضح من **الشكل7** أن عمر العينة يقارب 2306140 دورة و الذي يمثل قرابة **77 بالمائة** من الهدف المنشود.



شكل 6 : نتائج الاختبار الديناميكي لتجويفة مصنوعة من ألياف الحلفاء



شكل 7: تحديد نهاية الاختبار و معرفة عمر العينة

6) خاتمة

إن النتائج التي تحصلنا عليها من الاختبارات الستاتيكية و الاختبارات الدينامكية أسفرت عن ملاحظات غنية و مرضية ومشجعة جدا لعدة أسباب:

أولا: هو دليل على نجاعة جهاز الاختبار الذي صمم و صنع في إطار هذا البحث

ثانيا: المعلومات المستمدة من المقارنة بين نتيجة الاختبار الستاتيكي إلى حد التكسير على تجويفة مصنوعة من ألياف الحلفاء و تجويفة مصنوعة من ألياف الكربون توضح أن ألياف الكربون يمكن استبدالها بألياف الحلفاء

ثالثا: المنحنيات التي تم الحصول عليها أثناء الاختبار الديناميكي تتفق مع خصائص البوليمرات والمواد المركبة. و هذا يشجعنا على إمعان النظر في الظواهر التي حصلت خلال اختبار الكلال.

رابعا: هذه الاختبارات تسمح لنا أن نستنتج دون تردد أن ألياف الحلفاء هي ألياف واعدة جدا لاستخدامها كتقوية في المواد المركبة خاصة لما تتميز به هذه المواد من مرونة التصميم، إذ يستطيع المهندس أن يستغلها في تصميمه بحيث يضع الألياف باتجاه الأحمال، مما يؤدي إلى استخدام امثل للمادة، و يؤدي بالتالي إلى انخفاض اكبر في وزن الإنشاء النهائي، و هذه الميزة مطلوبة في جميع الميادين و خاصة في تصنيع الأطراف الصناعية.

من خلال هذا العمل الأكاديمي يتأكد لنا أهمية التقييس كوسيلة إلى بلوغ التنمية المستدامة فقد تم تثمين نبتت الحلفاء التي كان استعمالها ضيقا يقتصر على ميادين محدودة و توسيع تطبيقاتها بعد استخراج ألياف تقوية يمكن استعمالها في المواد المركبة لإغراض طبية كصناعة الأطراف الصناعية.

المراجع:

[1] ISO 10328:2006. Prosthetics -- Structural testing of lower-limb prostheses -- Requirements and test methods.

[2] J. Steen Jensen, Henning B. Treichl. Mechanical testing of prosthetic feet utilized in low-income countries according to ISO-10328 standard. Prosthetics and Orthotics International 2007 31: 177-206.

[3] محمود نديم نحاس، احدث التطورات في مجال المواد المركبة – المواد المركبة الصديقة للبيئة و القابلة لاعادة الاستخدام. مجلة جامعة الملك عبد العزيز: العلوم الهندسية، م 16، ع 1، ص ص 77-102 (2005م/1426ه .)

[4] Sami Ben Brahim, Ridha Ben Cheikh. Influence of fiber orientation and volume fraction on the tensile properties of unidirectional Alfa-polyester composite. Composites Science and Technology. Volume 67, Issue 1, January 2007, Pages 140–147.

[5] Réalisation d'un composite à base de fibres d'alfa. B. VERMEULENE, Y. BEN YOUSSIF, A. PERWUELZ, X. LEGRAND, P. VROMON, R. BEN CHEIKH Revue des Composites et Matériaux Avancés, (2008) Vol. 18, N° 2, pp 139-144