

ISSN 2352-9717

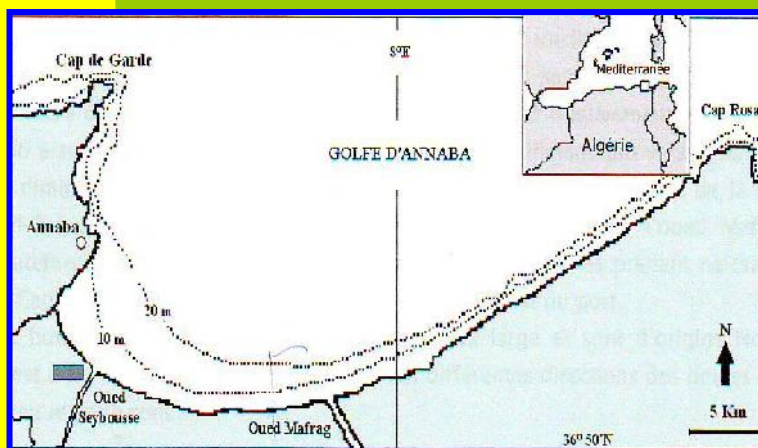
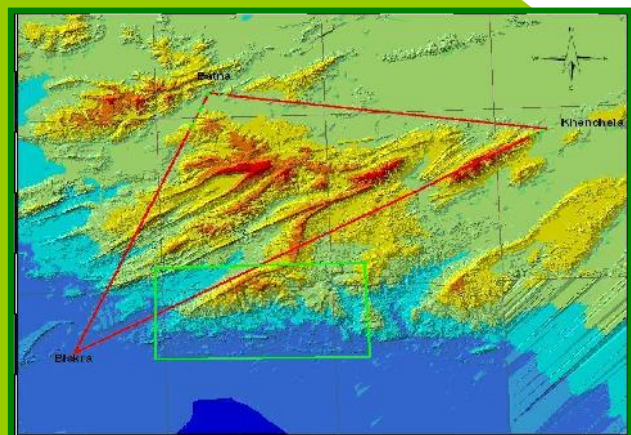
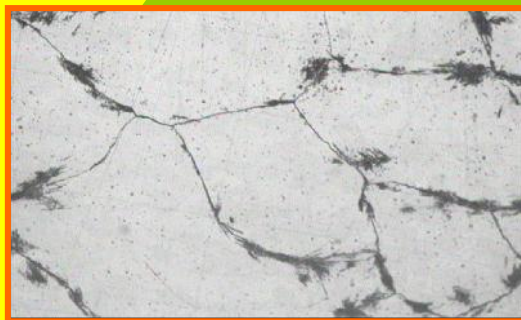
Revue des Sciences et de la Technologie

Synthèse

Université Badji Mokhtar
Annaba, Algérie

Numéro 18

Juillet 2008



Université *Badji Mokhtar*, Annaba
Direction des Publications

Revue des Sciences et de la Technologie de
l'Université Badji Mokhtar, Annaba
Synthèse

جامعة باجي مختار - عنابة -
مديرية النشر

مجلة العلوم و التكنولوجيا

بريد الإلكتروني: revuesynthese@univ-annaba.org

Directeur de la Revue

Pr. Mohammed Tayeb Laskri
Recteur de l'Université Badji Mokhtar d'Annaba

Directeur des Publications

Pr. Lakhdar Tifouti

Directeur de la Rédaction

Pr. Kamel Chaoui

Comité de Rédaction

Pr. N. Aouf, Pr. A. Boukhemis
Pr. H. Sissaoui, Pr. N. Soltani, Pr. L. Zouioueche

Secrétariat

Wafia Ghabeche
Azzedine Chelia

Rédaction et Administration

Direction des Publications,
Université Badji Mokhtar,
BP 12, Annaba 23000, Algérie.
Tel/Fax : 213 (0) 38 87 11 12

E-mail : revuesynthese@univ-annaba.org

ISSN – 1114 – 4924.

Comité Scientifique de la Revue des Sciences et de la Technologie de l'Université d'Annaba



Noureddine Aouf	Professeur, LCOA, Département de Chimie, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Bruno Baudin	Professeur, Département de Biochimie Clinique, Université Caen (France)
Bachir Bensaker	Professeur, Département d'Electronique, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Malk. Benzeggagh	Professeur, Mécanique Matériaux Structure, U.T. Compiègne (France)
Kamel Bouhidel	Professeur, Département de Génie Chimique, Université de Batna (Algérie)
Kaddour Boukhemis	Professeur, Département d'Aménagement, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Anissa Boukhemis	Professeur, Département d'Aménagement, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Chikh Bouzar	Professeur, Département de Mathématiques, Université Es-Senia, Oran (Algérie)
Kamel Chaoui	Professeur, Département de Mécanique, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Allaoua Chibani	Professeur, Département de Physique, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Nasr Eddine Debbache	Professeur, Département d'Electronique, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Larbi Djabri	Professeur, Département de Géologie, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Mohamed Réda Djebbar	Professeur, Département de Biologie, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Patrick Giraudoux	Professeur, Ecologie et Environnement, Université Besançon (France)
Redjem Hadef	Professeur, CU Larbi Ben M'hidi, Oum El Bouaghi (Algérie)
Zahia Hadjoub	Professeur, Département de Physique, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Tayssir Hamieh	Professeur, Surface Corrosion Modélisation, U. Libanaise, Beyrouth (Liban)
Hichem Kara	Professeur, Département Sciences de la Mer, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Raoul Karuba	Professeur, Membre chaire UNESCO eau, Université Sophia Antipolis, (France)
Smail Kharoubi	Professeur, Faculté de Médecine, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Nacer Kherici	Professeur, Département de Géologie, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Mohamed Labaiz	Professeur, Département de Métallurgie, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Ali Ladjama	Professeur, Département de Biochimie, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Mohamed Tayeb Laskri	Professeur, Département d'Informatique, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Amar Makhlouf	Professeur, Département de Mathématiques, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Bachir Merzoug	Professeur, Département de Mécanique, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
André Monteil	Professeur, Département de Physique, Université Angers (France)
Jean-Pierre Quignard	Professeur, Département de Biologie Marine, USTL Montpellier (France)
Bachir Redjel	Professeur, Département de Génie Civil, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Zaidi Sahnoune	Professeur, Département d'Informatique, Université Mentouri Constantine (Algérie)
Hocine Sissaoui	Professeur, Département de Mathématiques, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Guy Smaghe	Professeur, Protection des Végétaux, Université Grund (Belgique)
Noureddine Soltani	Professeur, Département de Biologie, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Mohamed Taabni	Professeur, Géomorphologie, Poitiers (France)
Lakhdar Tifouti	Professeur, Département de Chimie, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Louisa Zouioueche	Professeur, LCOA, Chimie, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)

INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

Les instructions aux auteurs complètes sont disponibles sur : <http://www.univ-annaba.org>

Adresses et Soumission du projet d'article

Les auteurs sont invités à soumettre leur manuscrit au format PDF en regroupant texte, figures et tableaux dans un même fichier. Néanmoins, il est possible de déposer des fichiers au format Word ou RTF. Le manuscrit (texte, figures et tableaux) en 4 exemplaires accompagnés d'un CD contenant l'article est à adresser à : Revue Synthèse des Sciences et de la Technologie, Direction des publications, Université Badji Mokhtar de Annaba, BP 12, Annaba 23000, Algérie.

Tel. /Fax: 00 213 (0) 38 87 11 12

revuesynthese@univ-annaba.org

L'article est préférentiellement rédigé en arabe, en anglais ou en français. Il ne doit avoir fait l'objet d'aucune publication antérieure ni être simultanément soumis à d'autres revues ou journaux. Quand un auteur reprend une figure, une photographie ou un tableau provenant d'une autre publication, il doit indiquer l'origine du document, après avoir obtenu le droit de reproduction auprès de l'éditeur concerné. Tous les articles sont soumis à un comité de lecture. Seuls les articles ayant reçu un avis favorable des experts seront acceptés pour publication. Outre les articles relatant des contributions originales, la Revue des Sciences et de la Technologie publie aussi des contributions synthétisant un problème technique spécifique, l'état de l'art d'un thème ou une lettre à l'éditeur.

Présentation du projet d'article

Le manuscrit, saisi en double interligne avec une police Times New Roman (taille 12), en recto seulement, avec des marges de 3 cm, doit comprendre, dans l'ordre : une page de titre, une page de résumés, le texte, les références, une nomenclature et, éventuellement, des annexes. Toutes les pages doivent être numérotées. Les titres de chapitres sont numérotés selon la numérotation décimale (1. ; 1.1. ; 1.1.1. ; etc.). Les tableaux, avec leurs titres et les figures, avec leurs légendes, doivent être intégrés dans le corps du texte. Les abréviations sont suivies d'un point abrégatif. Les parenthèses et les crochets ouvrants et fermants sont collés aux mots qui les suivent ou les précèdent.

Page de titre

La page de titre contient : le titre de l'article, lequel doit être concis tout en étant explicite (Police 14 TNR), le prénom (en entier) et le nom de chaque auteur, ses coordonnées complètes (adresse, numéros de téléphone, fax et e-mail), ses fonctions, ainsi que le nom de l'auteur correspondant (Police 12 TNR).

Page des résumés

La page des résumés doit rappeler le titre de l'article et comporter un résumé en anglais, en arabe (le comité de rédaction peut se charger de l'établir) et en français, chacun contenant environ 200 mots. Elle comportera également cinq mots clés en anglais (écrits en minuscules italiques séparés par des tirets).

Equations et nombres

Les équations doivent être soigneusement saisies dans l'éditeur d'équations Microsoft Equation 3.0. Quand il est fait référence aux équations dans le texte sous la forme :

équation (1), elles doivent être numérotées en chiffres arabes entre parenthèses au bord de la marge droite. Les vecteurs et matrices doivent apparaître en caractères gras. Le logarithme décimal s'écrit log et le logarithme népérien ln. L'abréviation de exp (exponentielle) est le «e». Dans les expressions du type dx/dt le terme d (différentiel) est toujours en romain, tandis que la grandeur physique (x ou t) est toujours en italique. La virgule décimale, à utiliser dans les textes en français, est à remplacer par le point décimal dans les textes en anglais.

Figures et Tableaux

Toutes les figures et tableaux doivent être appelés dans le texte. On écrira figure 1 en toutes lettres dans le texte, mais (Fig. 1) entre parenthèse. Les figures et tableaux seront numérotés en chiffres arabes croissant au fur et à mesure de leur apparition dans le texte. Les tableaux ne doivent pas faire double emploi avec les figures.

Références

Les références sont numérotées par ordre croissant au fur et à mesure de leur apparition dans le texte, en chiffres arabes entre crochets. Toutes les références de la liste doivent correspondre à des références citées dans le texte dans l'ordre chronologique. Les titres des périodiques doivent être abrégés selon les normes officielles (cf. ISI, Current Contents, Physical Abstracts, etc.). Ecrire en toutes lettres les mots pour lesquels aucune abréviation n'est répertoriée. Le style et la ponctuation des références doivent être conformes aux modèles illustrés ci-dessous en indiquant tous les auteurs:

- Article de revue/journal:

[1] G. Guo, C.B. Park, Y.H. Lee, Y.S. Kim, M. Sain, *Flame retarding effects of nanoclay on wood-fiber composites*, Polymer Eng. & Sci., Vol. 47, Issue 3, 2007, p.330-336.

- Ouvrage ou thèse publiée :

[2] G. Montambaux, E. Akkermans, *Physique mésoscopique des électrons et des photons*, Chapitre 4, Ed. EDP SCIENCES, Paris, 2004.

- Communication dans un colloque ou un congrès :

[3] M.F. Kanninen, I.D. Peggs, C.H. Popelar, *A methodology for forecasting the lifetimes of geomembranes that fail by slow crack growth*, Proceedings of Geosynthetics'93, Vancouver, Canada, 1993, p.831-844

Nomenclature

Tous les paramètres cités dans l'article doivent être rassemblés alphabétiquement, dans une nomenclature à la fin de l'article, avec leurs désignations et leurs unités. Lettres grecques, indices et exposants sont traités séparément. Les symboles utilisés doivent être ceux de la normalisation internationale (ISO) ; ils sont toujours écrits en italique. Les unités doivent être conformes au Système International (SI) et toujours séparées de la valeur numérique par un espace (quelles que soient l'unité et la langue) ; elles sont écrites en romain. Le symbole du litre est L, celui de la minute est min, celui du norme mètre cube est Nm^3 , °C, K (Kelvin), etc.

Annexes

Dans le but d'assurer l'accessibilité à un plus grand nombre de lecteurs, l'annexe est destinée à expliciter des techniques de calcul ou des développements mathématiques, etc. nécessaires à la clarification d'une idée ou d'un processus.

Sommaire

Section A

دراسة سلوك الفوسفات ثنائية البوتاسيوم في وسط دولوميتي: تشكل وتطور الفوسفات مزدوجة البوتاسيوم والمغنيسيوم

Etude de l'action du phosphate dipotassique sur la Dolomite: formation et évaluation des phosphates doubles de Potassium et Magnésium 5

Hacène Bouziane, Abdelhamid Zeghdaoui et Badie Dibbe

Section B

Teneurs en Plomb, Cadmium, Mercure et Zinc relevées dans la chair de la moule, *Perna perna*, dans le littoral d'Annaba

Bourhane Eddine Belabed, Aicha Djabourabi et Mourad Bensouilah 12

Activité biologique d'un agoniste non stéroïdien de l'hormone de mue sur *culiseta longiareolata*: analyses morphométrique, biochimique et énergétique

Fouzia Tine-Djebar et Noureddine Soltani 23

Lorsban-induced changes in haematological parameters, testosterone and thyroxin levels, and semen quality of male rats

Rachid Mosbah, Mohamed Salah Boulakoud et Mokhtar Ibrahim Yousef 35

Section C

Evaluation of weather station network in Jordan

تقييم شبكة الرصد الجوي في الأردن 45

حامد موسى الخطيب

Utilisation des données satellitaires pour le suivi des changements d'occupation du sol et de la dégradation du couvert végétal dans les zones semi-arides: cas de la région sud des Aurès (Algérie)

Hassen Benmessaoud, Mahdi Kalla, Hadda Driddi et Yassine Beghami 58

Section D

Influence de la fatigue thermique et des chocs thermiques sur la tenue au frottement et à l'usure d'un revêtement en acier inoxydable austénitique 304L

Azzedine Boudebane, Said Boudebane, Philippe Revel et Mohamed Labaiz 69

Approche numérique de la plasticité induite par transformation diffusionnelle : investigations dans le cas de l'interaction plasticité classique TRIP

Ha Hoang, Fabrice Barbe et Lakhdar Taleb 80

Impact du revêtement sur le comportement à l'usure et sur la rugosité de la surface usinée en fraisage frontal de l'acier C18

Mohieddine Benghersallah et Lakhdar Boulanouar 92

دراسة سلوك الفوسفات ثنائية البوتاسيوم في وسط دولوميتي: تشكل وتطور الفوسفات مزدوجة البوتاسيوم والمغنيسيوم

Etude de l'action du phosphate dipotassique sur la Dolomite: formation et évaluation des phosphates doubles de Potassium et Magnésium

Hacène Bouziane¹, Abdelhamid Zeghdaoui¹ et Badie Dibbe²

¹) Laboratoire N, Corps et structures de la matière, Département de chimie, Ecole Normale Supérieure, Kouba, BP 92, Alger (16000), Algérie.

²) Faculté d'Agronomie, Université de Damas, Damas, Syrie.

Accepté le 08/12/2007

أردنا في هذا العمل التطرق إلى دراسة التفاعلات الحاصلة بين الفوسفات ثنائية البوتاسيوم ودولوميت التربة الكلسية، حاولنا بعد ذلك تحضير فوسفات ثنائية البوتاسيوم والمغنيسيوم. تمكنا من التعرف على أن الفوسفات ثنائي البوتاسيوم يمكن أن يتفاعل مع الدولوميت مؤدية إلى النواتج التالية: فوسفات ثنائي البوتاسيوم والكالسيوم $[K_3CaH(PO_4)_2]$ - الفوسفات ثنائي الكالسيوم $(CaHPO_4)$ - كربونات البوتاسيوم (K_2CO_3) - مركب لين يحتوي على المغنيسيوم. هذا الأخير يتحول في وجود الماء إلى فوسفات ثلاثي المغنيسيوم $[Mg_3(PO_4)_2]$. لقد حاولنا تحضير فوسفات ثنائي البوتاسيوم والمغنيسيوم بطريقة الإماهة حيث حصلنا على بلورات لهيدرات أو gel لين بإمكانه أن يتبلور معطياً نفس الملح. الدراسة الكيميائية الحرارية الوزنية مكنت من الحصول على الناتج اللامائي والتعرف عليه، وقد تم تعيين الأطوار بمنحنيات ديباي - شيرار، ويتمثل هذا الناتج في الفوسفات $(KMgPO_4 \cdot 6H_2O)$ ومركبه اللامائي $(KMgPO_4)$ ، مع العلم أن المركب اللامائي يوجد في بعض الأعمال السابقة، بينما المركب المائي لم نعثر له على أثر في الأعمال البيبليوغرافية، وقد حضرناه بطريقة جديدة.

الكلمات المفتاحية: خامات الفوسفات؛ فوسفات ثنائي البوتاسيوم والكالسيوم؛ طريقة الإماهة .

Résumé

Ce travail consiste en l'étude de l'interaction entre le phosphate dipotassique et la dolomite des sols calcaires et en la préparation d'un phosphate double de potassium et magnésium. Nous montrons que le phosphate bipotassique peut réagir sur la dolomite et donc donner: (1) un phosphate double de potassium et calcium $[K_3CaH(PO_4)_2]$, (2) le phosphate bicalcique $(CaHPO_4)$, (3) le carbonate de potassium (K_2CO_3) et (4) un composé amorphe contenant du magnésium dont l'évolution en présence d'eau libre le phosphate trimagnésien $[Mg_3(PO_4)_2]$. Nous avons essayé de préparer un phosphate double de potassium et magnésium par voie aqueuse. Nous avons obtenu, selon le mode opératoire, des cristaux d'un hydrate ou un gel amorphe susceptible de cristalliser en donnant ce même sel. Les analyses chimique et thermogravimétrique ont permis de le caractériser et d'obtenir le produit anhydre. Les phases ont été caractérisées par leur diagramme Debye-Scherrer. Il s'agit du phosphate $(KMgPO_4 \cdot 6H_2O)$ et sa phase anhydre $(KMgPO_4)$. La bibliographie contient plusieurs travaux sur le phosphate $(KMgPO_4)$. Cependant, cette étude présente une nouvelle méthode de préparation de ce composé.

Mots clés : minéral du phosphate; phosphate double de potassium et calcium; voie humide.

Abstract

Through this work, the present study looks into the reactions between phosphate bipotassic and dolomite calcaired sol. So we have prepared the phosphate bipotassic and magnesium. It has noticed that the phosphate

bipotassic can react with dolomite and gave v5 the hollowing findings: - Phosphate bipotassic and calcium $[K_3CaH(PO_4)_2]$, -Phosphate double calcium $(CaHPO_4)$, -Potassium carbonate (K_2CO_3) and q soft compound contain the magnesium, this one will develop with water into phosphate third magnesium $[Mg_3(PO_4)_2]$. We have prepared the phosphate double potassium and magnesium by "watered method". So that we have obtained crystal hydrate, or soft gel which can be crystallized and give the same salt. The heat equilibrium chemical study was able to give no watered result which can be easily noticed. The phases evolution was distinguished by Debye-Scherrer diagramms. This result is illustrated in phosphate $(KMgPO_4 \cdot 6H_2O)$ and its anhydrous compound $(KMgPO_4)$, In spite of the fact that this anhydrous compound is found in several works, we don't find the watered compound in bibliography. So, it has prepared with a new method.

Key words: phosphate minerals; phosphate bipotassium and calcium; watered method.

1.

نسبة عالية من الفوسفات المزدوجة للبوتاسيوم والكالسيوم ونسبة أقل من الفوسفات ثنائية الكالسيوم. إن غسل النواتج المتبقية بكميات وافرة من الماء المقطر لإزالة كربونات البوتاسيوم بيّـ التحليل البنيوي بالأشعة السينية أن النواتج المتبقية عبارة عن نسبة عالية من الفوسفات المزدوجة للبوتاسيوم والكالسيوم ونسبة أقل من الفوسفات ثنائية الكالسيوم $CaHPO_4$. إن غسل النواتج المتبقية بكميات وافرة من الماء المقطر يعمل على إزالة كل من الفوسفات المزدوجة والفوسفات ثنائية الكالسيوم وظهور كل من الهيدروكسيل أبائيت والفوسفات ثلاثية المغنيسيوم [10، 12].

من المؤكد أن الهيدروكسيل أبائيت تشكلت من تطور الفوسفات المزدوجة للبوتاسيوم والكالسيوم والفوسفات ثنائية الكالسيوم الناتجة عن تفاعل الفوسفات ثنائية البوتاسيوم من الدولوميت. ومن المؤكد أن الفوسفات ثلاثية المغنيسيوم تكونت اعتباراً من ملح فوسفاتي مغنيزي غير متبلر لا نعلم شيئاً عن هوية هذا الملح، ومما يؤكد هذه الفرضية وجود معتبرة بأس بها من عنصر المغنيسيوم ضمن نواتج التفاعل التي تبين فيما يلي نتائج تحليلها الكيميائي:

ل 1. نسبة Mg و غيرها في ناتج التفاعل

Mg	05,06 %
Ca	10,80 %
K	19,00 %
PO ₄	52,00 %
CO ₂	06,00 %

بالرجوع إلى هذه النتائج، نجد أنه لا بدّ من وجود فوسفات مغنيزية في النواتج الأولية للتفاعل، كي ترتبط مع الشوارد الفوسفورية الفائضة عن الفوسفات المزدوجة والفوسفات ثنائية الكالسيوم. إننا نتوقع أن يكون الطور الأولي المولد للفوسفات ثلاثية المغنيسيوم

بيئاً في بحث سابق أن الفوسفات ثنائية البوتاسيوم K_2HPO_4 تتفاعل مع كربونات الترب الكلسية $CaCO_3$ كالكسيت Dolomite وأراجونيت $CaMg(CO_3)_2$ وتنتج الفوسفات المزدوجة للبوتاسيوم والكالسيوم $K_3CaH(PO_4)_2$ وكربونات البوتاسيوم K_2CO_3 . هذه النتائج كانت متماثلة بالنسبة لكافة الكربونات المستعملة في الدراسة. لقد وجدنا أن غسل نواتج التفاعل بكميات قليلة من الماء المقطر يعمل على إزالة كربونات البوتاسيوم وبقاء الفوسفات المزدوجة للبوتاسيوم والكالسيوم بشكل واضح، ولقد تبين لنا أيضاً أن استمرار الغسيل بكميات وافرة من الماء المقطر يعمل على إزالة الفوسفات المزدوجة للبوتاسيوم وظهور كل من الهيدروكسيل أبائيت $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ والنسبة للكربونات الثلاث. والفوسفات ثلاثية المغنيسيوم $Mg_3(PO_4)_2$ في نواتج تفاعلات الدولوميت فقط.

إن التحليل البنيوي بالأشعة السينية ونواتج الأولية للتفاعلات لم تشر إلى وجود أي ملح مغنيزي، وهذا ما جعلنا نفترض أن الفوسفات ثلاثية المغنيسيوم $Mg_3(PO_4)_2$ التي تتشكل عند غسل النواتج الأولية للتفاعلات بكميات وافرة من الماء المقطر ما هي إلا ناتج لتطور ملح مغنيزي عديم التبلر أو ملح مزدوج المعدن يحتوي تركيبه على عنصر المغنيسيوم [14، 16].

للتأكد من هذه الفرضية : حققنا الاتزان الكيميائي بين خمس غرامات من الدولوميت وخمسون مليلتر من محلول الفوسفات ثنائية البوتاسيوم تركيزه 876 مول/لتر، وبعد غسل نواتج التفاعل بالأسيتون وقليل من الماء المقطر لإزالة كربونات البوتاسيوم بين التحليل البنيوي بالأشعة السينية أن النواتج المتبقية عبارة عن

3. النظم المقترحة لتحضير الطور الفوسفاتي الأولي المولد للفوسفات ثلاثية المغنيسيوم:

ذكرنا سابقاً أن التحليل البنيوي بالأشعة السينية للنواتج الأولية لتفاعل الفوسفات ثنائية البوتاسيوم مع الدولوميت لم يشر إلى وجود أي مركب مغنيزي. في حين وجدنا أنه عند غسل نواتج التفاعل بالماء المقطر حصلنا على فوسفات ثلاثية المغنيسيوم. ولتحديد هوية الطور الأولي المولد للفوسفات ثلاثية المغنيسيوم اقترحنا الأنظمة التالية:

1.3 مفاعلة الفوسفات ثنائية البوتاسيوم مع خلاط المغنيسيوم بوجود هيدروكسيد البوتاسيوم (طريقة Frazier لتحضير الفوسفات $K_3CaH(PO_4)_2$ استبدلت أملاح الكالسيوم بأملاح المغنيسيوم)، وكانت كمية المواد المكونة لهذا النظام كما يلي:

- 150,68 غرام فوسفات ثنائية البوتاسيوم
- 10,00 غرام هيدروكسيد البوتاسيوم
- 42,60 غرام خلاط المغنيسيوم
- 194,00 مليلتر ماء مقطر

تعجن مكونات هذا النظام جيداً وتترك ثلاث ساعات للاستراحة فكان ناتج الاتزان الكيميائي لمكونات هذا النظام عبارة عن هلامة غروية ضعيفة اللزوجة بين فحصها بالأشعة السينية بعد ترشيحها وغسلها بالأسيتون وتجفيفها أنها عديمة التبخر.

2.3 استعمل في هذا النظام نفس المواد والكميات المذكورة في (1:3) لكن دون إضافة هيدروكسيد البوتاسيوم KOH، فحصنا على هلامة غروية أكثر لزوجة وعديمة التبخر أيضاً.

: يلاحظ تشكل بلورات كبيرة من الفوسفات أحادية البوتاسيوم عند ترك نواتج تفاعل النظام الأول والثاني تستريح عدة أيام في المحلول الأم.

3.3 درسنا في هذه الطريقة أثر الفوسفات ثنائية البوتاسيوم على كربونات المغنيسيوم بوجود هيدروكسيد البوتاسيوم، ونبين فيما يلي مكونات هذا النظام:

- 150,68 غرام فوسفات ثنائية البوتاسيوم
- 10,00 غرام هيدروكسيد البوتاسيوم
- 23,85 كربونات مغنيزيوم
- 144,00 مليلتر ماء مقطر

تعجن مكونات هذا النظام جيداً وتترك للاستراحة مدة ثلاث ساعات لتحقيق الاتزان الكيميائي فيما بينها. حصلنا بهذه الطريقة على نواتج صلبة جيدة التبلور [14، 13، 8].

عبارة عن فوسفات ثنائية المغنيسيوم أو فوسفات مزدوجة للبوتاسيوم والمغنيسيوم بما يشبه الفوسفات المزدوجة للبوتاسيوم والكالسيوم. وفيما عدا ما نشر عن الفوسفات $K_3CaH(PO_4)_2$ Frazier (1962) لم تنشر المراجع إلى أي مركب فوسفاتي يحتوي البوتاسيوم والمغنيسيوم إلا المركب الذي حضره Rose عام 1849 بطري جافة Pascal (1952) [14، 8]

بناءً على ما تقدم، فإن هذا البحث يهدف إلى تحديد الطور الفوسفاتي المغنيزي الأولي المولد للفوسفات ثلاثية المغنيسيوم، ودراسة خواصه الفيزيائية والكيميائية.

2. ليل والطرق والأجهزة المستخدمة

1.2

استخدمنا في هذا البحث المواد الكيميائية التالية:
- فوسفة البوتاسيوم المائية



- خلاط المغنيسيوم المائية



- هيدروكسيد البوتاسيوم KOH

- كربونات المغنيسيوم $MgCO_3$

- فوسفات أحادية البوتاسيوم KH_2PO_4

- ماء مقطر H_2O

2.2 التحاليل المنفذة والطرق المتبعة

لقد اتبعت الطرق المبينة أدناه عند تعيين كل من المواد التالية (جدول 2) [13، 11]

ول 2. طرق التحليل المتبعة

نوع التحليل	الطريقة	الجهاز
P_2O_5 الذائب	Joret–Hebert	Colorimètre
P_2O_5 الكلي	Attaque nitrique	Colorimètre
الكربونات الكلية	Calcimètre	Calcimètre de Bernard
البوتاسيوم	Spec. photom. de Flamme	Flamme photomètre
السيوم ومغنيزيوم	O.R.S.T.O.M.	Absorption atomique
الاستقرار الحراري	Thermogravimétrique	Thermo-Balance
التحليل البنيوي	Debye–Scherrer	Diff. R.X.

إن هذه المجموعة من الخطوط لا تماثل ولا تشابه خطوط أي طيف لأي فوسفات بوتاسية أو مغنيزية أو بوتاسية معروفة، وعليه فإن الملح الذي حصلنا عليه عبارة عن مادة جديدة لم تحدد هويتها من قبل.

2.4 التركيب الكيميائي لنواتج التفاعل

للتعمق في دراسة نواتج التفاعلات السابقة، أخذنا عينة من هذه النواتج حضرت حسب الطريقة الثالثة وغسلت بقليل من الماء المقطر، ثم بالأسيتون وجففت على درجة 25 مئوي، وتم تحليلها كيميائياً فحصلنا على النتائج التالية:

$$PO_4 = 36,80 \%$$

$$Mg = 8,05 \%$$

$$K = 14,40 \%$$

هذه النتائج تسمح لنا بحساب العلاقة الأيونية النسبية لمكونات هذا الملح التي وجدنا أن قيمها كالتالي:

$$\frac{K}{Mg} = 1,12 : \frac{K}{PO_4} = 0,97 : \frac{Mg}{PO_4} = 0,87$$

إن قيمة الأيونات المعاييرة هي **59,25%** وعليه فإن الفرق بين **100%** وقيمة الأيونات المعاييرة هو **40,75%** تقريباً، وهذا الفرق يمثل ماء الإماهة وهيدروجين شوارد الفوسفات.

تبين نتائج التحليل الكيميائي والعلاقات الأيونية بين مكونات الملح المدروس أن هذا الملح عبارة عن فوسفات مزدوجة للبوتاسيوم والمغنيسيوم تحتوي على ست جزيئات ماء، صيغتها $KMgPO_4 \cdot 6H_2O$ ، كما أن القيم النسبية لمكوناتها هي:

$$H_2O=406\%, K=146\%, Mg=9,1\%, PO_4=3571\%$$

نلاحظ مما تقدم أن القيم التي حصلنا عليها متقاربة جداً مع القيم المحسوبة للفوسفات $KMgPO_4 \cdot 6H_2O$ وهذا يعني أننا حصلنا على نفس الفوسفات التي لم ينشر عنها أي شيء حتى تاريخه.

3.4

$KMgPO_4 \cdot 6H_2O$

تمت دراسة التطور والاستقرار الحراري لهذه الفوسفات بالتحليل **Thermogravimétrique** باستعمال جهاز **Thermo-balance**. لقد استخدمنا لهذا الغرض عينات بوزن 100 ملغرام سخنت حتى 1250 درجة مئوية بمعدل 50 أو 125 درجة

4.3 – اتبعنا في هذه الطريقة نفس خطوات الطريقة (3:3) لكن دون إضافة هيدروكسيد البوتاسيوم فحصلنا على أملاح بيضاء صلبة مماثلة تماماً لنواتج الطريقة (3:3).

5.3 – في هذه الطريقة درسنا أثر الفوسفات أحادية البوتاسيوم على كربونات المغنيسيوم، فحصلنا على نتائج مغايرة كلياً لما حصلنا عليه في الطرق السابقة.

4

1.4 تطور الهلامة الفوسفاتية

تبين لنا بالتجربة أن الفوسفات ثنائية البوتاسيوم تتفاعل مع خلات المغنيسيوم، وينتج عن هذا التفاعل كتلة هلامية ضعيفة اللزوجة بوجود هيدروكسيد البوتاسيوم (الطريقة الأولى) وأكثر لزوجة في غياب هيدروكسيد البوتاسيوم (الطريقة الثانية). كما تبين لنا أيضاً أن الفوسفات ثنائية البوتاسيوم تتفاعل مع كربونات المغنيسيوم وينتج عن التفاعل ملح جيد التبلى.

إن الهلامة الفوسفاتية التي حصلنا عليها بالطريقة الأولى والثانية لا تتبلى أبداً طالما بقيت في المحلول الأم، هذه الهلامة الناتجة عن تفاعلات الطريقة الأولى والثانية إذا ما وضعت في الماء المقطر لمدة ثلاث ساعات فإنها تتطور بسرعة وتتشكل مادة صلبة جيدة التبلى، ولقد بين التحليل البنيوي بالأشعة السينية لمساحيق الهلامة بعد بلورتها أنها متماثلة (الطريقة الأولى والثانية) وأنها تماثل تماماً النواتج التي حصلنا عليها من مفاعلة الفوسفات ثنائية البوتاسيوم مع كربونات المغنيسيوم (الطريقة الثالثة والرابعة). وتبين فيما يلي مواصفات طيف الأشعة السينية لهذه النواتج.

3.

$d(A^\circ)$	I/I_0	$d(A^\circ)$	I/I_0
5,840	f	2,371	m
5,534	m	2,321	m
4,583	m	2,238	m
4,240	tf	2,106	f
4,104	f	2,040	f
3,424	m	1,996	m
3,255	f	1,947	m
2,976	f	1,853	m
2,893	tf	1,789	m
2,771	f	1,773	m
2,690	f	1,733	m
2,636	f	1,718	m
2,506	m		

تتفق مواصفات هذا المخطط تمامًا مع مواصفات مخطط الأشعة السينية للفوسفات المسخنة على درجة 410 مئوي، كما وتتفق نتائج التحليل الكيميائي للملح المسخن على درجة 410 مئوي مع نفس الملح المسخن على درجة 1250 مئوي، ونبين فيما يلي نتائج التحليل الكيميائي للفوسفات المسخنة على درجة 410 مئوي:

$$\begin{aligned} \text{PO}_4 &= 24,30 \% \\ \text{Mg} &= 14,00 \% \\ \text{K} &= 61,53 \% \end{aligned}$$

وتتفق هذه النتائج مع النتائج المحسوبة للفوسفات KMgPO_4 التي هي:

$$\text{K} = 24,6 \% : \text{Mg} = 15,3 \% : \text{PO}_4 = 60,00 \%$$

إذن الفوسفات المائية $\text{KMgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ تتحول بالتسخين إلى KMgPO_4 وهي الشكل المستقر للفوسفات المزدوجة لليوتاسيوم والمغنزيوم على درجات الحرارة المرتفعة.

لقد تبين لنا أن تسخين الفوسفات $\text{KMgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ما بين درجة 105 و 110 مئوي يعمل على تحويل البناء المتبلر لهذا الملح إلى بناء غير متبلر، ولتحديد نسب مكونات الملح غير المتبلر، أجرينا التحليل الكيميائي على عينة من هذا الملح المسخن على درجة 105 مئوي فحصلنا على النتائج التالية:

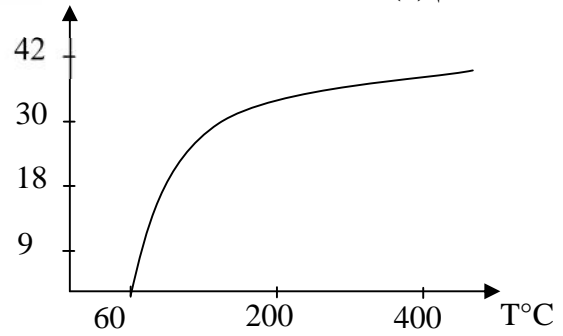
$$\text{K} = 21,8 : \text{Mg} = 12,22 : \text{PO}_4 = 53,52$$

وهذا الملح عبارة عن فوسفات مزدوجة لليوتاسيوم والمغنزيوم المائية في طريقها لتحرير ما بها من ماء التبلر لتشكل الفوسفات المزدوجة لليوتاسيوم والمغنزيوم اللامائية، وذلك لأن العلاقة الأيونية بين مكونات الطور عديم التبلر هي:

$$\frac{\text{K}}{\text{Mg}} = 1,11 : \frac{\text{K}}{\text{PO}_4} = 0,99 : \frac{\text{Mg}}{\text{PO}_4} = 0,89$$

وهذه القيم مماثلة للقيم الخاصة $\text{KMgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ إن تشكل الطور اللامتبلر نتج عن تخريب الشبكة البلورية للملح بسبب فقد جزيئات الماء وأن إعادة بناء الشبكة البلورية في الملح اللامائي لا يتم إلا بعد تأمين طاقة حرارية عالية. يتحول الملح اللامتبلر عند تسخينه على درجة 350 مئوي إلى ملح متبلر، مواصفات مخطط أشعته السينية يختلف عما وجدناه بالنسبة للفوسفات KMgPO_4 والفوسفات

مئوية/ساعة، والنتائج التي حصلنا عليها نوضحها في الشكل رقم (1).



1. الاستقرار الحراري للفوسفات

يبين الشكل رقم (1) أن الفوسفات $\text{KMgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ تبدأ بالتفكك عند الدرجة 80 مئوي ويتسارع هذا الفقد حتى الدرجة 130 مئوي ثم يأخذ بالتباطؤ حتى الدرجة 410 مئوي، حيث تستقر المادة فلا يحصل أي تغيير في طبيعتها رغم التسخين حتى الدرجة 1250 مئوي.

لقد بلغ الفقد من وزن العينة المدروسة 40,5 وهو يمثل ماء الإماهة، وتتفق هذه القيمة مع ما بينه التحليل الكيميائي لهذا الملح وهو 40,7. بين التحليل النيوي بالأشعة السينية لعينة من الفوسفات $\text{KMgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ سخنت حتى الدرجة 1250 مئوي أن خطوط الطيف تختلف عن خطوط طيف الفوسفات قبل التسخين، ونبين فيما يلي مواصفات مخطط الأشعة السينية للفوسفات المسخنة على الدرجة 1250 مئوي.

4. 1250°C

$d(\text{Å}^\circ)$	I/I_0	$d(\text{Å}^\circ)$	I/I_0
6,320	f	2,273	f
4,491	f	2,230	f
4,246	f	2,137	m
4,082	f	2,099	m
3,822	f	1,961	tf
3,615	tf	1,931	m
3,240	f	1,897	f
3,172	f	1,857	m
3,102	tf	1,797	tf
3,055	f	1,773	tf
2,928	f	1,733	f
2,728	f	1,689	f
2,672	m	1,654	tf
2,533	f	1,634	tf
2,459	f	1,598	tf
2,405	m	1,586	tf

$Mg_3(PO_4)_2$ ، هذه الأخيرة لا بدّ وأنها تطورت اعتباراً من ملح مغنيزي لم تشر إليه الأشعة السينية لأنه غير متبلر.

عليه: فإن هدف هذا البحث هو تحضير الطور الأولي غير المتبلر المولد للفوسفات ثلاثية المغنيزيوم وتحديد هويته وخواصه.

لقد تمكنا من تحضير الطور الأولي المولد للفوسفات ثلاثية المغنيزيوم، فحصلنا حسب الطريقة [المتبعة على ملح متبلر أو على هلامات غروية قابلة للتبلر عند معاملتها بالماء المقطر.

بين التحليل البنيوي والتحليل الكيميائي لنواتج التفاعلات أنها تتكون من الفوسفات المزدوجة للبيوتاسيوم والمغنيزيوم المائية التي لم يسبق أن أُشير أو نشر عنها أي شيء منذ عام 1883.

لقد درسنا الاستقرار الحراري لهذا الملح الجديد، كما درسنا بواسطة الأشعة السينية والتحليل الكيميائية طبيعة المواد الناتجة عن تسخين الفوسفات $KMgPO_4 \cdot 6H_2O$ على درجات حرارة مختلفة فوجدنا: أن هذه الفوسفات تحتوي 40,5% من وزنها ماء، وأنها تتحول عند الدرجة 105 مئوي إلى ملح عديم التبلر يعود ويتبلر من جديد عند حصوله على طاقة حرارية أعلى، وتفقد الفوسفات $KMgPO_4 \cdot 6H_2O$ كامل محتواها من الماء عند الدرجة 410 مئوي لتكون الفوسفات $KMgPO_4$ التي لا يطرأ عليها أي تغيير حتى عند التسخين على درجة (1250) مئوي.

[1] B. Dibbe, *Les carbonates des sols calcaires et leur comportement en présence de phosphates de potassium*, thèse, Université de Rennes, 1973.

[2] G. Aubert, C.Guillemin et R. Pierrot, *Précis de minéralogie*, Masson, Paris, 1978.

[3] A. Parfenoff C. Pomerol et J. Tourenq, *Les minéraux en grains méthodes d'études et détermination*, Masson, Paris, 1970.

[4] A.M. Bateman, *The formation of mineral deposits*, New York : John Wiley

$KMgPO_4 \cdot 6H_2O$

جدول 5. مواصفات مسحوق الفوسفات عند درجة 350°C

d(A°)	I/I ₀	d(A°)	I/I ₀
6,210	m	2,067	m
4,548	m	2,012	m
4,277	f	1,931	m
4,018	f	1,893	m
3,189	f	1,765	f
3,102	tf	1,679	f
3,000	tf	1,601	f
2,837	m	1,531	f
2,708	m	1,519	f
2,627	tf	1,463	f
2,411	m	1,428	f
2,279	tf	1,421	f
2,203	m	1,251	f
2,184	f	1,212	f
2,137	m	1,186	f

لقد وجدنا أن نسب مكونات الفوسفات الناتجة عن التسخين على درجة 350 مئوي مماثلة لنسب مكونات الفوسفات الناتجة عن التسخين على درجة 1250 مئوي، ونعتقد في هذا المجال أن الفوسفات الناتجة عن التسخين على درجة 350 مئوي نوع من الفوسفات الذي يتطور بزيادة درجة الحرارة ليعطي الفوسفات التي حضرها روز Rose من مفاعلة بيروفوسفات المغنيزيوم مع كربونات البيوتاسيوم.

: 5.

بين التحليل البنيوي بالأشعة السينية أن نواتج تفاعل الفوسفات ثنائية البيوتاسيوم K_2HPO_4 مع دولوميت $CaMg(CO_2)$ الترب الكلسية عبارة عن فوسفات مزدوجة للبيوتاسيوم والكالسيوم $K_3CaH(PO_4)_2$ والفوسفات ثنائية الكالسيوم $CaHPO_4$ وكربونات البيوتاسيوم K_2CO_3 .

وفي هذا المجال لم تشر الأشعة السينية إلى وجود أي ملح مغنيزي في النواتج الأولية للتفاعل. لقد وجدنا أن معاملة النواتج الأولية للتفاعل بكميات وافرة من الماء المقطر يعمل على إزالة كل المركبات السابقة وظهور كل من البيروكسيل أبائيت $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ والفوسفات ثلاثية المغنيزيوم

de Doctorat, Gand, Belgique, 1974.

- [10] U.S.D.A., *Supplement to soil classification system (7th approximation)*, Soil Survey Staff, Soil Conservation Service, Washington, multigr, p. 207.
- [11] B. Dekkiche, *Caractéristique micromorphologie de quelques sols du R. MEL*, semaine de micromorphologie du sol, I.N.A. Alger, 1983.
- [12] Ph. Duchaufour, *Précis de pédologie*, 3^{ème} éd., Masson et Cie. Paris, 1970.
- [13] FAO, *Soil survey investigation for irrigation*, soil bulletin n°24, Rome, 1979, p. 31-32.
- [14] F. Kurdi et B. Dibbe, *Fundamentals in soil chemistry and fertility*, Publication of University of Damascus, 1977.
- [15] A.X. Frazier, J.P. Smith, J.R. Lehr et W.E. Brown, *Inor. Chim.*, Vol. 1, n°4, 1962, p. 949-951.
- [16] بديع ديب، الخصوبة وتغذية النبات، مطبعة ابن حيان، دمشق – سورية، 1986.
- and sons, London : Chapman and Hall, 1951.
- [5] M. Pouget, *Contribution à l'étude des croûtes et encroûtements gypseux de nappe dans le sud tunisien*, Cah. ORSTOM, série pédologie Vol. VI N°3-4, p. 309-366.
- [6] J. Vieilleron, *Contribution à l'amélioration de l'étude analytique des sols gypseux*, Cah. ORSTOM, série pédologie, Vol. XVII N°3, 1979, p. 195-221.
- [7] W.D. Kemper, J. Olsen et C.J. Demoooy, *Dissolution rate of gypsum in flowing water*, Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 39, 1975, p. 458-463.
- [8] OM. Mousli, *Evaluation and classification of gypsiferous soils and their suitability for irrigated agriculture*, Report of an export consultation, FAO, Roma, 27 february – 2 march 1979, p. 106-165.
- [9] B. Dekkiche, *Contribution à l'étude des sols du Hodna et corrélation géochimique des eaux de la nappe*, Thèse

Teneurs en Plomb, Cadmium, Mercure et Zinc relevées dans la chair de la moule, *Perna perna*, dans le littoral d'Annaba

Bourhane Eddine Belabed, Aicha Djabourabi et Mourad Bensouilah

Laboratoire d'Ecobiologie des Milieux Marins et Littoraux,
Faculté des Sciences, Université Badji Mokhtar, BP 12, Annaba 23000, Algérie.

Accepté le 12/06/2008

يهدف هذا العمل تقييم أهمية تأثير ثنائيات الصدفية في خليج عنابة. تحليل المعادن الثقيلة الموجودة في لحم ثنائيات الصدفية بواسطة (SAA) (جهاز التحليل الضوئي ذو الامتصاص الذري). أثبتت المعطيات المتحصل عليها أن توزيع بعض المعادن الثقيلة : (Zn, Pb, Cd, Hg) في خليج عنابة يتبع اتجاه من الشرق إلى الغرب ، ما يفسر أهمية ما يصب كما ونوعا من واد السيبوس وما يلقي في البحر من طرف أسميدال، إضافة إلى حركة المياه ، طبيعة الراسب وبعض العوامل الفيزيوكيميائية لمياه الخليج . نتائج التحاليل التي أجريت على لحم ثنائيات الصدفية (Moule) : المأخوذة من نقاط مختلفة من خليج عنابة أظهرت توزع موضوعي للمعادن الثقيلة حسب الترتيب من الشرق إلى الغرب حيث يزيد مع زيادة السيول في الفصول الرطبة. جميع معدلات المعادن الثقيلة لا تفوق معدلات المعايير الجزائرية والدولية. هذه الاختلافات في المعدلات بين المناطق الموجودة في الخليج وخارج الخليج تبين بوضوح المصدر الناتج عن النشاط البشري و الصناعي و الذي يأتي عن طريق واد السيبوس ومياه الصرف.

الكلمات المفتاحية: الراسب؛ خليج عنابة؛ النشاط البشري و الصناعي.

Résumé

Ce travail porte sur le dosage de 4 métaux lourds (Zn, Pb, Cd, Hg) dans la chair de moules *Perna perna* récoltées à partir de 3 stations situées dans le golfe à proximité de rejets de type urbain, industriel, agricole, et d'une quatrième station localisée hors du golfe et loin de tout rejet. L'échantillonnage des moules a été réalisé en période printanière, estivale et automnale. Pour le dosage des métaux il a été utilisé la spectrophotométrie par absorption atomique à flamme. Les résultats de l'étude de la distribution spatiale des métaux lourds dosés montrent l'existence d'un gradient décroissant d'Est en Ouest déterminé par l'importance des apports en contaminants métalliques que les divers rejets charrient vers la mer. Il a été noté, en effet, que c'est dans la chair de moules *Perna perna* prélevées à l'Est de la zone d'étude, à proximité des sources de contaminants les plus importantes, que les teneurs en Cadmium, mercure, plomb et zinc, sont les plus élevées. En ce qui concerne la période de prélèvement, il a été constaté que dans l'ensemble des 4 stations, c'est dans la chair de moules *Perna perna* prélevées en novembre que les teneurs en métaux lourds dosés sont les plus élevées. L'enrichissement en métaux lourds de la chair de moules *Perna perna*, au cours de la saison humide et pluvieuse, serait probablement engendré par l'augmentation des charges polluantes métalliques dans les eaux de ruissellement des premières crues. L'analyse statistique des données montre, selon le métal considéré, l'existence de différences significatives à très significatives, entre les stations et les périodes d'échantillonnage.

Mots clés : plomb; cadmium; mercure; zinc; littoral d'Annaba; moules; teneurs en métaux lourds; *Perna perna*.

Abstract

The aim of the work is to evaluate the proportioning of 4 heavy metals (Zn, Pb, Cd, Hg) in the flesh of mussels *Perna perna*. The sampling of the mussels *Perna perna* was carried out in spring, summer and autumnal period collected from 3 stations located in the gulf near rejections (urban, industrial, agricultural) and from a fourth station located out of the gulf and far from any rejection. For the proportioning study of metals we used by absorption atomic spectrophotometry. The results of the spatial distribution these heavy metals reveal a decrease in content in heavy metals from East: Sidi Salem situated in the West to the last station which situated in the West. This fact is explained by the various rejections from industrial, urban and domestic sources and carried towards the sea. It was noted, in the flesh of mussels *Perna perna* taken in the East of the zone of study, near the most significant sources of contaminants. The heavy metals are Cadmium, mercury, lead and zinc contents highest. With regard to the period were the prospection in all 4 stations, it

Auteur correspondant: bourhanelabedmarine@yahoo.fr (Bourhane Eddine Belabed)

was the flesh of mussels *Perna perna* taken in November that the contents of proportioned heavy metals were highest. Enrichment of heavy metals of the flesh of mussels *Perna perna*, during the rainy season, would be probably generated by the increase in the metal polluting loads in surface waters. The statistical analysis of the data showed the existence of significant differences between the stations and the periods.

Key words: Lead; Cadmium; Mercury; Zinc; littoral of Annaba; mussels; Contents of heavy metals; *Perna perna*.

1. INTRODUCTION

Si les métaux sont souvent indispensables au déroulement des processus biologiques (oligo-éléments), nombre d'entre eux peuvent s'avérer contaminants pour diverses formes de vie, lorsque leur concentration dépasse un seuil, lui-même fonction de l'état physico-chimique (spéciation) de l'élément considéré. C'est le cas du fer (Fe), du cuivre (Cu), du zinc (Zn), du nickel (Ni), du cobalt (Co), du vanadium (V), du sélénium (Se), du molybdène (Mo), du manganèse (Mn), du chrome (Cr), de l'arsenic (As) et du titane (Ti)[1]. D'autres éléments traces tel que le mercure (Hg), le plomb (Pb), le cadmium (Cd) et l'antimoine (Sb) ne sont pas nécessaires à la vie et peuvent lui être préjudiciables [2]. Enfin, ils représentent un danger potentiel pour le consommateur de produits marins du fait de leur possibilité de concentration dans les espèces marines, de leur élimination difficile et de leur large répartition dans le milieu aquatique. Lorsque de faibles quantités du métal ou de ses sels solubles dans les graisses (tel le méthyl-mercure) sont ingérées de façon répétitive sur de longues périodes, un empoisonnement chronique au mercure se produit chez l'homme [3].

Les mollusques bivalves sont d'excellents capteurs des polluants métalliques; ces derniers se concentrent sur les organes d'assimilation (équivalents foie et reins), qui sont précisément ce que l'homme mange. Ils accumulent surtout le cadmium et dans une moindre mesure le plomb, mais peu le mercure. Ainsi, le suivi de la contamination côtière par les métaux, au moyen du bivalve est de

pratique courante dans de nombreux programmes de surveillance à travers le monde.

Pour cela nous avons dosé les teneurs de 4 métaux lourds (Pb, Hg, Cd, Zn,) dans la chair de moules récoltées à partir de divers sites du littoral d'Annaba et à différentes périodes de l'année, afin de déterminer l'implication des divers rejets (industriels, urbains et agricoles) dont le golfe et le réceptacle dans le processus de contamination des moules qui peuplent le littoral d'Annaba.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'état de santé du golfe d'Annaba à travers l'espèce bio-indicatrice de pollution *Perna perna*. Ce dernier est exposé à divers polluants de différentes origines. [4,5]

En effet, elle est proposée comme espèce sentinelle dans les programmes de bio surveillance de la contamination des cotes ; *Perna perna* espèce utilisé comme un excellent bio indicateur de la pollution marine, vu sa grande capacité d'accumulation de métaux lourds.

2. MATERIEL et METHODES

2.1 Présentation des stations

Le golfe d'Annaba est limité à l'Est par le cap Rosa (8° 15'E et 36° 58'N) et à l'ouest par le cap de garde (7° 47'E et 36° 58'N) ; la distance séparant les deux caps est d'environ 21,5 milles (40 km), la profondeur maximale des eaux est égale à 65 mètres. Du point de vue

sédimentologique, le fond marin débute généralement par du sable fin dans le secteur Ouest puis ce sable se mélange avec de la vase fine dans le secteur Est. Les courants dans le golfe d'Annaba présentent, à l'ouverture du golfe, après le Cap de Garde, une circulation orientée d'Ouest en Est avec des vitesses fluctuantes selon les saisons pouvant atteindre de 0.5 à 1 m/s. Ce courant décolle de la face Sud Est du Cap de Garde en direction de l'embouchure de l'oued Mafrag.

Dans le golfe se jettent essentiellement deux oueds : Seybouse et Mafrag qui charrient les eaux de pluie et les eaux des rejets urbains, industriels et agricoles. Le golfe d'Annaba reçoit, par ailleurs, d'autres émissaires en provenance des usines de fabrication d'engrais et de matières grasses et de rejets domestiques.

Les stations échantillonnées sont situées dans la partie Ouest du golfe, à proximité de la ville d'Annaba (fig.1). Le bivalve utilisé pour la réalisation de cette étude est l'espèce *Perna perna*. Dans chaque station nous avons réalisé 5 prélèvements de moules : 3 en période sèche « mai, août et octobre » et 2 en période humide « novembre et janvier ». Les 4 stations sont situées dans la partie Ouest du golfe:

Dans le cadre de cette étude nous avons pris en compte quelques caractéristiques du matériel biologique : la taille, teneur en eau, et récolté aléatoirement, et indépendamment du sexe. (Durant 28-05-05, 27-08-05, 29-10-05, 26-11-05 et 28-01-06)

- Station 1 « Sidi Salem » (N 36° 52' 02'' . E 007° 46' 26.6'') : elle est située sur la partie Est de la zone d'étude, à proximité de l'embouchure de l'oued Seybouse et de l'ensemble des rejets industriels (émissaire de l'usine de fabrication de fertilisants) et urbains

(émissaire du « Bejima » qui draine toute la plaine Ouest de la ville d'Annaba);

- Station 2 « Lever de l'aurore » (N 36° 55' 55 4'' . E 007° 45' 24 9'') : elle se trouve à proximité du port et reçoit des rejets urbains.

- Station 3 « Saint Cloud » (N 36° 55' 22 2'' . E 007° 45' 50 2'') : elle reçoit plusieurs égouts qui charrient des « rejets domestiques »

- Station 4 « La kyenne » (N 36° 58' 02'' . E 007° 46' 24'') : elle est localisée au Nord-Ouest de la ville d'Annaba à l'extérieur du golfe en dehors de la zone urbanisée; elle est par ailleurs soumise à une courantologie différente de celle régnant dans les 3 autres stations.

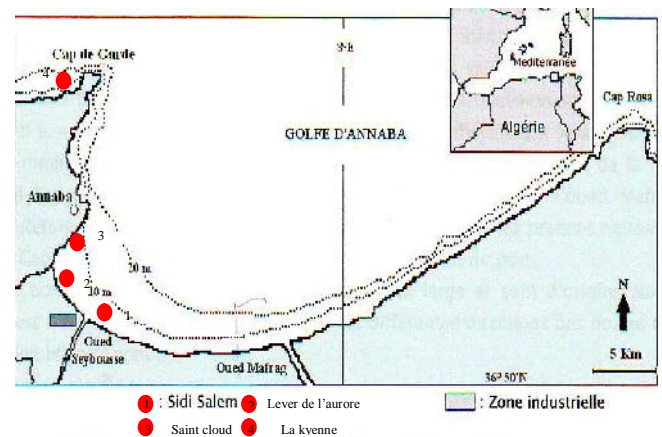


Figure 1 : Position géographique du golfe d'Annaba et sites d'échantillonnage.

Figure 1. image satellitaire montrant les stations d'étude.

2.2 Traitement des moules récoltées

Les moules utilisées sont adultes matures et taille marchande. La taille et le poids moyen des échantillons sont de $38,6 \pm 1,4$ mm et de $10,4 \pm 1,2$ g. Elles sont prélevées à la main à partir des rochers sur lesquels elles étaient fixées. La collecte des moules c'est effectuée de 0 à 10 mètre de profondeur

Les bivalves prélevés sont mis dans un sac plastique que l'on place dans une glacière à 4°C.

2.3 Analyse chimique :

La minéralisation est effectuée suivant la méthode de [6] ou 0,5 g de poids sec (p.s) d'échantillon provenant de l'homogénéat de toute la partie molle d'une moule est mis dans un creuset auquel on ajoute de l'acide nitrique est porté à une température de 95°C. Après refroidissement on ajuste le contenu par de l'eau bi distillée. La solution obtenue et dosée par spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme.

Cette minéralisation des échantillons est accompagnée, d'une part, par celle des blancs (solutions contenant que de l'acide nitrique), et d'autres parts par des échantillons standards (thon de méditerrané code 350 livré par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique "AIEA").

Il a été utilisé un spectrophotomètre d'absorption atomique (type AA 680 Shimadzu) à flamme ou à four graphite. Avec calculateur intégré pour le traitement des résultats. Les éléments quantifiés sont le plomb, le zinc, le cadmium et le mercure. Le plomb, le cadmium et le zinc : les dosages sont réalisés par spectrophotomètre d'absorption atomique four graphite (Cd & Pb) ou flamme (Zn) suivant la concentration de l'élément a analysé suivant la méthode UNEP/IAEA/ FAO (1984)

Pour le mercure : le dosage est effectué selon la méthode IAEA/UNEP (1984) par fluorescence atomique après formation de vapeurs froides en présence de chlorure stanneux [7]. La précision des méthodes analytiques utilisées pour les métaux se situe entre 5% et 10%.

3.4 Traitements statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel STATISTICA.

L'analyse de la variance à deux critères de classification (station et saison) permet de tester l'homogénéité des teneurs en métaux lourds des échantillons classés en fonction des stations et des saisons. Les différences sont significativement différentes. L'appréciation est observée en fonction de la valeur de p. si $p \geq 0,05$: il n'existe pas de différences significatives (NS) si $p \leq 0,05^*$ il existe des différences significatives. Si $p \leq 0,01^{**}$ il existe des différences hautement significatives, si $p \leq 0,001^{***}$ il existe des différences très hautement significatives

3. RÉSULTATS

3.1 Evolution des teneurs en métaux lourds dans la chair de moules

3.1.1 Plomb

▪ La distribution des teneurs en plomb suit un gradient décroissant d'Est en Ouest ; Les teneurs en plomb contenues dans la chair de moules de la station 1 sont 2 à 3 fois plus élevées que celles relevées dans les stations 2 et 3 ; elles sont, par ailleurs, 50 fois plus élevées que dans la station 4 (fig. 2).

Tableau 1. Evolution des teneurs (en $mg.kg^{-1}$ de poids sec) en plomb relevées dans la chair de moules prélevées dans les 4 stations.

Stations	St1	St2	St3	St4
Prélèvement du 28-05-05	1,50	0,70	0,50	0,03
Prélèvement du 27-08-05	1,60	0,75	0,52	0,03
Prélèvement du 29-10-05	1,70	0,80	0,56	0,03
Prélèvement du 26-11-05	1,90	0,90	0,70	0,03
Prélèvement du 28-01-06	1,70	0,80	0,60	0,03
Moyenne N=5 écart type	1, 68 ±	0, 79 ±	0,5 76 ±	0,03 ± 0,00

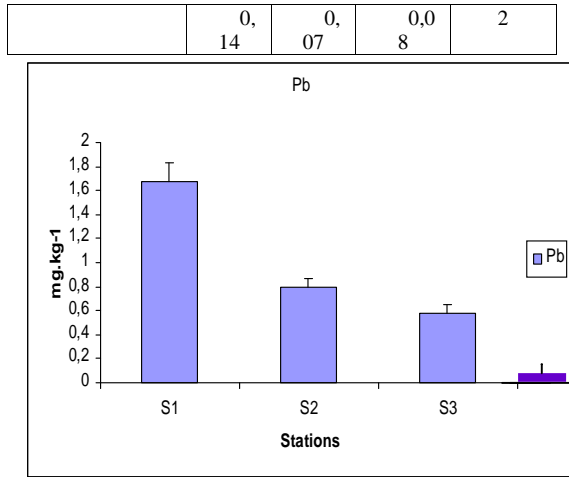


Figure 2. Distribution des teneurs moyennes (en mg.kg⁻¹ de poids sec) en plomb dans la chair de moules prélevées dans les 4 stations.

▪ Nous relevons, par ailleurs, que dans l'ensemble des 4 stations, c'est dans la chair de moules prélevées en novembre que les teneurs en plomb sont les plus élevées (tab.1).

▪ L'analyse statistique fait apparaître l'existence d'une différence « très hautement significative » des teneurs en plomb d'une station à une autre ; cette différence est « très significative » entre les saisons.

Tableau 2. Résultat de l'AV₂ montrant le niveau de significativité pour le Plomb

	f	P
Station	435.80	0.000***
Saison	10.07	0.006**

3.1.2 Mercure

▪ Les teneurs maximales en mercure sont relevées dans la station 1 ou les valeurs notées sont 7, 8 et 13 fois plus élevées que celles relevées respectivement dans les stations 4, 2 et 3 (fig. 3).

▪ Par ailleurs, c'est toujours en novembre que les teneurs en mercure les plus élevées sont relevées dans l'ensemble des stations (tab.3).

▪ Nos données statistiques, concernant les teneurs en mercure, montrent l'existence d'une différence « très hautement significative » d'une station à une autre mais l'absence de différence entre les saisons.

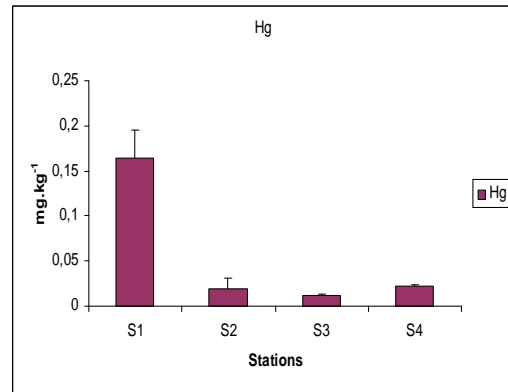


Figure 3. Distribution des teneurs moyennes (en mg.kg⁻¹ de poids sec) en mercure relevées dans la chair de moules prélevées dans les 4 stations.

Tableau 3. Evolution des teneurs (en mg.kg⁻¹ de poids sec) en mercure relevées dans la chair de moules prélevées dans les 4 stations.

stations	St1	St2	St3	St4
Prélèvement du 28-05-05	0,14	0,01	0,01	0,02
Prélèvement du 27-08-05	0,15	0,012	0,01	0,02
Prélèvement du 29-10-05	0,16	0,02	0,01	0,02
Prélèvement du 26-11-05	0,22	0,04	0,01	0,02
Prélèvement du 28-01-06	0,15	0,01	0,01	0,02
Moyenne N=5	0,16	0,02	0,01	0,02
écart type	± 0,03	± 0,01	± 0,001	± 0,001

Tableau 4. Résultat de l'AV₂ montrant le niveau de significativité pour le mercure

	f	p
station	102.09	0.000***
saison	3.06	0.100

3.1.3 Cadmium

La distribution du cadmium suit un gradient décroissant d'Est en Ouest ; Les moules de la station 1 montrent une teneur moyenne en cadmium 463 fois plus importante que celle relevée dans la chair de moules de la station 4; ces teneurs baissent de moitié dans les stations 2 et 3 (fig.4)

Les teneurs maximales en cadmium sont relevées, dans l'ensemble des stations échantillonnées, en novembre (tab. 5).

Tableau 5. Evolution des teneurs (en $mg.kg^{-1}$ de poids sec) en cadmium relevées dans la chair de moules prélevées dans les 4 stations.

Stations	St1	St2	St3	St4
Prélèvement du 28-05-05	0,40	0,20	0,20	0,001
Prélèvement du 27-08-05	0,45	0,22	0,20	0,001
Prélèvement du 29-10-05	0,50	0,22	0,23	0,0013
Prélèvement du 26-11-05	0,70	0,25	0,24	0,0015
Prélèvement du 28-01-06	0,50	0,22	0,22	0,0011
Moyenne N=5	± 0,51	± 0,22	± 0,22	± 0,001
écart type	0,11	0,017	0,02	0,0002

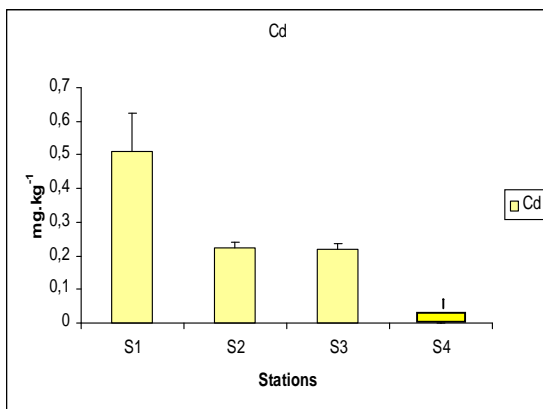


Figure 4. Distribution des teneurs moyennes ($mg.kg^{-1}$ de poids sec) en

cadmium relevées dans la chair de moules prélevées dans les 4 stations.

L'analyse statistique révèle, en ce qui concerne les teneurs en cadmium, l'existence d'une différence « très hautement significative » et « significative » d'une station à une autre et d'une saison à l'autre respectivement.

Tableau 6. Résultat de l'AV₂ montrant le niveau de significativité pour le cadmium

	f	P
station	49.86	0.000***
saison	4.48	0.051**

3.1.4 Zinc

Dans la station 1, les teneurs en zinc sont 2 à 3 fois plus élevées que celles relevées dans les 3 autres stations (fig. 5).

Tableau 7. Evolution des teneurs (en mg/kg^{-1} de poids sec) en zinc relevées dans la chair de moules prélevées dans les 4 stations.

Stations	St1	St2	St3	St4
Prélèvement du 28-05-05	35	15	18	12
Prélèvement du 27-08-05	36	15	18	13
Prélèvement du 29-10-05	36,50	16	18,5	13
Prélèvement du 26-11-05	36	17	19	14
Prélèvement du 28-01-06	36	16	18,50	13,50
Moyenne N=5	± 35,90	± 15,80	± 18,4	± 13,1
écart type	0,54	0,83	0,42	0,74

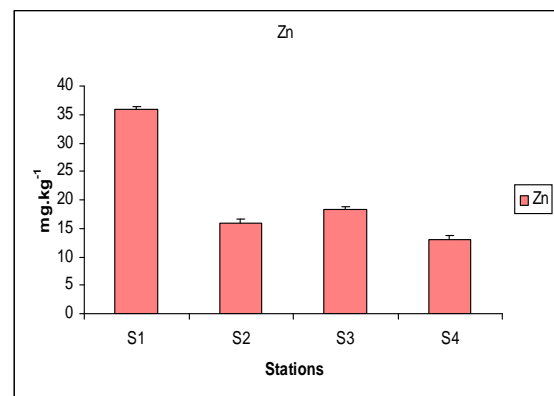


Figure 5. Distribution des teneurs moyennes ($mg.kg^{-1}$ de poids sec) en zinc

relevées dans la chair de moules prélevées dans les 4 stations.

- C'est en novembre que dans l'ensemble des stations les teneurs maximales en zinc sont relevées (tab.4).

- Les données statistiques montrent que les teneurs en zinc diffèrent d'une station à une autre d'une manière « très hautement significative » ; mais cette différence est « très significative » d'une saison à l'autre.

Tableau 8. Résultat de l'AV₂ montrant le niveau de significativité pour le zinc

	f	p
Station	1893.21	0.000***
Saison	9.64	0.007**

4. DISCUSSION

Les résultats des dosages réalisés à partir de chair de moules prélevées de divers points du littoral font apparaître que les teneurs en métaux lourds présentent une distribution variable aussi bien en fonction du site qu'en fonction de la période de prélèvement.

Les teneurs en plomb, relevées dans la chair de moules peuplant le littoral d'Annaba, sont réparties selon un gradient décroissant d'Est en Ouest ; la teneur maximale est relevée à l'Est à proximité de l'embouchure de l'Oued Seybouse et les autres rejets (industriels et urbains) ; mais c'est hors du golfe (station 4) que la teneur minimale en plomb est notée. Les niveaux en plomb relevés dans la présente étude restent inférieurs aux normes Algériennes [8] fixant la teneur maximale en plomb dans les bivalves à 5 mg/kg de poids sec. Des niveaux assez élevés sont rapportés en méditerranée française, ou des valeurs extrêmes sont rapportées dans la rade de Toulon (5,4 mg/kg p.s.) et à un degré moindre à Marseille

En ce qui concerne le mercure les teneurs maximales sont relevées dans la chair de moules de la station 1 ; mais les valeurs trouvées restent inférieures aux normes algériennes [8] fixant la teneur maximale en mercure dans les bivalves à 2,5 mg/kg de poids sec. Selon les sources [9], des niveaux de concentration supérieurs à la médiane nationale française sont rencontrés dans les mollusques prélevés dans les secteurs de Toulon Lazaret (3,7 fois la moyenne nationale française) et dans une moindre mesure chez ceux de Pomègues (2 fois la médiane nationale française) [9] ; bien que les valeurs relevées soient élevées, elles restent, toutefois, inférieures au seuil réglementaire fixé à 2,5 mg/kg (p.s).

Le cadmium présente les teneurs les plus élevées dans le golfe et surtout à « Sidi Salem » ou les teneurs moyennes en cet élément sont 463 fois plus importantes que celles relevées dans la chair de moules vivant « hors du golfe ». Les valeurs en cadmium que nous relevons restent, néanmoins, inférieures aux normes algériennes [8] fixant la teneur maximale en cadmium dans les bivalves à 5 mg/kg de poids sec. En méditerranée française des teneurs en cadmium relativement élevées (2,8 fois la médiane nationale française) sont relevées dans le secteur d'Ajaccio [9] ; Mais des niveaux encore plus élevés (5,82 mg/kg p.s.) ont été rapportés dans la lagune de Bages ; Ces teneurs en dépassant le seuil de 5 mg/kg de poids sec. fixé par le règlement CCE [10] n° 466-2001 ont été à l'origine de l'interdiction de commercialisation des mollusques.

Dans la station 1 "Sidi Salem", la teneur en zinc est 2 à 3 fois plus élevées que celles relevées dans les 3 autres stations ; Les teneurs en zinc contenues dans la chair de moules peuplant le littoral d'Annaba sont dans l'ensemble nettement inférieures à la médiane nationale française qui fixe la teneur à 110 mg/kg

p.s. En méditerranée française les teneurs en zinc les plus élevées sont relevées dans les secteurs à dominante portuaire tel que le golfe de Marseille, Toulon-Lazaret, port Grimaud et Ajaccio [9]. Selon les données [11], le niveau moyen de contamination se situe autour de 150 mg/kg (p.s.) ; toutefois des teneurs en zinc de 199,3 mg/kg p.s. et 183 mg/kg p.s. sont respectivement relevées dans les étangs de Bages et du Méjean [5]

En ce qui concerne la période de prélèvement, nous relevons que dans l'ensemble des 4 stations, c'est dans la chair de moules prélevées en novembre que les teneurs en métaux lourds dosés sont les plus élevées. L'enrichissement en métaux traces au cours de la saison humide et pluvieuse a pour principale origine l'augmentation des charges polluantes métalliques dans les eaux de ruissellement des premières crues. Le facteur saisonnier est important et de nombreuses études ont montré que les concentrations métalliques mesurées chez les espèces marines varient saisonnièrement. [12-22]

Les variations saisonnières peuvent être causées par la combinaison de plusieurs facteurs directement corrélés au poids incluant la température, la disponibilité en nourriture, la croissance et la reproduction mais aussi d'autres facteurs indépendants tels que la modification du cycle biogéochimique et de la biodisponibilité des métaux [23-34,13,5] l'apparition des teneurs maximales en métaux (Cd, Pb, Cu et Zn) dans les moules a lieu en hiver et au début du printemps.

Parmi les facteurs abiotiques, les facteurs physico chimiques (température, salinité, oxygène dissous, pH...) du milieu jouent un rôle essentiel puisqu'ils influent à la fois sur la forme physico chimique des métaux (état de valence, adsorption-désorption sur les matières en suspension) donc sur leur biodisponibilité, mais

également sur le métabolisme des espèces (osmorégulation, respiration, reproduction, activité trophique...) dont dépendent en partie les cinétiques d'accumulation et d'excrétion des métaux [35-37]. Ces facteurs environnementaux, sont spécifiques à un site et varient dans le temps [38]

Les résultats de la présente étude démontrent l'importance des apports anthropiques dans la contamination du golfe par les métaux lourds du fait que les plus fortes teneurs en métaux lourds observées sont relevées dans la chair de moules peuplant la station 1 située plus à l'Est de la zone d'étude et à proximité des rejets industriels (usine fertil), urbains et domestiques que le golfe reçoit. Ces fortes teneurs dans la chair de nos échantillons s'expliquent principalement par ces principaux rejets anthropogéniques du littoral de la ville de Annaba, correspondant aux émissaires des eaux usées de par les charges polluantes charriées par les oueds Seybouse et Mafragh, oued Forcha, oued Sidi Harb, oued Edheb, oued Kouba, oued Bouhdid et oued Bedjima sans aucun traitement préalable. Ces charges polluantes sont aussi sous l'influence de l'activité portuaire d'une part et d'un axe routier important d'autre part.

Quant aux basses teneurs relevées dans la station 4, elles s'expliqueraient par l'éloignement de ce site des grandes sources de contamination, mais aussi par l'hydrodynamisme et la courantologie auxquels est soumise cette zone.

5. CONCLUSION

Il ressort de cette étude que les teneurs en métaux lourds relevées dans la chair des moules *Perna perna* du golfe de Annaba sont significatives. De ce fait ces teneurs reflètent d'une manière claire les niveaux de pollution du littoral d'Annaba. Les résultats obtenus dans cette étude

confirment l'utilisation des moules comme espèce indicatrice de pollution.

Les teneurs relevées dans nos échantillons affichent des seuils non négligeables par rapport à celles relevées en méditerranée et rapportées par plusieurs auteurs en référence aux valeurs guides algériennes [8] les bivalves *Perna perna* peuplant le littoral d'Annaba sont considérés comme non contaminés par les métaux lourds.

Ces données nous ont permis de communiquer une vision juste et valorisante de la qualité de l'ensemble du milieu étudié vis-à-vis de sa contamination par les métaux traces.

Il est recommandé dans un premier temps de continuer le suivi pendant plusieurs années afin d'établir une stratégie qui va nous permettre de résoudre le problème des rejets industriels et urbains.

Toutefois d'autres perspectives d'études relatives à un meilleur suivi de l'évolution de la contamination anthropique du golfe par les métaux lourds sont ouvertes (échantillonner un peu plus à l'Est du golfe, doser les métaux lourds sur d'autres organismes marins végétaux et animaux faisant partie de la chaîne trophique, application de techniques «caging».

Références

- [1] M. Miquel, *Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé*, Rapport Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Assemblée Nationale, N : 2979 , France , 2001, 366p.
- [2] J.F. Chiffoleau, D. Auger, E. Chartier, P. Michel, I. Truquet, A. Ficht, J.L. Gonzalez et L.L. Romana, *Spatiotemporal changes in Cadmium contamination in the Seine estuary (France)*, Estuaries , 24 (6B), 2001, pp.1029-1040.
- [3] R.P. Mason, J.R. Reinfelder, et F.M.M. Morel , *Uptake, toxicity and trophic transfer of mercury in a coastal diatom*, Envir. Sci. Technol., 30, 1998, pp. 1835-1845.
- [4] C. Abdenour, K. Khelili, M.S. Boulakoud et P.S. Rainbow, *Trace metals in marine, barckish and freshwater prawns (Crustacea, Decapoda) from northeast Algeria*, Hydrobiologia, 432, 2004, pp. 217-227.
- [5] H. Beldi, F. Gimbert, S. Maas, R. Scheifler et N. Soltani, *Seasonal variations of Cd, Cu, Pb and Zn in the edible mollusk Donax trunculus (Mollusca, Bivalvia) from the golf of Annaba, Algeria*, Afric. J. Agri. Res., Vol 1(4), 2006, pp. 85-90.
- [6] J.M. Andre, *Recherche en écotoxicologie marine sur la contamination des Delphinidés par les micropolluants. Métaux traces et composés organochlorés*, Thèse Doct. Bordeaux, 1988, 282 p.
- [7] J.F. Chiffoleau, D. Auger, B. Boutier, E. Rouzel, I. Truquet, *Dosage de certains métaux dans les sédiments et la matière en suspension par absorption atomique*, Ed. Ifremer, Brest, France , 2003, 45 p.
- [8] Ministère Délégué à la Recherche, à la Technologie et à l'Environnement, *Recommandations des services de l'environnement concernant les immersions des déblais de dragage provenant des enceintes portuaires*, Algérie, 1991.
- [9] RNO, *Surveillance du milieu marin. Bulletins annuels édités par l'Ifremer et MATE*, Algérie, 1974-2004.

- [10] CCE, *Législation communautaire dans le domaine de l'environnement: 1967-1987. Vol. 3, produits chimiques et déchets*, CCE, Direction Générale Environnement, Protection des consommateurs et sécurité nucléaire. Bruxelles, 1988, 125p.
- [11] RINBIO, *le réseau INtégrateurs BIOlogiques RINBIO : EVALUATION de la qualité des eaux basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en Méditerranée*, Rapport N°991452 et N°992461, RMC, Ifremer Toulon, 67p.
- [12] L. Majori, G. Nedoclan, G.B. Modontti et F. Daris, *Study of seasonal variation of some trace elements in the tissue of Mytilus galloprovincialis taken in the gulf of Trieste*, Rev. Int. Ocean. Medit., 49, 1978, pp. 37-40.
- [13] D. Cossa, *Utilisation de la moule bleue comme indicateur du niveau de pollution par les métaux lourds et les hydrocarbures dans l'estuaire et le golfe du St Laurent*, Rapport INRS Océanologie, Université du Québec, 1980, NSI-43600/00/74.
- [14] R. Boalch, S. Chan et D. Taylor, *Seasonal variation in the trace metal content of Mytilus edulis*, Mar. Poll. Bull., 12, 1981, pp. 276-280.
- [15] D. Cossa et J.G. Rondeau, *Seasonal, geographical and size-induced variability in mercury content of Mytilus edulis in an estuarine environment: a re-assessment of mercury pollution level in the estuary and gulf of St Laurent*, Mar. Biol., 88, 1985, pp. 43-49.
- [16] F. Bei, V.A Catsiki et Stroggyloudi, *Seasonal and spatial variation of Cu, Cr, Ni and Pb concentration in Mytilus galloprovincialis of Sarannikos gulf, Greece*, Rapports de la Commission Internationale pour l'exploitation Scientifique de la Mer Méditerranée, 1998.
- [17] P. Wright et C.F. Mason, *Spatial and seasonal variation in heavy metals in the sediments and biota of two adjacent estuaries, the Orewell and Stour, in eastern England*, The Science of the Total Environment, 226, 1999, pp. 139-156.
- [18] A. Kaimoussi, A. Chafik, M. Cheggour, A. Mouzdahir, et S. Bakka, *Seasonal variation of metal concentration (Cd, Cu, Zn, Fe and Mn) in mussel Mytilus galloprovincialis from El Jadida coastline (Morocco)*, Mar. Life, 10, 2000, pp. 77-85.
- [19] E. Orban, G. Dilena, T. Nevigato, I. Casini, et Caproni, *Seasonal change in meat content, condition index and chemical composition of mussel (Mytilus galloprovincialis) cultured in two different Italian sites*, Food Chemistry, 2002.
- [20] H. Gouiez, *Apport en sels nutritifs et en matières organiques oxydables au littoral d'Annaba par l'oued Seybouse et l'estuaire de la Mafrag*. Magistère, Univ. Annaba, 2006.
- [21] M. Khelifi-Touhami, M. Ounissi, I. Saker, A. Haridi, S. Djorfi et C. Abdenour, *The hydrology of the Mafrag estuary (Algeria) : Transport of inorganic nitrogen and phosphorus to the adjacent coast*, J. Food, Agri. and Envir., 4(2), 2006, pp.340-346.
- [22] M. Guettaf, *Aspects chimiques des apports de l'oued Seybouse au littoral d'Annaba. Apports en azote, phosphore et en matières organiques*, Magistère, Univ. Annaba, 2007.
- [23] J. Widdows, *combined effects of body size, food concentration and season of the physiology of Mytilus edulis*, J. Mar. Boil. Ass., UK58, 1978, pp. 105-124.

- [24] D.I. Zandee, J.H. Kluytmans, W. Zurburd et H. Pieters, *Seasonal variations in biochemical composition of Mytilus edulis with reference to energy metabolism and gametogenesis*, Neth. J. Sea Res., 14, 1980, pp. 1-29.
- [25] F. Paez-Osuna, M.G. Frias-Espericueta et J.I. Osuna-Lopez, *Trace metal concentrations in relation to season and gonadal maturation in the oyster Crassostrea iridescens*, Mar. Envir. Res., 40, 1995, pp. 19-31.
- [26] M.J. Carballal, A. Villalba et C. Lopez, *Seasonal variation and effects of age, food availability, size, gonadal development and parasitism on the hemogram of Mytilus galloprovincialis*, J. Invertebrate Pathol., 72, 1998, pp.304-312.
- [27] I. Okumus et H.P. Stirling, *Seasonal variations in the meat weight, condition index and biochemical composition of mussels (Mytilus edulis L.) in suspended culture in two Scottish area lochs*, Aquaculture, 159 (3-4), 1998, pp.249-261.
- [28] W.H. Wong et S.G. Cheung, *Feeding behaviour of the green mussel, Perna viridis (L.): Responses to variation in seston quantity and quality*, J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 236 (2), 1999, pp. 191-207.
- [29] W.H. Wong et S.G. Cheung, *Feeding rates and scope for growth of green mussels, Perna viridis (L.) and their relationship with food availability in Kat O, Hong Kong*, Aquaculture, 193 (1-2), 2001, pp. 123-137.
- [30] P.S. Rainbow W.A. Fialkowski, Sokolowski B.D. Smith et M. Wolowicz, *Geographical and seasonal variation of trace metal bioavailabilities in the Gulf of Gdansk, Baltic Sea using mussels (Mytilus trossulus) and barnacles (Balanus improvisus) as biomonitors*. Mar. Biol., 144, 2004, pp. 271-286.
- [31] C. Stello, *Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces " Hg, Cd, Pb, Zn et Cu" chez la moule Mytilus galloprovincialis en milieu Méditerranéen*, Thèse Doctorat 2005, 356 p.
- [32] W.J. Langston et S.K. Spence, *Biological factors involved in metal concentrations observed in aquatic organisms*, Environ. Sci. Technol., 26, 1995, pp. 407-467.
- [33] C. Abdenour, B.D. Smith, M.S. Boulakoud, B. Samraoui, P.S. Rambow, *Trace metals in shrimps and sediments from Algeria water*, J. Catalog. Mat. Envir., 3, 2000, pp.9-12.
- [34] H. Frehi, M. Ayada, M.H. Kara et A. Coute, *Hydrologie de la baie d'Annaba: caractères physico-chimique et biomasse chlorophyllienne*, Rapp. Comm. int-Mer Medit., 37, 2004, 359p.
- [35] J. Coimbra et S. Carraca, *Accumulation of Fe, Zn, Cu and Cd during the different stages of reproductive cycle in Mytilus edulis*, Comp. Biochem. Physiol., 95C, 1990, pp. 265-270.
- [36] L. Chaoui, *Etude de la reproduction de Perna perna (L) (Mytilidae) dans le golfe de Annaba : aspects ecologique et biochimique*, Magister, Univ. de Annaba, 1993.
- [37] J. Grant, *The relationship of bioenergetics and the environment to the field growth of culture bivalves*, J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 200, 1996, pp. 239-256.
- [38] S. Karayücel et I. Karayücel, *The effect of environmental factors, depth and position on the growth and mortality of raft-cultured blue mussels (Mytilus edulis L.)*, Aqua. Res., 31, 2000, pp. 893-899.

Activité biologique d'un agoniste non stéroïdien de l'hormone de mue sur *Culiseta longiareolata*: analyses morphométrique, biochimique et énergétique

Fouzia Tine-Djebar et Noureddine Soltani

Laboratoire de Biologie Animale Appliquée, Faculté des Sciences, Département de Biologie, Université d'Annaba, 23000-Annaba, Algérie.

Accepté le 12/06/2008

الهالوفينوزيد، مجموعة جديدة من معدلات نمو الحشرات تم تقييمه على نوع من البعوض *Culiseta longiareolata* 24 ساعة على يرقات الطور الثالث و الرابع حديثة الانسلاخ. المركب يسبب نقص معنوي في الوزن الجسمي و في كمية اليبيدات، السكريات و البروتينات. كما انه يؤدي الى اضطراب في النمو و

الكلمات المفتاحية: دراسة قياسية بيوكيميا *Culiseta longiareolata*.

Résumé

Le halofenozide (RH-0345), un régulateur de croissance des insectes mimétique de l'hormone de mue, a été évalué sur une espèce de moustique ayant un intérêt vétérinaire, *Culiseta longiareolata* (Diptera: Culicidae). Les traitements ont été réalisés en conditions de laboratoire sur des larves nouvellement exuviées des troisième et quatrième stades avec une durée d'exposition à l'insecticide de 24h conformément aux recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé relatives aux tests d'efficacité des régulateurs de croissance des insectes sur les moustiques. L'insecticide est additionné dans l'eau d'élevage à deux concentrations finales (12,58 µg/L and 28,58 µg/L). Les résultats montrent que le composé affecte le volume corporel, le contenu en lipides, glucides et protéines, et les indices caloriques. Ces modifications morphométriques et biochimiques suggèrent des effets dépressifs du traitement insecticide sur la fécondité et le pouvoir pathogène de l'espèce utilisée.

Mots clés : régulateurs de croissance des insectes; halofenozide; toxicologie; biochimie; moustiques; *Culiseta longiareolata*.

Abstract

The halofenozide, an insect growth regulator (IGR) belonging to the ecdysteroid agonists class, has been evaluated on *Culiseta longiareolata* (Diptera: Culicidae). The insecticidal bioassays were conducted on newly ecdysed 3rd and 4th instar larvae under laboratory conditions. The insecticide was added to the rearing water at two final concentrations (12,58 µg/L and 28,58 µg/L). The larvae were exposed to the insecticide for 24h according to instructions of World Health Organization guidelines concerning the insecticidal bioassays using IGRs against mosquitos. The compound affected the body volume as well as contents on lipids, carbohydrates and proteins, and the caloric indexes. These morphometric and biochemical modifications could be indicative of negative effects of this insecticidal treatment on the fecundity and pathogeny of the species used.

Key words: insect growth regulators; halofenozide; toxicology; biochemistry; mosquitos; *Culiseta longiareolata*.

1. INTRODUCTION

Le contrôle des moustiques devient de plus en plus difficile en raison de la résistance aux insecticides conventionnels et à un moment où les demandes publiques réclament la diminution de leur

usage dans l'environnement [1]. Les recherches en agrochimie ont permis de découvrir une nouvelle classe de régulateur de croissance des insectes (RCIs), les agonistes de l'hormone de mue

(ecdystéroïdes) dès 1988 [2]. Ce sont des dérivés de la benzoylhydrazine qui miment l'activité biologique de l'hormone de mue naturelle, la 20-hydroxyecdysone, en induisant des mues létales précoces et incomplètes chez différents ordres de la classe des insectes [3]. Ces insecticides de la troisième génération de, par leur spécificité et leur faible toxicité, offrent de grands avantages pour la préservation de l'environnement [4] et présentent un intérêt évident dans la lutte intégrée. Précédemment, nous avons testé l'efficacité et précisé le mode d'action de représentants de diverses classes de RCIs sur plusieurs organismes visés à intérêt agricole ou médical [5-12], ou non ciblés comme les crustacés, les mollusques bivalves et les poissons [6, 13-15].

Ce travail complète donc les travaux antérieurs réalisés dans notre laboratoire et vise à évaluer les différents effets d'un agoniste de l'hormone de mue le halofenozide sur *Culiseta longiareolata* (Diptera: Culicidae), espèce à intérêt vétérinaire puisqu'elle est un agent vecteur du paludisme chez les oiseaux [16]. Des relations métaboliques entre le volume corporel, les réserves nutritives et la fécondité ont été rapportées chez les moustiques [17]. C'est pourquoi, l'activité de l'insecticide a été examinée au niveau morphométrique (longueur des ailes, largeur du thorax, volume corporel), biochimique (dosage des protéines, lipides et glucides) et calorique (contenu calorique et contenu calorique spécifique à la taille).

Ces données renseignent sur le potentiel vecteur de l'espèce via les réserves énergétiques mobilisables durant la reproduction (pullulation du moustique) et le vol (dissémination et transmission du parasite).

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 Technique d'élevage

Un élevage de masse est réalisé en laboratoire à partir des oeufs de *Culiseta longiareolata* récoltés dans la région de Tébessa où elle est très répandue [18]. Après éclosion, les larves sont élevées dans des récipients contenant 200 mL d'eau déchlorurée et maintenue à une température de 25°C et une photopériode de 14h de lumière. La nourriture, composée d'un mélange de biscuit (75%) et de levure sèche (25%), est fournie quotidiennement [5].

2.2 Insecticide et traitement

Le halofenozide (nom de code : RH-0345) est le nom commun du N- tert-butyl-N'-(4 chlorobenzoyl) benzoyldrazide ; sa formule empirique est: $C_{18}H_{19}Cl N_2 O_2$ et son poids moléculaire est de 330,81 g. Il a été développé par la firme Rohm & Haas (Spring House, PA, USA). Une formulation commerciale de l'halofenozide (MACH : 23 % EC, émulsion concentrée) a été utilisée et diluée dans l'eau d'élevage à deux concentrations finales (12,58 et 28,58 µg/L) correspondant respectivement aux CL50 et CL90 [7].

Les larves nouvellement exuviées des troisième et quatrième stades ont été exposées à l'insecticide pendant 24h selon les indications de l'Organisation Mondiale de la Santé relatives aux tests d'efficacité des régulateurs de croissance des insectes sur les moustiques [19]. Après exposition, les larves traitées sont rincées et placées dans de l'eau propre. Les larves témoins sont placées dans les mêmes conditions dans de l'eau non traitée. Les essais ont été effectués avec 3 répétitions chacune contenant 25 larves.

2.3. Etude morphométrique

Le volume corporel des larves et des pupes des séries, témoins et traitées, a été déterminé à partir de la valeur cubique de la largeur du thorax et celui des adultes mâles et femelles calculé à partir de la valeur cubique de la longueur des ailes [20]. Le volume corporel a une influence sur le volume du repas sanguin et le nombre d'œufs matures produits [21]

2.4 Analyse biochimique

L'extraction des principaux constituants (lipides, glucides et protéines) a été réalisée selon Shibko *et al.* [22]. Un pool de 25 larves nouvellement exuviées (âge < 3 h) de chaque stade (larves, pupes et adultes mâles et femelles) de *C. longiareolata* est homogénéisé dans un 1 ml d'acide trichloracétique (20 %). Après une première centrifugation (5000 trs/min, 10 min), le surnageant obtenu sert au dosage des glucides totaux [23], tandis que le culot 1 est additionné au mélange d'éther et de chloroforme (1V/1V). Une seconde centrifugation donne un autre surnageant destiné au dosage des lipides totaux [24], tandis que le culot 2 sera dissout dans de la soude (0,1 N) et utilisé pour le dosage des protéines [25]

2.5 Indices caloriques

Deux indices caloriques, le contenu calorique (C.C) et le contenu calorique spécifique à la taille (C.C.S.T), ont été déterminés [26]. Pour le C.C, les valeurs absolues des différents métabolites sont converties en calories sachant qu'une calorie correspond à 0,004 µg de glucides ou de protéines, et à 0,009 µg de lipides. Le contenu calorique spécifique à la taille est déterminé d'après la formule (1)

$$CCST (\text{Cal}/\text{mm}^3) = \frac{C.C.}{(\text{Larg. thorax})^3 (\text{Long. ailes})^3} \quad (1)$$

2.6 Analyse Statistique

Les résultats des dosages biochimiques et des indices caloriques ont fait l'objet d'une analyse de la variance à un ou deux critères de classification à l'aide du logiciel MINITAB, version 13.31 (PA State Collège, USA).

3. RESULTATS

3.1 Effet sur la morphométrie

Chez les séries témoins et traitées à la concentration I (CL50), le poids corporel des individus augmente de façon significative du stade larvaire 3 au stade 4 puis chute au stade nymphal et au stade adulte. Cependant, à la concentration II (CL90), le poids augmente au cours des stades immatures (larvaire et nymphal) puis une diminution est observée au stade adulte. Les fortes valeurs sont observées chez les femelles par rapport aux mâles pour les deux séries (p= 0,000).

La comparaison des séries témoins et traitées révèle que le mimétique des ecdystéroïdes affecte significativement (p= 0,000) le poids corporel des individus des différents stades étudiés (fig.1).

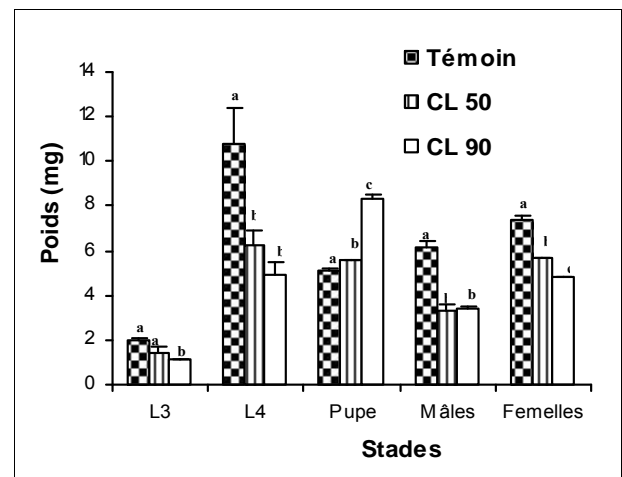


Figure 1. Poids corporel (mg) des individus témoins et traités de *C. longiareolata* ($m \pm s$; $n = 3$ répétitions contenant chacune 25 individus/stade; les moyennes d'une même série affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes).

De plus, la largeur du thorax et le volume corporel des séries témoins augmentent du troisième stade au quatrième stade et diminuent par la suite au stade nymphal (fig.2). Pour le stade adulte, la longueur des ailes des femelles témoins et traitées présente des valeurs significativement ($p = 0,000$) supérieures à celles observées chez les mâles. Enfin, la longueur des ailes des adultes et le volume corporel des individus des stades testés sont affectés par le traitement puisque la comparaison des moyennes montre des différences significatives entre les séries témoins et traitées ($p= 0,000$ et $0,001$ respectivement) (fig.3 et 4). La largeur du thorax n'est pas affectée par le traitement ($p= 0,985$). Par ailleurs, on note une augmentation significative ($p= 0,000$) des paramètres examinés chez la pupa.

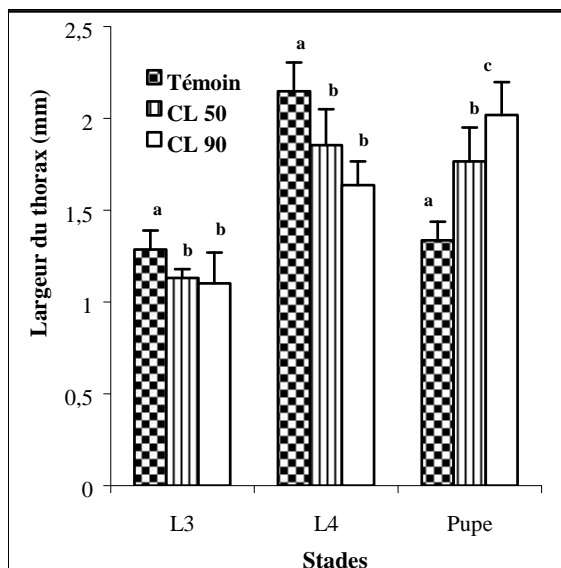


Figure 2. Largeur du thorax (mm) chez les individus témoins et traités de *C. longiareolata* ($m \pm s$; $n=3$ répétitions contenant chacune 25 individus/stade; les moyennes d'une même série affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes).

3.2 Effet sur la composition biochimique

Chez les séries témoins, le contenu ($\mu\text{g}/\text{individu}$) en lipides et protéines augmente significativement du stade

larvaire 3 au stade nymphal passant par le stade L4 puis diminue au stade adulte (fig.5). Pour les glucides, le contenu diminue chez la nymphe et augmente par la suite chez l'adulte. Pour les séries traitées, on note une augmentation du contenu en divers métabolites du troisième stade larvaire au stade nymphal puis une diminution au stade adulte pour les glucides et les lipides chez la série traitée avec la CL90 et une augmentation pour les protéines et les lipides chez la série traitée avec la CL50. Les contenus en protéines et glucides chez les femelles sont significativement élevés par rapport à ceux des mâles sauf les lipides où cette différence n'est pas significative ($p=0,481$). La comparaison entre les séries témoins et traitées montre que le halofenozide affecte avec une relation dose-réponse le contenu en protéines ($p=0,000$), glucides ($p= 0,000$) et lipides ($p=0,007$).

L'analyse biochimique montre par ailleurs que les glucides représentent le constituant relativement le plus abondant dans le corps des moustiques; ils sont suivis des lipides et des protéines.

3.3 Effet sur les indices caloriques

Les résultats sont représentés dans les figures 6 et 7. Chez les séries témoins et traitées, le contenu calorique des protéines augmente progressivement durant les stades L3, L4 et pupa, et diminue par la suite chez les adultes. Les plus fortes valeurs sont observées chez les femelles. La comparaison entre les séries témoin et traitée montre que l'insecticide réduit significativement le contenu calorique des protéines avec un effet concentration. Le contenu calorique des glucides et des lipides chez les deux séries augmente au cours du développement. De plus, le contenu calorique des glucides et des lipides des séries témoins est significativement supérieur à celui des

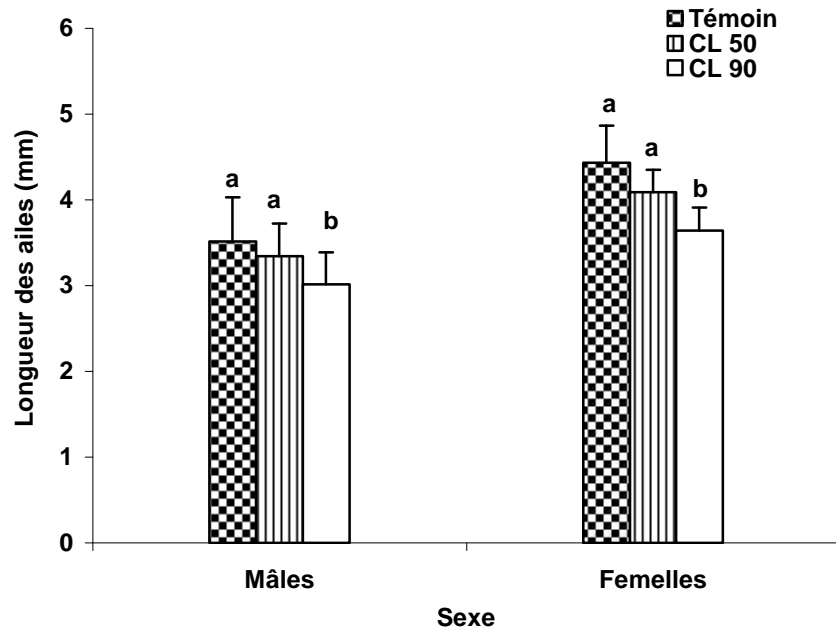


Figure 3: Longueur des ailes (mm) chez les adultes mâles et femelles de *C. longiareolata* ($m \pm s$; $n = 3$ répétitions contenant chacune 25 individus/stade; les moyennes d'une même série affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes).

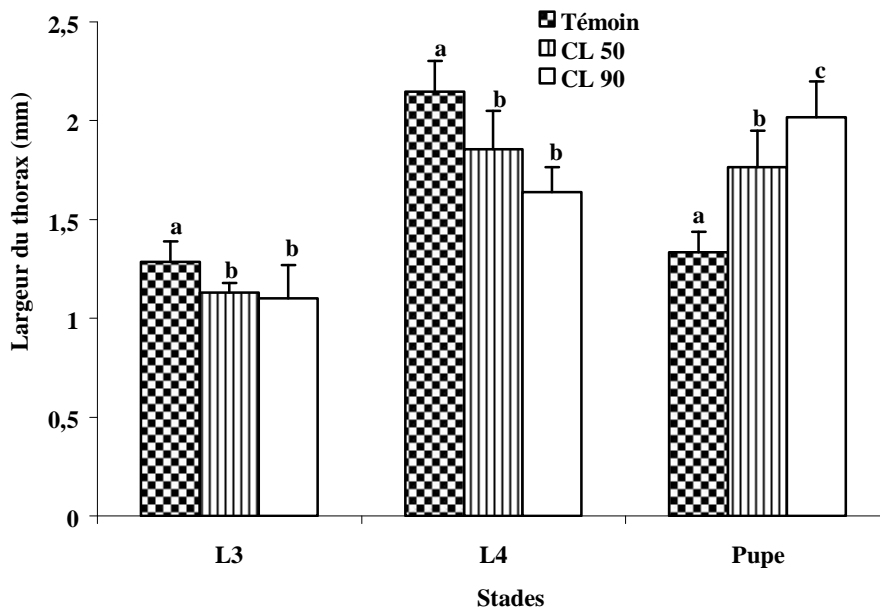


Figure 4: Volume corporel (mm^3) chez les individus témoins et traités de *C. longiareolata* ($m \pm s$; $n = 3$ répétitions contenant chacune 25 individus/stade; les moyennes d'une même série affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes).

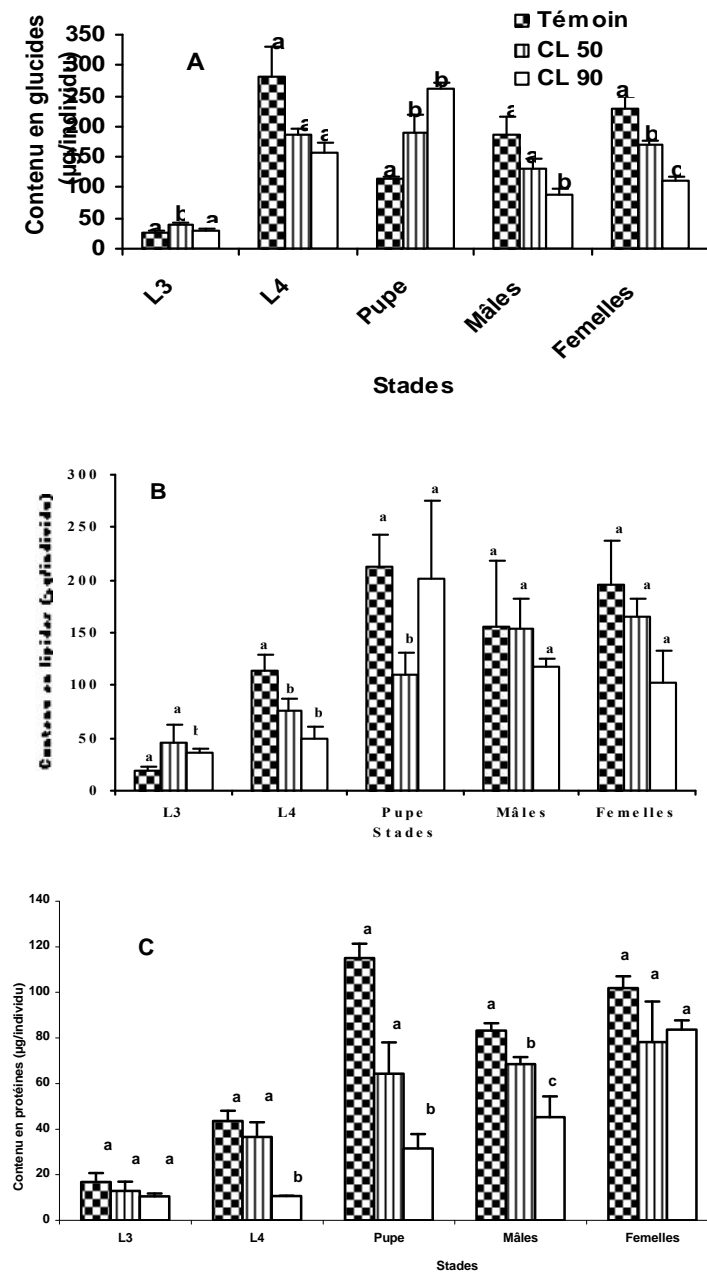


Figure 5: Contenu en glucides (A), lipides (B) et protéines (C) (µg/individu) chez les individus témoins et traités de *C. longiareolata* ($m \pm s$; $n = 3$ répétitions contenant chacune 25 individus/stade; les moyennes d'une même série affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes).

séries traitées et cela, pour les stade L4 et adulte mâle et femelle.

Le contenu calorifique spécifique à la taille des glucides, lipides et protéines, montre des variations au cours des divers stades post-embryonnaires chez les deux

séries (Fig. 7). Cependant, il n'y pas de différence significative entre les séries témoins et traitées. Enfin, le contenu calorifique spécifique à la taille des glucides, lipides et protéines, est relativement élevé chez les adultes femelles par rapport aux adultes mâles.

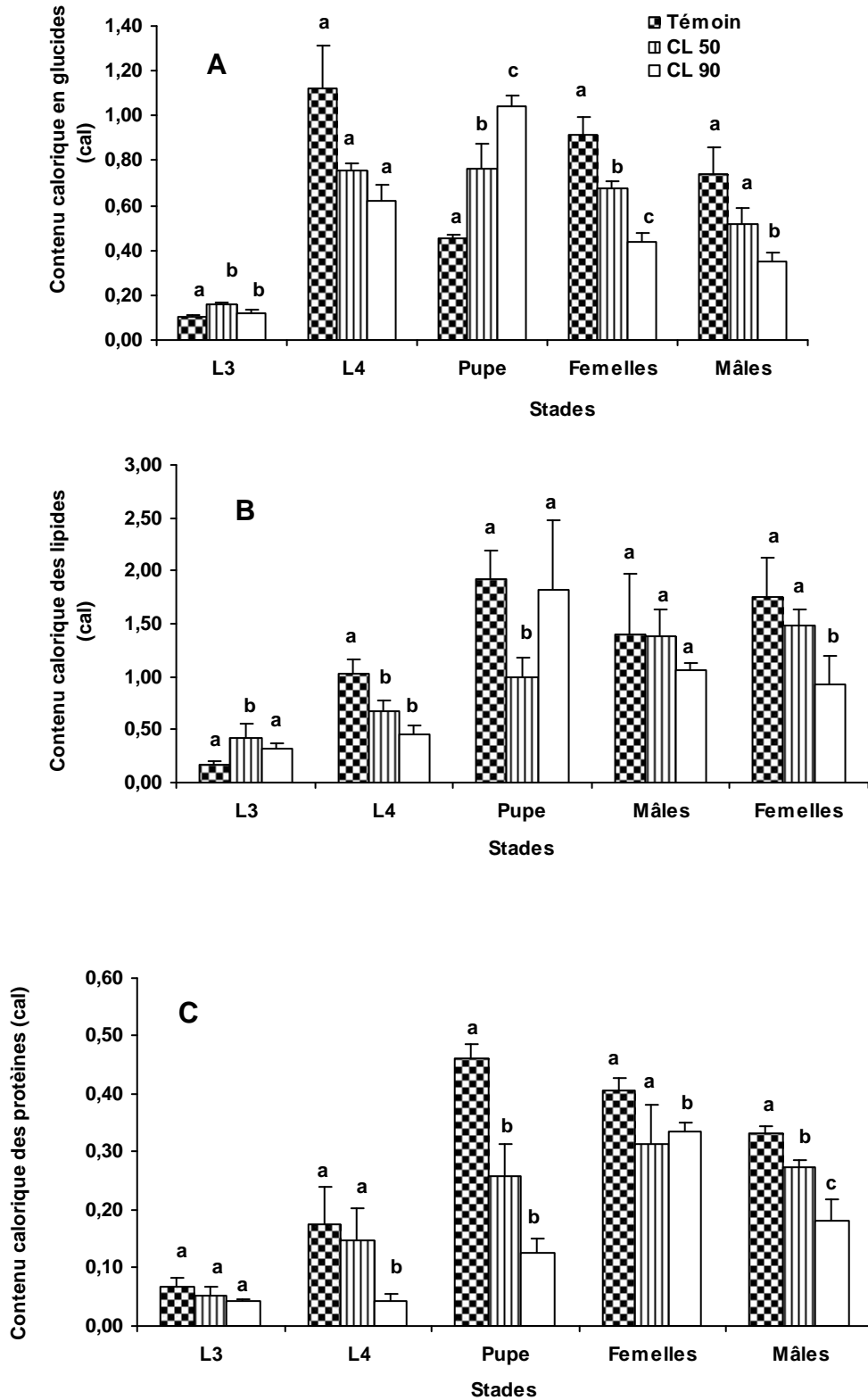


Figure 6.: Contenu calorique (en calories) en glucides (A), lipides (B) et protéines (C), chez les individus témoins et traités de *C. longiareolata* ($m \pm s$; $n = 3$ répétitions contenant chacune 25 individus/stade; les moyennes d'une même série affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes).

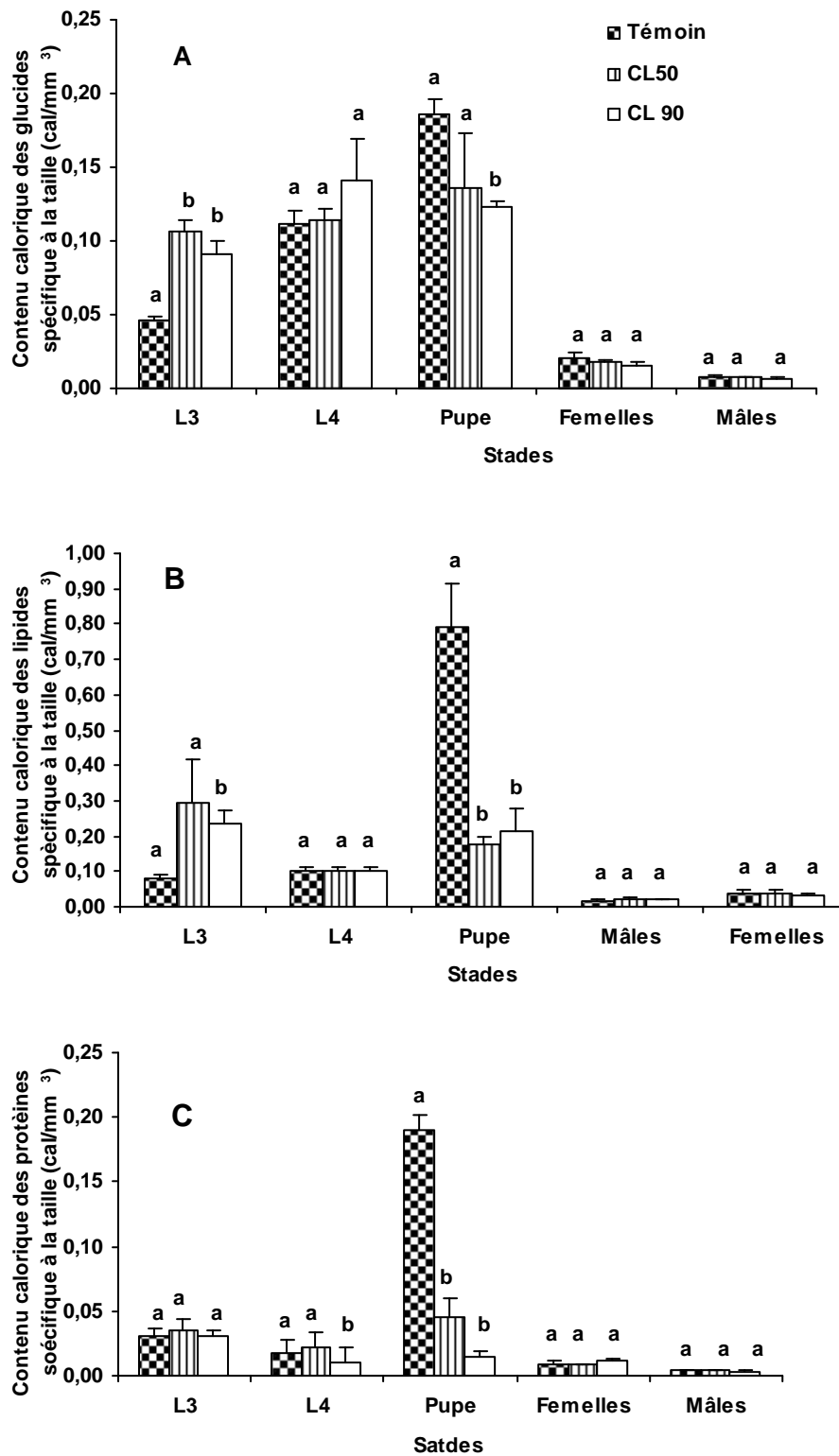


Figure 7.: Contenu calorifique spécifique à la taille (C.C.S.T.) (Cal/mm³), des glucides (A), lipides (B) et protéines (C), chez les individus témoins et traités de *C. longioareolata* ($m \pm s$; $n = 3$ répétitions contenant chacune 25 individus/stade; les moyennes d'une même série affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes).

4. DISCUSSION

Le développement des insectes est caractérisé principalement par des mues et des métamorphoses qui sont contrôlées par les différents taux de l'hormone de mue (20E) en présence ou en l'absence de l'hormone juvénile [27]. Toute interférence dans l'homéostasie de ces hormones peut conduire à une perturbation dans le développement des insectes cibles [28]. Ceci explique les différents désordres physiologiques observés chez *C. longiareolata* après traitement des larves L3 et L4 avec l'halofenozide, un nouvel agoniste des ecdystéroïdes, confirmant les travaux antérieurs. En effet, ce composé provoque des mues létales précoces chez *Culex pipiens* [7] et induit une apolyse prématurée dans les explants tégumentaires nymphaux de *T. molitor* [12].

Le traitement des individus avec les concentrations létales 12,58 µg/L et 28,58 µg/L provoque une réduction dans le poids corporel, la largeur du thorax, la longueur des ailes et le volume corporel, respectivement. Ces perturbations qui affectent la morphométrie des moustiques sont également observées au niveau des ovaires [29].

L'évolution des contenus en métabolites corporels au cours du développement post-embryonnaire de *C. longiareolata* est perturbée par l'analogue de l'hormone de mue; Des résultats similaires ont été rapportés chez d'autres espèces comme *B. germanica* [30].

Les glucides en tant qu'éléments énergétiques, jouent un rôle essentiel dans la physiologie des insectes et les taux de glycogène et de tréhalose dans les tissus et l'hémolymph sont étroitement liés aux événements physiologiques comme la mue et la reproduction [31]. Le traitement avec l'agoniste des ecdystéroïdes (RH-

0345), affecte les concentrations des glucides hémolymphatiques chez *C. longiareolata* comme l'administration de 20E chez *T. molitor* [32] ou de l'halofenozide chez *B. germanica* [30].

Les lipides, principale source d'énergie chez les insectes sont transportés du corps gras site de leur synthèse et stockage vers les organes utilisateurs notamment les ovaires via l'hémolymph pour être utilisés lors de la vitellogénèse [33]. Le RH-0345 réduit également les concentrations des lipides avec un effet doses au cours de la maturation sexuelle chez *B. germanica* [30].

La réduction des contenus en divers métabolites après traitement, peut avoir plusieurs causes telles que la diminution de leur synthèse ou de leur libération dans l'hémolymph par le corps gras. Le contenu calorique des principaux constituants (protéines, glucides et lipides) augmente au cours de divers stades post-embryonnaires de *C. longiareolata*. Ceci concorde avec les résultats obtenus chez *Culex pipiens pipiens* et *Cx pipiens molestus* [34], et *A. aegypti*, *Cx. pipiens*, *A. gambiae* et *A. albimanus* [35]. Il a été rapporté que le poids corporel influence le volume du repas sanguin et la fécondité chez les femelles d'*A. aegypti* [35]. Chez la même espèce, les grosses femelles avec un grand stock énergétique à l'éclosion ont un potentiel de vol très grand leur permettant de contacter plusieurs hôtes et devenir un meilleur vecteur [36]. Une corrélation positive entre le volume corporel et les réserves nutritives tels que le glycogène et les lipides a été observée [36]. De même, une corrélation positive entre ce volume et la fécondité a été décrite chez plusieurs autres espèces [17,36]. Chez *A. taeniorhynchus* la malnutrition larvaire, provoque une diminution de la longueur des ailes et des réserves nutritives réduisant l'autogénéité [37].

CONCLUSION

L'étude menée sur *C. longiareolata* révèle que l'insecticide testé affecte le volume corporal et les réserves énergétiques. Ceci suggère un effet dépressif de l'insecticide sur la reproduction qui est un facteur de pullulation des moustiques. De plus, les réserves énergétiques mobilisées essentiellement durant le vol ont une incidence sur la nuisance de cette espèce, agent vecteur du paludisme chez les oiseaux.

Références

- [1] M.J. Perich, C. Wells, W. Bertsh and K.E. Tredway, *Toxicity of extracts from three targets against adults and larvae of yellow fever mosquito and Anopheles stephensi (Diptera: Culicidae)*. J. Med. Entomol., Vol. 31, 1994, p. 833-837.
- [2] K.D. Wing, (1988). RH-5849, a nonsteroidal ecdysone agonist: effects on *Drosophila* cell line. *Science*, 241, 467-469.
- [3] G. Smagghe, D. Degheele, *Action of a novel nonsteroidal mimic, tebufenozide (RH-5992) on insects of different orders*. Pestic. Sci., Vol. 42, 1994, p. 85-92.
- [4] T.S. Dhadialla, A. Retnakaran, G. Smagghe, *Insect growth- and developmental-disturbing insecticides*, in: L.I. Gilbert, K. Iatrou, S.K. Gill (Eds.), *Comprehensive Molecular Insect Science*, vol. 6, Elsevier, Oxford, 2005, p. 55-116.
- [5] N. Rehim, N. Soltani, *Laboratory evaluation of Alsystin, a chitin synthesis inhibitor, against Culex pipiens pipiens (Diptera: Culicidae): effects on development and cuticle secretion*. J. Appl. Ent., Vol. 123, 1999, p. 437-441.
- [6] N. Soltani, N. Rehim, H. Drardja, F. Bendali, *Activité du triflumuron à l'égard de Culex pipiens et impacts sur deux espèces larvivoires non visées*. Ann. Soc. Entomol. Fr. (N.S.), Vol. 35, 1999, p. 59-64.
- [7] H. Boudjelida, A. Bouaziz, T. Soïn, G. Smagghe, N. Soltani, *Effects of ecdysone agonist halofenozide against Culex pipiens*. Pestic. Biochem. Physiol., Vol. 83, 2005, p. 115-123.
- [8] N. Soltani, N. Rehim, *Laboratory evaluation of Andalin, a new insecticide interfering with cuticle deposition, against Culex pipiens*. Journal Algérien de Medecine, 1 (Vol. XI), 2001, p. 28-33.
- [9] N. Soltani, N. Aribi, H. Berghiche, C. Lakbar, G. Smagghe, *Activity of RH-0345 on ecdysteroid production and cuticle secretion in Tenebrio molitor pupae in vivo and in vitro*. Pestic. Biochem. Physiol., Vol. 72, 2002, p. 83-90.
- [10] F. Taïbi, G. Smagghe, L. Amrani, N. Soltani-Mazouni, *Effect of ecdysone agonist RH-0345 on reproduction of mealworm, Tenebrio molitor*. Comp. Biochem. Physiol., Vol. 135C, 2003, p. 257-267.
- [11] S. Chebira, N. Soltani, S. Muylle, G. Smagghe, *Uptake and distribution of three insect growth regulators-diflubenzuron, flucycloxuron and halofenozide- in pupae and adults of Tenebrio molitor*. Phytoparasitica., Vol. 34 (2), 2006, p. 187-196.
- [12] H. Berghiche, G. Smagghe, S. Van De Velde, N. Soltani, *In vitro cultures of pupal integumental explants to bioassay insect growth regulators with ecdysteroid activity for ecdysteroid amounts and cuticle secretion*. African Journal of Agricultural Research., Vol. 2 (5), 2007, p. 208-213.

- [13] M.S. Morsli, N. Soltani, *Effets d'un insecticide inhibiteur de la synthèse de la chitine, le diflubenzuron, sur la cuticule de la crevette Penaeus kerathurus*. Journal de Recherche Océanographique, Vol. 28, Fasc.1/2, 2003, p. 85-88.
- [14] H. Drardja-Beldi, N. Soltani, *Laboratory evaluation of dimilin on growth and glutathion activity in mosquito fish and target species*. Comm. Agric. Appl. Bio. Sci., Vol. 68 / 4a, 2003, p. 299-305.
- [15] N. Zaïdi, J.P. Farine, N. Soltani, *Analyse des résidus d'un insecticide (Dimilin) dans l'eau et les différents compartiments d'un poisson non ciblé*. Algerian Journal of Technology 1 : 2005, p. 483-486.
- [16] J. Macquart, *Diptères exotiques nouveaux ou peu connus*. Mémoires de la société des sciences de l'agriculture et des arts de Lille., Vol. 2: 9-225.
- [17] H. Briegel, *Metabolic relationship between femal body size, reserves, and fecundity of Aedes aegypti*. J. Insect. Physiol., Vol. 36, 1990, p.165-172.
- [18] H. Salmi-Bouabida, *Bioécologie des espèces de moustique de la region de Tebessa: inventaire, repartition, indices écologiques et caractérisation morphométriques et biochimiques*. Mémoire de magister en Physiologie Animale et Humaine, option Santé et Environnement, Centre Universitaire de Tébesa, 87 p.
- [19] Anonym, *Informal consultation on insect growth regulators*. WHO/VBC/83, 1983.
- [20] S. E. Timmermann, H. Briegel, *Molting and metamorphosis in mosquito larvae: a morphometric analysis*. Mitteilnygender Schweizewchen Entomologischen Gesellschaft., Vol. 71, 1998, p. 373-387.
- [21] M.J. Van Den Heuvel, *The effect of rearing temperature on the wing length, thorax lenght, leg length and avariole number of the adult mosquito, Aedes aegypti (L.)*. Trans. R. Ent. Soc. Lond., Vol. 115, 1963, p.197-216.
- [22] S. Shibko, P. koivistoinen, C. Tratyneck, A. New Hall, L. Freidman, *A method for the sequential quantitative separation and determination of protein, RNA, DNA, lipid and glycogen from a single rat liver homogenate or from a subcellular fraction*. Analyt. Biochem., Vol. 19, 1966, p. 415-528.
- [23] G. Duchateau, M.A. Florin, *A survey of amino acidemias with special reference to the high concentration of free amino acids in insect haemolymph*. Arch. Int. Physiol. Biochem., Vol. 66, 1958, p. 573-591.
- [24] G.J. Goldsworthy, W. Mordue, J. Guthkelch, *Studies on Insect adipokinetic Hormones*. Gen. Comp. Endocr. Vol. 18, 1972, p. 545-551.
- [25] M.M. Bradford, *A Rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein, utilizing the principle dye binding*. Analytic. Biochem., Vol. 72, 1976, p. 248-254.
- [26] S.E. Timmermann, H. Briegel, *Molting and metamorphosis in mosquito larvae: a morphometric analysis*. Mitteilnygender Schweizewchen Entomologischen Gesellschaft., Vol. 71, 1998, p. 373-387.
- [27] G. Gäde, K.H. Hoffman, J.H. Spring, *Hormonal regulation in insects: Facts, gaps, and future directions*. Physiol. Rev., Vol. 77, 1997, p. 963-1032.

- [28] S.P. Jenkins, M.R. Brown, A.O. Lea, *Inactive prothoracic glands in larvae and pupae of Aedes aegypti. Ecdysteroid release by tissues in the thorax and abdomen.* Insect Biochem. Molec. Biol., Vol. 22(6), 1992, p. 553-559.
- [29] G.P. Farinos, G. Smaghe, L. Tirry, P. Castanero, *Action and pharmacokinetics of a novel insect growth regulator, halofenozide, in Adult beetles of Aubeonymus mariaefrancisciae and Leptinotarsa decemlineata.* Arch. Insect. Biochem. Physiol. Vol. 41, 1999, p. 201-213.
- [30] A. Maiza, S. Kilani, J. P. Farine, G. Smaghe, N. Aribi, N. Soltani, *Reproductive effects in german cockroaches by ecdysteroid agonist RH-0345, juvenile hormone analogue methoprene and carbamate benfuracarb.* Comm. Appl. Biol. Sci., Ghent University, Vol. 69 (3), 2005, p. 257-266.
- [31] A.W. Wiens, T. Gilbert, *Regulation of carbohydrate mobilization and utilization in Leucophaea maderae.* J. Insect. Physiol., Vol. 13, 1968, p. 779-794.
- [32] N. Soltani, *Action du diflubenzuron et de la 20-hydroxyecdysone sur les glucides et les protéines hemolymphatiques chez les nymphes de Tenebrio molitor (L.).* Ann. Soc. Entomol. Fr. (n.s.), Vol. 26 (4), 1990, p. 575-261.
- [33] L.L. Keeley, *Physiology and biochemistry of fat body, In: G.A kerkut et L.I. Gilbert (eds).* Comp. Insect. Biochem. Physiol. Pharmacol., Vol. 3, 1985, p. 211-248. Pergamon Press, oxford.
- [34] F. Bendali, F. Djebbar, N. Soltani, *Efficacité comparée de quelques espèces de poissons à l'égard de divers stades de Culex pipiens L. dans des conditions de laboratoire.* Parasitica, Vol. 57, 2001, p. 255-265.
- [35] D.H. Colless, W.T. Chellapah, *Effects of body weight and size of blood meal upon Egg production in Aedes aegypti L. (Diptera: Culicidae).* Ann. Trop. Med. Parasitol., Vol. 54, 1960, p. 475-482.
- [36] R. Nasci, *The size of emerging and hot-seeking Aedes aegypti and the relation of size to blood-feeding success in the field.* J. Am. Mosq. Contr. Ass., Vol. 2, 1986, p. 61-62.
- [37] A.O. Lea, *Studies on the dietary and endocrine regulation of autogenous reproduction in Aedes teaniorhynchus,* J. Med. Ent., Vol. 1, 1964, p.40-44.

Lorsban-induced changes in haematological parameters, testosterone and thyroxin levels, and semen quality of male rats

Rachid Mosbah¹, Amel Chouabia², Mokhtar Ibrahim Yousef³, Mohamed Salah Boulakoud²

¹⁾ Department of Biology,

M'hamed Bouguerra University, Boumerdes, 35000, Algeria.

²⁾ Laboratory of Animal Ecophysiology; Department of Biology, Badji Mokhtar University, P.O.Box 12, Annaba, 23000, Algeria.

³⁾ Department of Environmental Studies, Institute of Graduate Studies & Research, University of Alexandria, Egypt.

Accepté le 12/06/2008

تهدف هذه الدراسة لمعرفة مدى تأثير المبيد الحشري لورسبان على الثوابت الدموية، مستوى هرمون التستوستيرون و التيروكسين و كذا السائل المنوي عند ذكور الفئران. يقدم المبيد عن طريق الفم بجرعات مختلفة (5، 10 و 15 ملغ/كغ/ وزن الحيوان) لمدة ستة أسابيع. تشير النتائج المحصل عليها إلى أن مختلف جرعات المبيد تسبب فقدان ($P < 0.05$) في وزن الجسم. ونقص ($P < 0.05$) في الوزن النسبي للخصية، البربخ والحوصلات المنوية عند الجرعة 15 ملغ/كغ/وزن الجسم. كما لوحظ انخفاض معنوي في محتوى الكريات الحمراء من الهيموغلوبين (MCH) و حجم المعدل الكروي (MCV) عند كل الحيوانات المعاملة مقارنة بالشاهدة. في حين سجل انخفاض غير معنوي في عدد الكريات البيضاء (WBC)، تركيز الهيموغلوبين (Hb)، نسبة الهيماتوكريت (Ht)، متوسط تركيز الكريات الحمراء من الهيموغلوبين (MCHC) و عدد الكريات الحمراء (RBC) عند الحيوانات المعاملة. ومن جهة أخرى لوحظ ارتفاع في عدد الصفائح الدموية (PL) عند الفئران المحقونة بالجرعة العالية. بالمقابل هناك انخفاض ($p < 0.001$) في عدد الخلايا المنوية، الحيوانات المنوية، سرعة انتقالها و كذا في نسبة الإنتاج اليومية للحيوانات المنوية، يرافقها انخفاض في تركيز التستوستيرون في البلازما و ارتفاع تركيز التيروكسين الحر (FT4) مقارنة بالحيوانات الشاهدة. من هذا يتضح أن معاملة الفئران بجرعات أكبر من 15 ملغ/كغ/ وزن الحيوان يسبب خلافا في المؤشرات الدموية و الغذائية مؤدية لانخفاض الخصوبة عند الفئران.

الكلمات المفتاحية: الفئران؛ مبيد لورسبان؛ الثوابت الدموية؛ السائل المنوي؛ التستوستيرون؛ التيروكسين.

Résumé

Cette étude a été effectuée pour examiner les effets toxiques possibles des différentes doses de Lorsban sur les paramètres de sang, les niveaux de testostérone et de thyroxine et la qualité de sperme des rats mâles. Le Lorsban a été administré aux rats par voie orale à des doses de 5, 10 et 15 mg/kg poids corporel/jour pendant 6 semaines. Les résultats obtenus ont prouvé que chacune des trois doses de Lorsban a sensiblement abaissé les gains de poids corporel ($p < 0,05$). Des poids relatifs de vésicules de testicules, epididymal et séminales ont été diminués chez les rats recevant 15 mg/kg seulement ($p < 0,05$). En outre, il y a une diminution en hémoglobine corpusculaire moyenne (MCH) et en volume corpusculaire moyen (MCV) chez tous les animaux d'expérience comparativement aux éléments témoins. Cependant, il n'y avait pas de changements significatifs pour les cellules de sang blanches (WBC), l'hémoglobine (Hb), la valeur d'hématocrite (Ht), la concentration moyenne en hémoglobine de cellules (MCHC) et les globules rouges (RBC) pour des rats qui ont été traités avec le Lorsban. Aussi, il s'est avéré que le Lorsban a causé une augmentation du nombre de thrombocyte (PL) chez les individus traités avec la dose la plus élevée. De même, la dose la plus élevée induit une diminution significative du nombre de spermatozoïdes, du compte de sperme et du taux de passage de sperme avec un affaiblissement observé de production quotidienne de sperme ($p < 0,001$). De telles observations ont été couplées à une réduction des niveaux de testostérone de plasma et une augmentation des niveaux de la thyroxine libre de plasma (FT4). On conclut alors que le traitement avec des doses de 15 mg de Lorsban /kg de poids corporel altère les paramètres hématologiques et endocrinologiques chez les rats, et par conséquent affectera plus tard la fertilité.

Mots clés : rats; Lorsban; paramètres hématologiques; qualité de sperme; testostérone; thyroxine.

Abstract

The present study was carried out to investigate the possible toxic effects of different doses of lorsban on blood parameters, testosterone and thyroxin levels, and semen quality of male rats. Lorsban was administered to rats by oral route at different doses (5, 10 and 15 mg/kg bw/day) for 6-weeks. The obtained results showed that all three doses of Lorsban significantly ($p < 0.05$) lowered the body weight gains. Relative weights of testes, epididymal and seminal vesicles were significantly ($p < 0.05$) decreased in rats receiving 15 mg/kg only. There was also a decrease in mean corpuscular haemoglobin (MCH) and in mean corpuscular volume (MCV) in all experimental animals compared to control ones. While, there were insignificant changes in white blood cells (WBC), haemoglobin (Hb), haematocrit value (Ht), mean cell haemoglobin concentration (MCHC) and red blood cells (RBC) for rats treated with lorsban compared to control group. Meanwhile, it appeared that lorsban caused a rise in thrombocyte (PL) number in individuals treated with the highest dose. Similarly, the highest dose induced a marked ($p < 0.001$) decrease in spermatids number, sperm count and sperm transit rate with an observed impairment of daily sperm production. Such observations were coupled with a reduction in plasma testosterone levels and an increase in plasma free thyroxin (FT4) levels compared to controls. It is, therefore, assumed that treatment with lorsban up to 15 mg/kg bw alters both haematological and endocrinological parameters in rats, and subsequently affects fertility.

Key words: Rats; Lorsban; haematological parameters; semen quality; testosterone; thyroxin.

1. INTRODUCTION

To meet the needs of an ever-increasing population, a variety of pesticides are widely used in agriculture to combat plagues of diverse crops, increasing productivity and quality of agricultural product. By their nature and their presence in food, water and environment, pesticides are harmful to some forms of life and at certain levels of exposure they may be harmful to humans [1].

Previous studies have shown that exposure to insecticides caused alterations in haematological parameters, and endocrine, reproductive and immune systems. Haratym-Maj [2] has shown that insecticides may cause a mobilization of the haemopoietic system in humans, manifested by a higher level of values of mean numbers of erythrocytes, haemoglobin concentrations and haematocrit as well as leucocytes and monocytes. In addition, growing evidences have also revealed that insecticides can adversely affect endocrine, reproductive and immune systems in both experimental and wildlife animals [3]. A number of studies have also demonstrated that many of these insecticides can be quantified in human reproductive fluids including ovarian follicular fluid and semen [4]. Furthermore, studies conducted on

occupational insecticide workers have shown that exposure to these chemicals caused abortion, stillbirth, male infertility, neonatal deaths, congenital defects and testicular dysfunction [5, 6].

Lorsban is a well known insecticide and its active substances are cypermethrin (20g/l) and chlorpyrifos-ethyl (200g/l). Cypermethrin is extensively used as an ectoparasiticide in animals and as insecticide in crop production and public health programme. At higher doses, cypermethrin can affect the nervous system, decrease growth, increase liver and kidney weights [7]. It has also been shown that cypermethrin induces moderate toxic effects on blood elements and on some of the biochemical functions, including lipoproteins, protein, urea, creatinine, glucose, and total bilirubin in rabbits [8]. In addition, Yousef et al. [9] showed that cypermethrin induced pronounced hazardous effects in several physio-metabolic functions including body weight, feed intake, testosterone levels and reproductive performance of male rabbits.

Chlorpyrifos-ethyl is a broad-spectrum organophosphorus pesticide used as an insecticide to control household pests,

aquatic larvae, mosquitoes, flies, various crop pests in soil and on foliage. It is also used on sheep and cattle for control of ectoparasites [10]. The toxicity of chlorpyrifos is specifically attributed to the inhibition of the enzyme acetylcholinesterase [11]. Previous studies conducted on male rats revealed a decrease in body weight and red blood cell count, increase in platelet count, reduced in serum total protein, albumin and globulin concentrations. A decrease in serum alkaline phosphatase and alanine aminotransferases activities have also been noted [12]. However, some reproductive toxicity studies on chlorpyrifos showed very weak effects on parental reproductive function or no apparent neonatal toxicity in offspring [13,14].

Some previous studies have showed the toxicity of cypermethrin or chlorpyrifos alone on haematological parameters, reproductive performance and hormone levels. Nevertheless, a little is known on the effect of the combination of the two active forms of the pesticide. In spite of lorsban is a widely used insecticide, but to our knowledge there are not enough published data showing the effects of this compound on various haematological parameters and reproductive performance of male rats. Therefore, the present study aimed to investigate the haematological and reproductive toxicity of lorsban in male rats.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Chemicals and Animals

Lorsban (22% EC) is a mixture of two insecticides, cypermethrin (20g/l) and chlorpyrifos-ethyl (200g/l). Cypermethrin [(α -cyano-3-phenoxybenzyl 3 (2-2-dichlorovinyl)-2,2-dimethylcyclopropane carboxylate), (C₂₂ H₁₉ Cl₂NO₃)] is a synthetic pyrethroid. Chlorpyrifos-ethyl [O, O,-diethyl O-(3,5,6-trichloro-

2pyridinyl) phosphorothioate (C₉H₁₁Cl₃NO₃PS)] [7].

Male wistar rats of 4 months of age were used in the present study, with a mean body weight of 350g. Rats were kept singly in plastic cages under standardized animal house conditions (25-28°C, 12L:12D schedule of light and dark, relative humidity (60 ± 5 %), they received a standard pellet feed and water *ad libitum*. The animals were randomly divided into four groups each of 8 rats.

2.2 Lorsban pesticide administration

Lorsban was initially diluted in water. Each animal received daily 1ml of the pesticide throughout the six weeks experimental period. Animals of groups 2,3 and 4 received respectively doses of 5 mg/kg/bw, 10 mg/kg/bw and 15 mg/kg/bw, while those of group 1 served as control. The dose was adjusted weekly according to the average body weight of the rats.

2.3 Body and sex organ weights

Body weight was recorded weekly throughout the study period. At the end of the treatment period, animals were sacrificed and the male reproductive organs (testes, epididymis and seminal vesicles) were quickly removed and weighed individually and then relative organ weights were calculated.

2.4 Haematological analysis

At the end of the experimental period, blood samples were collected by decapitation and placed immediately on ice. EDTA was used as an anticoagulant for determination of selected haematological parameters. Red blood cell (RBC) counts, white blood cell (WBC), haematocrit value (packed cells volume; PCV) and haemoglobin (Hb) level, mean corpuscular haemoglobin (MCH), mean corpuscular haemoglobin concentration (MCHC), mean

corpuscular volume (MCV) were measured using automatic ABACUS counter (Abacus haematology analyzer DIATRON Messtechnik Ges.m.b.H. A-1141 Wien, Ameisgasse 49-51/2. AUSTRIA).

2.5 Sperm and spermatid number

The left testis and epididymis from each rat were excised and cleared off the attached and connective tissue and weighed. After removal of tunica albuginea the testis was minced with scissors and homogenized in 10 ml 0.9% NaCl containing 0.5 % Triton X-100; the homogenate was mixed using vortex mixer. The number of homogenization-resistant spermatids was counted in haemocytometer (Mallassez) chamber. Daily sperm production (DSP) was calculated by dividing the number of homogenization-resistant spermatid by 6.1 [15,16].

The cauda epididymis was cut into small pieces by a disposable blade in 10 ml of 0.9% NaCl containing 0.5 % Triton X-100 and homogenized and spermatozoa were counted as described above. The epididymal sperm transit rate was estimated for each male rat by dividing the epididymal sperm number by the daily sperm production [17].

2.6 Hormones analysis

Blood samples were centrifuged at 2500 rpm for 15 min and plasma was stored at -20°C for later analyses. Plasma testosterone and free thyroxin (FT4) concentrations were measured using an ELISA kit, purchased from DRG diagnostics, GmbH, Germany.

2.7 Statistical analysis

Data were given as arithmetic means ± SEM. Statistical evaluation of the data was performed by Student's t-test and the level of significance was chosen as p<0.05, p<0.01 and p<0.001.

3. RESULTS

3.1 Body weight and relative reproductive organs weight

As shown in Figure 1, there has been decrease (-8 %) in body weight of animals treated with 15 mg/kg of lorsban, compared to control rats (+8 %) during the first experimental week, while there has been a slight increase in body weight of the same animals at the end of the experimental period of about 3.9%. Yet, body weights gain was less pronounced in the other treated animals compared to the control ones. In addition, there were significant (p<0.05) reduction in testes, epididymis and seminal vesicles weights only in rats treated with the highest dose compared to control rats (Table 1).

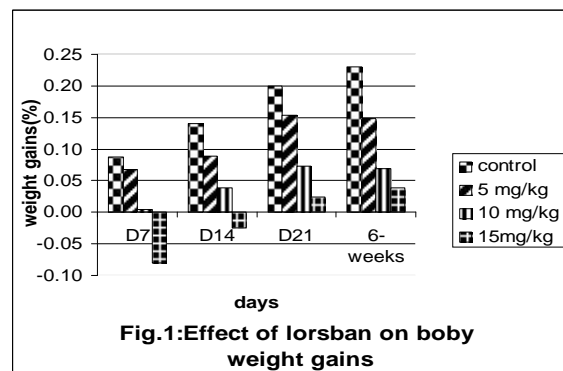


Figure 1. Body weight and relative reproductive organs weight

Table 1. Effect of lorsban on relative weights of reproductive organ (testes, epididymis and seminal vesicles) after 6-weeks treatment period.

Relative weight	Experimental groups			
	Control	5 mg/kg	10 mg/kg	15 mg/kg
Testes (%)	0.47 ± 0.029	0.48 ± 0.015	0.49 ± 0.023	0.39 ± 0.025*
Epididymis (%)	0.16 ± 0.018	0.15 ± 0.014	0.15 ± 0.009	0.13 ± 0.01*
Seminal vesicle (%)	0.064 ± 0.011	0.062 ± 0.007	0.058 ± 0.005	0.051 ± 0.003*

Values are given as mean ± SE. Statistically significant different (*p<0.05) from the control group.

3.2 Haematological parameters

Changes in blood parameters in both control and treated groups are summarized in Table 2. It seems that treatment with lorsban did not alter white blood cells (WBC), haemoglobin (Hb), haematocrit (Ht), mean cell haemoglobin concentration (MCHC) and in red blood cell count (RBC). On the other hand, there was significant decrease in mean corpuscular haemoglobin (MCH) and in mean corpuscular volume (MCV) in the experiment animals compared to the control at any doses. Meanwhile lorsban caused increase in thrombocyte (PL) number in group treated with the highest dose of lorsban.

Table 2. Changes in haematological parameters of male rats orally administered lorsban for 6 weeks.

Parameters	Experimental groups			
	Control	5 mg/kg	10mg/kg	15mg/kg
RBC($10^{12}/l$)	9.0±0.32	9.0 ±0.52	8.7 ±0.74	8.0±0.52*
HB (g/dl)	15± 0.36	15 ± 0.66	14±0.87	13± 0.57*
Ht (%)	50±1.47	51±2.13	48 ±2.71	47± 1.57*
WBC($10^9/l$)	7.6±0.96	8.5 ±0.79	8.1 ± 0.96	8.7±0.97*
PL ($10^9/l$)	603±53	644± 89	649±73	664 ± 38*
MCV (fl)	58±1.16	55±2.18*	53 ±2.31**	52±1.76**
MCH (pg)	17±0.50	16±0.99*	15±0.67*	13±0.51**
MCHC(g/dl)	30±0.59	29±1.17	30±0.48	28±0.49*

Values are given as mean ± standard error. Statistically significant different (*P<0.05, **P<0.01) from the control group.

3.3 Semen parameters

Spermatid number and sperm counts, daily sperm production and sperm transit rate are presented in Table 3. The observed low testis and epididymis weights in group treated with lorsban at highest dose (15mg/kg) were accompanied by the reduction in testicular spermatids count and sperm count from caudal epididymis as well as daily sperm production (p<0.001). In addition, the results showed a decline in sperm counts at dose 10 mg/kg bw (P<0.01). Moreover, an increase in sperm

transit rate (p<0.05) at the highest dose was recorded.

Table 3. Effect of 6 weeks oral administration of lorsban on spermatids number, sperm count, daily sperm production and sperm transit rate of adult male rats.

Parameters	Experimental groups			
	Control	5mg/kg	10mg/kg	15mg/kg
Spermatids number ($\times 10^6$)	219±33	201±27	190±37	107±30***
Sperm count($\times 10^6$)	139±2.1	132±32.8	100±21.6*	82±10.4**
Daily sperm production($\times 10^6$)	44±5.4	41±4.5	39±6.1	26±4.8***
Sperm transit rate (days)	4.07±0.57	4.2±0.98	4.4±0.53	4.9±0.42*

Results are expressed as mean ± standard error, statistically significant different (*P<0.05; **P<0.01; ***P<0.001) from the control group.

3.4 Hormone levels

Changes in serum levels of testosterone and free thyroxin (FT4) following Lorsban administrated presented in Table 4. The concentration of serum testosterone was extensively decreased (p<0.01) only in rats treated with the highest dose (15 mg/kg bw). However, the level of FT4 was significant (p<0.05) increase mainly in the same group of animals.

Table 4. Effect of 6 weeks oral administration of lorsban on plasma testosterone and thyroxin levels of adult male rats.

Hormone concentration	Experimental groups			
	Control	5mg/kg	10mg/kg	15mg/kg
FT4 (pmol/l)	11.88±1.39	12.21±1.55	12.57±0.90	14. 24±0.90*
Testosterone (nmol/l)	13.07 ±1.19	12.82±1.24	12.54±1.97	7.33±1.03**

Results are expressed as mean ± standard error, *p<0.05; **p<0.01.

4. DISCUSSION

In the present study there was a significant decrease in body weight gains of rats treated with lorsban at all doses

compared to control animals mainly by a decrease in both food and water consumption (data not presented). Aldana et al. [18] reported a statistically significant decrease in body weight after administration of 300 mg/kg cypermethrin to male rats for 7 days. Furthermore, body weight gain and water intake were reduced in male rats ingested 2.13 mg/animal/ day abamectin [19].

In the present study, rats treated with lorsban showed insignificant changes in erythrocyte count, haematocrit value and haemoglobin content compared to the control group. This result is consistent with the result reported in literature that organophosphates insecticides caused changes of some haematological and biochemical parameters in experimental animals [20]. The main haematological response of male rats to the sub-chronic exposure to lorsban pesticide was a significant decrease in MCV and MCH in any treatment and an increase in thrombocyte (PL) number (Table 2) in the group treated with the higher dose which may be due to microcytic anemia and thrombocytosis. Similarly, Kalender et al. [21] observed increase of thrombocytes in rats treated with 10 mg/kg, per day diazinon for 7 weeks, whereas Ratnasooriya et al. [22] observed a reduction in MCV in male rats treated with the pyrethroid Lambda cyalothrin at 100 mg/kg /bw for 7 days. Also, Yousef et al. [8] reported that cypermethrin caused alterations in the haematological parameters of rabbits.

According to the results reported in this work, the high dose of lorsban has adverse effects on reproductive parameters. In recent years, there has been increasing concern regarding potential adverse effects of various environmental contaminants designed as endocrine disruptors/hormonally active agents. These concerns have originated in part, from observations of developmental and reproductive disorders in wildlife

populations exposed to wide range of synthetic chemicals such as pesticides that have been released into the environment in large amount since the World War II. Subsequently, several incidents in wildlife population strongly correlated the decreased reproductive capacity with specific industrial chemicals [6].

The present data showed that, there was a significant reduction ($p < 0.05$) in all reproductive organ weights (testes, epididymis and seminal vesicles) at the highest dose (15 mg/kg/ bw) of lorsban. These findings are in accordance with Latchoumycandane et al. [23] who reported that the administration of methoxychlor for 7 days in adult rats caused a reduction in the weights of the epididymis, seminal vesicles, and ventral prostate. Also, Yousef et al. [9] found that rabbits gavaged with 24 mg/kg/bw of cypermethrin showed a reduction in body weight and in relative weight of testes and epididymis, and serum testosterone concentrations.

In deltamethrin-treated animals, the absolute and relative weights of sex accessory organs (ventral prostate and seminal vesicle) appeared to decrease in a dose-related manner. Also, testicular and epididymal absolute weights were significantly reduced in male offspring rats exposed to the highest dose of deltamethrin (4.0 mg/kg) when compared to control animals [24]. In addition, relative and absolute ovaries and the absolute seminal vesicles weights in F0 rats, and the weights of testes and ventral prostate of F1 were decreased at 100mg/kg/bw chlorpyrifos-methyl [25].

The present results indicated that lorsban at dose 15 mg/kg/bw caused a significant ($p < 0.01$) decrease in testis spermatid number, epididymal sperm count and daily sperm production compared with the control animals. The observed decrease in semen characteristics could be explained by the fact that lorsban acted directly on the

testes and affected the androgen biosynthesis pathway which regulates the weight, size and secretory function of testes, epididymes, seminal vesicles, ventral prostate and vas deferens. In accordance with these results, sub-lethal doses of organophosphate pesticides lead to alterations in reproductive performance in birds and mammals [26]. There are some possible mechanisms for the antigonadal action of organophosphates, they may exert a direct inhibitory action on the testis and affect androgen biosynthesis pathways, affect the pituitary gland, causing changes in gonadotrophin concentrations and thus subsequent spermatogenic impairment or they may change the concentration of neurotransmitters [27]. Also, some authors noted a reduction in epididymal sperm counts, testicular sperm counts and daily sperm production by many pesticides. Results conducted by Yousef et al. [8] showed that treating rabbits with the pyrethroid cypermethrin caused a significant decline in ejaculate volume, sperm concentration, total sperm output, sperm motility, total motile sperm per ejaculate and packed sperm volume, increased the numbers of abnormal and dead sperm.

It is clear that there is a relationship between the production of sperm, the level of testosterone and the leydig cells. The fall in serum testosterone levels in lorsban exposed rats is consistent with previous data showing alteration in leydig cells [28]. Methoxychlor decreased serum concentration of testosterone [30]. The study of Banbino and Hsueti [31] suggested an interaction of pesticides with hypothalamo-pituitary gonadal axis controlling spermatogenesis and may also interact directly with sertoli or leydig cells responsible for testicular production of proteins involved in the transport and the production of testosterone.

The reduction in serum testosterone concentrations (Table 4) is in agreement with the findings conducted by Elbetieha et

al. [31] and Yousef et al. [9] who found that serum level of testosterone, follicle-stimulating hormone and luteinizing hormone were significantly reduced in male rats and rabbits exposed to cypermethrin. Jeong et al. [25] reported that chlopyriphos-methyl (10 or 100mg/kg/bw) induced suppression of estrogen, androgen and T4 in dose-dependency when exposed during prenatal and postnatal period until 13 weeks old in F1 male rats. Also, treatment of male rats from postnatal day 22 to 48 with atrazine (50mg/kg/bw) reduced both serum and intratesticular testosterone concentrations by approximately 50% and LH-stimulated hormone in cultured leydig cells suggests that atrazine inhibits testosterone production rather than increasing catabolism [32]. These effects on testosterone were attributed to the fall in serum LH, since LH serves as a normal stimulus for the secretion of this steroid from the testicular Lydig cells.

There is growing evidence that environmental chemicals can disrupt endocrine systems. Most evidence originates from studies on reproductive organs. However, there is also suspicion that thyroid homeostasis may be disrupted. There are few studies existing on the effects of pesticides on the thyroid function. DDT exposure of birds decreased T4 [33]. In contrast, our results showed an increase in serum FT4 level in group treated with the highest dose (15mg/kg/bw). This effect may be due to the interaction between the pesticide and thyroxine binding protein causing abnormal binding protein which involved in an increase in the level of FT4. The increase of FT4 being in accordance with reported data by Calvert et al. [35] which showed an increment in the levels of FT4 in 278 workers employed in the manufacture of 2,4,5,-trichlorophenol contaminated with dioxin (TCDD). Hagmar [35] reviewed 13 studies (among them 6 in neonates and infants) and showed contradictory data on the increase, decrease or no change of FT4, TT3 and TSH levels.

5. CONCLUSION

From the obtained results, the sub-chronic exposure to the low doses of Lorsban (5 and 10 mg/kg/day) did not show harmful effects on haematological and semen characteristics, and the levels on testosterone and thyroxin while, the high dose of lorsban (15 mg/kg/day) showed toxic effects on blood indices and fertility of male rats. Therefore, it is recommended that there must be great care when using any insecticide to control insects.

Abbreviations:

MCH : mean corpuscular haemoglobin;
 MCV : mean corpuscular volume;
 WBC : white blood cells;
 Hb : haemoglobin;
 Ht : haematocrit value;
 MCHC : mean cell haemoglobin concentration;
 RBC : red blood cells;
 PL : thrombocyte;
 FT4 : plasma free thyroxin levels.

Références

- [1] K. M. Presibella, D. H. Kita, C. B. Carneiro, Anderson J.M Andrade, P.R. Dalsenter, Reproductive evaluation of two pesticides combined (deltamethrin and endosulfan) in female rats, *Reproductive Toxicology*, vol. 20, 2005, p.95–101.
- [2] A. Haratym-Maj, Hematological alternations after pyrethroids poisoning in mice, *Ann. Agric. Environ. Med.*, vol. 9, 2002, p.199–206.
- [3] M.G. Wade, W.G. Foster, E.V. Younglai, A McMahon, K. Leingarter, A. Yagminas, D. Blakey, M. Fournier, D. Desaulniers, C.L. Hughes, Effects of subchronic exposure to a complex mixture of persistent contaminants in male rats: Systemic, immune and reproductive effects, *Toxicol. Sci.*, vol.67, 2002, p.131–143.
- [4] W. Foster, S. Chan, L. Platt, C. Hughes, Detection of endocrine disrupting chemicals in samples of second trimester human amniotic fluid, *J. Clin. Metab.*, vol.85, 2000, p.2954–2957.
- [5] R. Kumar, N. Pant, S.P. Srivasta, Chlorinated pesticides and heavy metals in human semen, *Int. J. Androl.*, Vol.23, 2000, p.145–149.
- [6] B. Saradha, P.P. Mathur, Effect of environmental contaminants on male reproduction, *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, Vol.21, 2006, p.34–41.
- [7] WHO, World Health Organisation, Environmental health criteria 130.
- [8] M.I. Yousef, F.M. El-Demerdash, K.I. Kamel, K.S. Al-Salhen, Changes in some hematological and biochemical indices of rabbits induced by isoflavones and cypermethrin, *Toxicology*, vol.189, Issue A, 2003, p.223–234.
- [9] M.I Yousef, F. M. El-Demerdash, K. S. Al-Salhen, Protective role of isoflavones against the toxic effect of cypermethrin on semen quality and testosterone levels of rabbits, *J. Environ. Sci. Health*, vol. 38, Issue 4B, 2003, p. 463–478.
- [10] W.J. Hayes, E.R. Laws, Organic Phosphorus Pesticides. In *Handbook of Pesticide Toxicology*, Academic Press Inc., 1991, p.1039–1067.
- [11] D.J. Ecobichon, Toxic effects of pesticides, In: C.D. Klassen, M.O. Amdur, J. Doull, (Eds.), *Casarett and Doull's Toxicology, the Basic Science of Poisons*, McGraw-Hill, New York. 1996, p.643–689.
- [12] WHO, World health organisation, Pesticide residues in food, Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues, 1999, Report 153.
- [13] K.M. Ashry, F.R. Ali, Y.A. Hussein, S.M. Hamza, M.B. Abou-Donia, Inhibition of total and individual molecular forms of acetylcholinesterase (AChE) activity in

pregnant rats and fetuses following a single oral dose of chlorpyrifos, *Toxicology*, vol.14, 1994, p.910–921.

[14] W.J. Breslin, A.B. Liberacki, D.A. Dittenber, J.F. Quast, Evaluation of the developmental and reproductive toxicity of chlorpyrifos in the rat, *Fundam. Appl. Toxicol.*, vol. 29, 1996, p.119–130.

[15] G.W. Robb, R.P. Amann, G.J. Killian, Daily sperm production and epididymal sperm reserves of pubertal and adult rats, *J. Reprod. Ferti.*, vol. 54, 1978, p.103–107.

[16] W. F. Blazak, K. A. Trienen, P. E. Juniewicz, Application of testicular sperm head counts in the assessment of male reproductive toxicity, In:Chapin, R.E. Heindel, (Eds) *Methods in Toxicology, J. Male Reproductive Toxicology*, vol.3A., Academic Press, San Diego 1993, p.86–94.

[17] R.P. Amman, L. Johnson, D.L. Thompson, B.W. Pickett, Daily spermatozoal production, epididymal spermatozoal reserves and transit time of spermatozoa through the epididymides of the rhesus monkey, *Biol. Reprod.*, vol.15, 1976, p.586–592.

[18] L. Aldana, V. Tsutsumi, A. Craigmill, M.I. Silcira, E.I DeMejia, Tocopherol modulates liver toxicity of the pyrethroid cypermethrin, *Toxicol. Lett.*, Vol.125, 2001, p.325–329.

[19] A. Elbetieha, S.I. Da'as, Assessment of antifertility activities of abamectin pesticide in male rats, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 55, 2003, p.307–313.

[20] S. Kalender, A. Ogutcu, M. Uzunhisarcikli, F. Acikgoz, D. Durak, Y. Ulusoy, Y. Kalender, Diazinon-induced hepatotoxicity and protective effect of Vitamin E on some biochemical indices and ultrastructural changes, *Toxicology*, vol.211, 2005, p.197–206.

[21] Y. Kalender, M. Uzunhisarcikli, A. Ogutcu, F. Acikgoz, S. Kalender, Effects of diazinon on pseudocholinesterase activity and haematological indices in rats: The protective role of vitamin E, *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, vol. 22, 2006, p.46–51.

[22] W.D. Ratnasooriya, S.S.K. Ratnayake, Y.N.A. Jayatunga, Effects of pyrethroid insecticide ICON (lambda cyhalothrin) on reproductive competence of male rats, *Asian J. Androl.*, vol. 4, Issue1, 2002, p.35–41.

[23] C. Latchoumycandane, K.C. Chitra, P.P. Mathur, The effect of methoxychlor on the epididymal antioxidant system of adult rats, *Reprod. Toxicol.*, vol.16, 2002, p.161–172.

[24] A.J.M. Andrade, S. Araujo, G.M. Santana, M. Ohi, P.R. Dalsenter, Reproductive effects of deltamethrin on male offspring of rats exposed during pregnancy and lactation, *Regulat. Toxicol. Pharmacol.*, vol.36, 2002, p.310–317.

[25] S. Jeong, B. Kim, H. Kang, H. Ku, J. Cho, Effect of chlorpyrifos-methyl on steroid and thyroid hormones in rat F0- and F1- generations, *Toxicology*, vol.220, 2006, p.189–202.

[26] S.K. Maitra, R. Sarkar, Morphological study of the testes in relation to the brain and testicular acetylcholinesterase activity in an organophosphate pesticide ingested wild passerine bird *Lonchura malabarica*, *Folia Biologica*, vol. 43, 1995, p.143–149.

[27] R. Sarkar, K.P. Mohanakumar, M. Chowdhury, Effects of an organophosphate pesticide, quinalphos, on the hypothalamo-pituitary-gonadal axis in adult male rats, *J. Reprod. Fert.*, vol.18, 2000, p.29–38.

[28] G. Pino-Lataillade, A. Thoreux-Manlay, H. Coffigny, R. Masse, J.C. Soufir, Reproductive toxicity of chronic lead

exposure in male and female mice, *Hum. Exp. Toxicol.*, vol.14, 1995, p.872–881.

[29] A. Lafuente, N. Marquez, Y. Pousada, D. Pazo, A.I. Esquifino, Possible estrogenic and/or antiandrogenic effects of methoxychlor on prolactin release in male rats, *Arch. Toxicol.*, vol.74, 2000, p.270–281.

[30] T.H. Banbino, A.J.W. Hsueh, Direct inhibitory effect of glucocorticoids upon testicular luteinizing hormone receptor and steroidogenesis *in vivo* and *in vitro*, *Endocrinology*, vol.108, 1981, p.2142–2151.

[31] A. Elbetieha, S.I. Da'as, W. Khamas, H. Darmani, Evaluation of the toxic potentials of cypermethrin pesticide on some reproductive and fertility parameters in the male rats, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, vol.41, 2001, p.522–528.

[32] A.S. Friedmann, Atrazine inhibition of testosterone production in rat males following peripubertal exposure, *Reproductive Toxicology*, vol.16, 2002, p.275–279.

[33] E.J. Scollon, J.A. Carr, G.P. Cobb, The effect of flight, fasting and p,p0-DDT on thyroid hormones and corticosterone in Gambel's white-crowned sparrow, *Zonotrichia leucophrys gambelli*. *Comparative Biochemistry and Physiology, Toxicol. Pharmacol.*, vol.137, 2004, p.179–189.

[34] G.M. Calvert, M.H. Sweeney, J. Deddens, Evaluation of diabetes mellitus, serum glucose, and thyroid function among United States workers exposed to 2,3,7,8,-tetrachlorodibenzo-p-dioxin, *Occup. Environ. Med.*, vol.56, 1999, p.270–276.

[35] L. Hagmar, Polychlorinated biphenyls and thyroid status in humans, *Thyroid*, vol.13, 2003, p.1021–1028.

Evaluation of weather station network in Jordan

تقييم شبكة الرصد الجوي في الأردن

حامد موسى الخطيب

كلية المعلمين، جامعة طيبة المدينة المنورة، ص. 1343، المملكة العربية السعودية.

Accepté le 12/06/2008

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم توزيع المحطات المناخية في الأردن وفق معيار منظمة الأرصاد العالمية من خلال استخدام المعدل اليومي لدرجة 35 محطة مناخية. تكمن أهمية هذه الدراسة في إبراز مدى أهمية توزيع المحطات المناخية على مختلف مناطق الأردن بصورة يمكن استخدام بياناتها المناخية في الدراسات المناخية التطبيقية. اعتمدت هذه الدراسة على تقسيم الأردن إلى (18) منطقة جغرافية بناءً على التجانس وتم تطبيق التحليل العملي على المعدل اليومي لدرجة 2001-1999.

$$0,6 \quad 1000/ \quad 2$$

تبيّن من خلال هذه الدر معدل تباعد المحطات المناخية في الأردن يصل إلى 115 .
5 عوامل بناءً على تطبيق التحليل العملي وقد استطاعت هذه العوامل تفسير نحو 92% من قيمة التباين في

بينما استطاعت درجة الحرارة الصغرى إبراز 11 عاملاً تمكنت من تفسير نحو 99% التباين الموجود في درجات الحرارة الصغرى. وباستخدام تشبعت العوامل الناجمة من التحليل العملي في تطبيق التحليل العنقودي ظهرت عشر مناطق مناخية تمثل أقاليم مناخية. من خلال تطبيق النموذج الإحصائي المعروف بالانحدار البسيط وباستخدام معاملات الارتباط بين المحطات المناخية وبين المسافة بين هذه المحطات لم يتضح وجود علاقة قوية بين هذين المتغيرين. هذا يؤكد بأن درجة الحرارة لوحدها لا يمكنها التمييز بصورة دقيقة بين الأقاليم المناخية. فهناك عوامل أخرى مثل عامل الارتفاع والمواجهة والتضرس.

الغربي من الأردن يعد أكثر المناطق الجغرافية تعقيداً فهو يحتاج إلى كثافة عالية من المحطات المناخية يلي ذلك المناطق الصحراوية. يبدو من خلال هذه الدراسة أن عدد المحطات في المناطق التي يزيد معدل الأمطار بها عن 200 ملم يعد كافيًا وأن المناطق الصحراوية التي تقع إلى الشرق من هذا الخط فتحتاج إلى محطات إضافية. وقد اقترحت الدراسة إقامة ثلاث محطات مناخية إضافية واحدة في وادي عربيه والأخرى على الشاطئ الشرقي للبحر الميت والثا

(25)

مناخية في المناطق التي يوجد بها اكتظاظ إجراء دراسة مماثلة لتقييم شبكة الرصد الخاصة بالأمطار.

الكلمات المفتاحية: مناخية مناخية تحليل عملي

Résumé

Ce travail consiste en l'étude de la distribution des stations météorologiques en Jordanie selon le standard de l'organisation mondiale de la météorologie par l'utilisation de la moyenne journalière des températures minimum et maximum dans 35 stations. L'objectif est de montrer l'importance de l'optimisation de cette distribution pour une meilleure utilisation des données météorologiques. Le pays a été partagé en 18 zones en tenant compte de l'homogénéité topographique. L'analyse paramétrique de la moyenne journalière des températures minimum et maximum a été effectuée durant la période 1999-2001. Il en ressort que la densité du réseau en Jordanie a atteint 0.6 stations/1000Km². La distance entre les stations du réseau jordanien atteint en moyenne 115 Km. L'évolution des températures maximum (minimum) a généré 5 (11) paramètres qui ont permis d'élucider à 92% (99%) les variations enregistrées. L'application de l'analyse polynomiale en utilisant la saturation des paramètres obtenus par l'analyse paramétrique fait apparaître 10 zones météorologiques en Jordanie. En revanche, la régression linéaire de la relation entre la disposition des stations et les distances qui les séparent ne montre pas une relation directe. Il est déduit que la variation de température seule ne peut pas permettre de différencier les zones météorologiques. En effet, l'altitude et le relief constituent également des paramètres déterminant. L'étude a montré que le nord-ouest de la Jordanie est la région la plus complexe, nécessitant une plus grande couverture par les stations, suivie par les régions centre et sud. Il a été montré également que les zones où la pluviométrie dépasse 200mm sont suffisamment couvertes. L'étude recommande d'une part l'installation de 3 nouvelles stations à oued Araba, sur les rives est de la mer morte et enfin au sud-est du pays, et d'autre la suppression de 25 stations dans les régions où la densité de couverture est élevée.

Mots clés : Jordanie; station météorologique; zones climatiques; analyse paramétrique; régression linéaire.

Extended Abstract

This study aims to evaluate weather stations distribution in Jordan according to the World Meteorological Organization (WMO) criteria; using the daily average maximum and minimum temperatures in 35 climatic stations. Significance of this study lies in highlighting the importance of weather stations distribution on areas of Jordan, which enables researchers utilize climatic statistics available there in applied climatological studies. Some areas in Jordan suffer from rareness of such stations while other such as the northern and middle areas, enjoy intensity of climatic stations. This study depended on dividing Jordan, according to geographical homogeneity, into 18 geographical areas. Factor analysis was applied on the maximum and minimum daily average temperatures in 35 climatic stations during the period 1999 to 2001. Loading factors resulting from the analysis of the climatic stations allowed determining the homogeneous climatic areas. Cluster analysis was also applied on results of the factor analysis of similar station compounds for one cluster after determining the stations of each cluster; then each cluster was mapped by a line determining approximately the climatic region borders. A table of homogeneous climatic stations was prepared; associated with the area, number of stations along with sufficiency or rareness reference in each region according to the WMO criteria which is one station per 1000 km². Correlation coefficient among the stations was calculated according to maximum and minimum temperatures. These coefficients were used in a simple regression pattern among distance between stations and their correlating coefficients. This study showed that intensity of the weather station network in Jordan was 0.6 stations per 1000 km²; however, these stations were not fairly distributed. The desert area seemed void of climatic stations; the northern area had 4 stations per 1000 km²; whereas the southern and middle zones showed fair station distributions. The Jordanian weather stations' network is considered reasonable in comparison with other countries, since the average distance between the climatic stations is 115 km in Jordan and 155 km in Turkey. However, it is 35 km in New Zealand and 28 km in Ireland. Maximum temperatures highlighted 5 factors through applying factor analysis. These factors explained around 92% of the variance values of maximum temperatures<; On the other hand, minimum temperatures showed 11 factors, which explained 99% of variance existing in minimum temperatures; i.e., minimum temperatures were better to utilize than maximum temperatures in distinguishing the climatic regions in Jordan. Based on factor loading analysis, it is found that 10 climatic areas representing climatic regions describe correctly the whole country. No statistically significant correlation was found when applying simple regression between the stations (depending on the max and min temperatures) and distances among stations. This means that the parameter distance among the stations was not an indication to distinguish climatic regions in Jordan. This finding emphasizes that temperature alone can not precisely distinguish the climatic regions. There must be other factors as important as temperature, such as altitude or other geographical features which should be considered. The study showed the south-western corner of Jordan was the most geographically complex region; hence, it needs high intensity of climatic stations. However, the next is the middle then the desert areas. It also showed that 8 areas have too many climatic stations. The number of stations, in areas with an average rainfall exceeding 200 mm, is considered as sufficient. In addition, eastern desert areas were considered in need for additional climatic stations. The study suggests establishing three more stations: in Arabah Valley, the second on the eastern coast of the Dead Sea and the third in the south-eastern corner of Jordan. The study recommends disestablishment of 25 stations in intensive areas and transference of the power in these extra stations into establishing new research studies to evaluate the rain weather stations network.

Key words: Jordan; climatic station; climatic areas; parametric analysis; linear regression.

.1

وبمكتب آخر في القدس عام 1952، أصبحت دائرة
1967، انضمت لعضوية
منظمة الأرصاد الجوية العالمية (W.M.O) عام
1955 وهي عضو في اللجنة الدائمة للأرصاد الجوية
العربية التابعة لجامعة الدول العربية منذ عام 1972
تضم الدائرة حالياً (304) موظف، منهم (170)
[1].

رغم أن الرصد الجوي في الدول المتقدمة بدأ
مبكراً، إلا أن مهامه انحصرت في أمور أكاديمية بحثية
خلال الفترة التي سبقت نهاية القرن السابع عشر، منذ

نأت أول محطة للرصد الجوي في الأردن عام
1922. تم افتتاح محطة مطار عمان المدني المعروف
سابقاً بمطار ماركا في اليوم الأول من العام نفسه، ثم
أقيمت خمس محطات أخرى خلال عقد الخمسينات،
استمر إقامة المحطة المناخية إلى يومنا هذا، حيث تم
افتتاح أحدث محطة خلال عام 2001 في مدينة
الزرقاء، وبذلك يصبح عدد المحطات المناخية العاملة
(56) (1) .

بدأت الأرصاد الجوية في المملكة مهامها بمكتب
للرصد الجوي في مطار عمان المدني عام 1951،

التي تحتويها مرة كل ثلاث ساعات، وترسل مباشرة إلى المركز الوطني للتنبؤات بواسطة التلفزيون أو التلفزيون أو الفاكس أو شبكة الحاسبات الإلكترونية، كما يتم تزويد شبكة الرصد العالمي بهذه البيانات، لأن هذه المحطات معتمدة عالمياً، وتضم هذه المحطات الأجهزة التالية: باروميتر زئبقي، باروغراف، جهاز قياس سرعة الرياح واتجاهها، ثيرموغراف، الهايجروغراف، ميزان الحرارة العظمى، ميزان الحرارة الصغرى، حوض التبخر، جهاز بيشة، جهاز قياس سطوع الشمس، جهاز كمية الإشعاع الشمسي، جهاز المطر الآلي، جهاز مطر عادي، ميزان حرارة التربة، ميزان حرارة العشب، ميزان لقياس كمية الندى، وتتوفر في الأردن تسع محطات من هذا النوع (1).

2 - محطات الدرجة الثانية (المحطات السينو بتكية الوطنية): يتوفر فيها الأجهزة السابقة نفسها، ولكن يتم تبادل المعلومات على المستوى الوطني فقط، وترسل المعلومات التي يتم الحصول عليها من هذه المحطات بواسطة الوسائل السابق ذكرها ما عدا وسيلة شبكة الحاسبات الإلكترونية، ويتوفر في الأردن من هذا النوع (15) محطة. علماً بأن محطات الفئة الأولى والثانية يتوفر فيها مبنى خاص، ويتم تشغيل كل محطة 4-6 موظفين يتناوبون في تشغيلها والإشراف عليها.

أما محطات الدرجة الثالثة، وتحتوي معظم أجهزة محطات الفئة الثانية، ولكن الاختلاف بينهما ينحصر بعدم وجود موظفين مقيمين في هذه المحطات، ولا تؤخذ القراءات بشكل ثابت، فقد تأخذ مرة كل يوم أو مرة كل أسبوع، إلا أن هذا النوع في الأردن يشرف عليه متطوعون أو أفراد مقابل مكافآت مالية شهرية، تؤخذ قراءات الأجهزة مرتين في اليوم (الساعة 600 والساعة 1200 بتوقيت غرينتش). وترسل تقارير شهرية من قبل هؤلاء المتطوعين إلى دائرة الأرصاد الجوية كل شهر، ويبلغ عدد المحطات من هذه الدرجة (32).

يتوفر في الأردن نوعين من المحطات المناخية تقع ضمن النوع الأول أو النوع الثاني ولها وظائف إضافية تتعلق في النوع الأول بالزراعة وتشمل تسع محطات، وتتميز هذه المحطات بأنها تضم أجهزة خاصة لقياس رطوبة التربة، وبعضها يحتوي على جهاز لايومتر لقياس مقدار التبخر / النتج، أما النوع الثاني فهي لمناخية التي توجد ضمن المطارات المدنية والعسكرية، وعددها سبع، وتتميز هذه المحطات بأنها تزود الطيارين بنشرات جوية مباشرة عن حالة الجو فضلاً عن القياسات المبرمجة التي تبث أو ترسل

مع التطور العلمي المتسارع في وسائل جمع وتخزينها مراجعتها وتحليلها، أصيبت مهام جديدة للراصد الجويين مثل مراقبة نوعية الهواء، تحديد ملوثاته ومراقبة تراجع طبقة الأوزون. مما ساعد على هذا التوسع في مهام دوائر الرصد الجوي التطور الصناعي وما ينتج عنه من ملوثات هوائية، كما ساهم نمو المدن في استشراف ظاهرة التلوث الجوي، حتى أصبح نحو 30% من سكان العالم يقطنون ضمن المدن ومن المعروف أن للمدن الكبرى وضماً مناخياً يختلف عن النسق العام المحيط بها، فعلى سبيل المثال ترتفع درجة حرارة مدينة منسك في روسيا الاتحادية درجة مئوية واحدة عما حولها كل 10 سنوات، وأن أمطار المدينة نفسها قد زادت خلال الخمسين سنة الأخيرة 80 ملم عن المناطق المحيطة بها، وتشير بعض التقارير إلى أن نسبة الأيام التي يتشكل فيها الضباب في ياريفان (عاصمة أرمينيا) تزيد أربعة مرات عما هي عليه في المناطق المحيطة بها، كما تبين أن درجة الحرارة في مدينة كازان في روسيا الاتحادية قد ارتفعت خلال (172) سنة نحو (2,06 م°)، بينما لم ترتفع سوى (1,2 م°) في البلدات القريبة ونحو (0,5 م°) في المناطق الريفية المحيطة بها، كما أن درجة حرارة مدينة موسكو أعلى من درجة حرارة المناطق المحيطة بها والتي تعلوها بنحو (200-300) [4]

تكاد تتشابه مهمات وواجبات معظم دوائر ومكاتب الرصد الجوي في العالم وتتنحصر هذه الأهداف فيمايلي:

- إنشاء شبكة محطات الرصد الجوي وتشغيلها والإشراف عليها.
- إنشاء نظام اتصال سريع لتبادل معلومات الأرصاد الجوية محلياً ودولياً.
- تقديم خدمات الأرصاد الجوية لمختلف القطاعات،
- تزويد الباحثين بالبيانات والمعلومات المناخية.
- إعداد وتدريب الكوادر الفنية والإدارية في الدائرة [1]

2.1. تصنيف المحطات المناخية

يختلف مستوى المحطات المناخية في المملكة وفي بقية دول العالم من محطة إلى أخرى، وبناءً على تصنيف منظمة الأرصاد العالمية فإن المحطات المناخية تصنف إلى ثلاثة مستويات (باستثناء المحطات المطرية) وهي:

1 - محطات الدرجة الأولى الأساسية (وتدعى المحطات السينو بتكية الإقليمية): تؤخذ قراءات الأجهزة

المخططات المناخية العالمية في

التصنيف	التاريخ		التصنيف	التاريخ		
	1/2/1967		29	1/1/1922		1
	1/5/1967	القاسمية	30	1/1/1953		2
	1/1/1970		31	1/1/1955		3
	1/1/1970	العلوم والتكنولوجيا	32	1/1/1956		4
	1/3/1973	الطبية	33	1/9/1959		5
	1/1/1974		34	1/1/1961	الرويشد	6
	1/1/1976		35	1/1/1969		7
	1/1/1980	الغوير	36	4/7/1970	مطار الملكة علياء	8
	1/11/1980		37	1/1/1974		9
	1/5/1984		38	1/1/1952	دير علا	10
	1/1/1991		39	1/1/1955		11
	1/1/1991	الرشادية	40	1/1/1960		12
	1/1/1991		41	1/1/1960		13
	1/1/1991	الخالدية	42	1/1/1960	وادي الريان	14
	1/9/1995	جامعة آل البيت	43	1/1/1964		15
	1/11/1995		44	15/4/1967		16
	1/10/1995		45	11/11/1967	وادي الضليل	17
	1/10/1997		46	1/1/1973	/ الطفيلة	18
	1/1/1998		47	1/1/1976		19
	1/1/1999	الجامعة الهاشمية	48	1/8/1976	رأس منيف	20
	1/1/1999	العيص / الطفيلة	49	1/11/1980		21
	2000	الوهيدة	50	1/8/1983		22
	2000		51	1/1/1985	صويلح	23
	2000	الفجيح	52	2001		24
	1/10/2000		53	1/7/1960	امعة الأردنية	25
	1/12/2000		54	1/1/1961		26
	2001	اليوبيل	55	12/9/1961		27
	2001		56	1/9/1965		28

: دائرة الأرصاد الجوية بيانات غير منشورة.

2. المخطط العام للمحطات المناخية وتحديد مواضعها

تعتمد دائرة الأرصاد الجوية عند إقامة المحطات المناخية مخططاً عاماً حددته منظمة الأرصاد الجوية العالمية لمنتصف الكرة الشمالي، بحيث تمتد المحطة إلى الجنوب بطول 10 م، ومن الشرق إلى الغرب بطول 7 م، تنتوزع الأجهزة داخل المساحة المحددة وفق نسق خاص يبدو واضحاً في الشكل 2 [5].

يجب أن تقام المحطة المناخية في منطقة مفتوحة مستوية، على أن لا تكون ضمن حفرة أو على منحدر، أن لا يزيد مجموع ارتفاع المناطق المجاورة لها ببعيد شعاعي في جميع الاتجاهات من المحطة قدره 8 كم لا يزيد عن (300) متر، وأن تكون المحطة بعيدة عن البنايات والأسوار المجاورة بما يعادل (10) أضعاف ارتفاع هذه العوائق، ويفضل إقامة / راحة مصدات مناسبة للرياح ليصبح قياس كمية الأمطار أقرب للحقيقة، كما يفضل أن يعلقن الأعشاب المحلية حول المحطة، أو إحاطتها بتربة محلية على أن لا تحاط

برصفات أسمنتية أو أسفالتية، وإذا تعذر تجنب إقامة بعض الأبنية أو المشاريع العمرانية قرب إحدى فيجب إقامة أخرى بدلاً منها في مناسب، على أن تعمل المحطتان فترة من الوقت قبل، حتى يتمكن المعنيون من إيجاد علاقة فيما بين السجلات القديمة والسجلات الحديثة، ويجب أن لا يتم تغيير موقع أية محطة قبل (10) سنوات من إنشائها، كما يجب أن لا تستبدل أجهزتها قبل انقضاء الفترة نفسها [6].

تعتمد العديد من الأسس والطرق في تحديد كثافة شبكة الرصد الجوي في كل دولة بعضها مبني على أساس الكثافة السكانية، وبعضها مبني على أساس استخدام الأرض، فضلاً عن التجانس الطبوغرافي بشكل عام والتجانس المناخي بشكل خاص، وهناك اعتبارات اقتصادية وأخرى فنية، إلا أن بدايات تشكيل شبكات الرصد الجوي كانت تعتمد في الدرجة الأولى نري، ومع ازدياد الاهتمام بعناصر الطقس، والتغيرات المناخية ونوعية الهواء، بدأ المختصون في اعتماد أساليب علمية في تحديد مواقع محطات الرصد المناخية مبنية على أسس إحصائية.

كبيرة على الأساليب والطرق الإحصائية الأكثر تعقيداً مثل التحليل العاملي، التحليل العنقودي والتحليل التمييزي. يعد هذا المنهج الأكثر استخداماً في الوقت الحاضر لكونه ينادى بمستخدمه عن الميول الشخصية، ولما توفره الحاسبات الإلكترونية من دقة وسرعة في عمليات المعالجة الإحصائية [8].

من الناحية المثالية يجب إنشاء محطة مناخية في كل واد أو جزيرة أو سهل أو جبل، لكن في الحقيقة يعتبر هذا الأمر مكلفاً بخاصة للدول الفقيرة، اقترحت بعض الأوساط المتخصصة عند إنشاء شبكة رصد جوي متكاملة، أن تقام شبكة كثيفة في المنطقة المستهدفة ومن تشغيل هذه الشبكة لفترة زمنية معقولة، يحسب معامل الارتباط بين العناصر المناخية لهذه المحطات، بحيث يتم الاستغناء عن واحدة من المحطتين التي يزيد معامل الارتباط بينهما عن (0,7)، ويعتمد تباعد المحطات المناخية على العنصر المناخي المراد قياسه المناخية التي تركـز

وبذلك فإن الخبراء في هذا المجال يعتمدون على منهجين رئيسيين في تحديد كثافة شبكة الرصد الجوي، يدعى المنهج الأول بالمنهج الموضوعي / الذهني (Subjective Approach)، ويعتمد على العديد من الاعتبارات الطبيعية والبشرية ونادراً ما تستخدم به الأساليب الإحصائية المعقدة، ولكنه يستعين أحياناً بالمعايير الرياضية، مثال ذلك : معامل التجانس

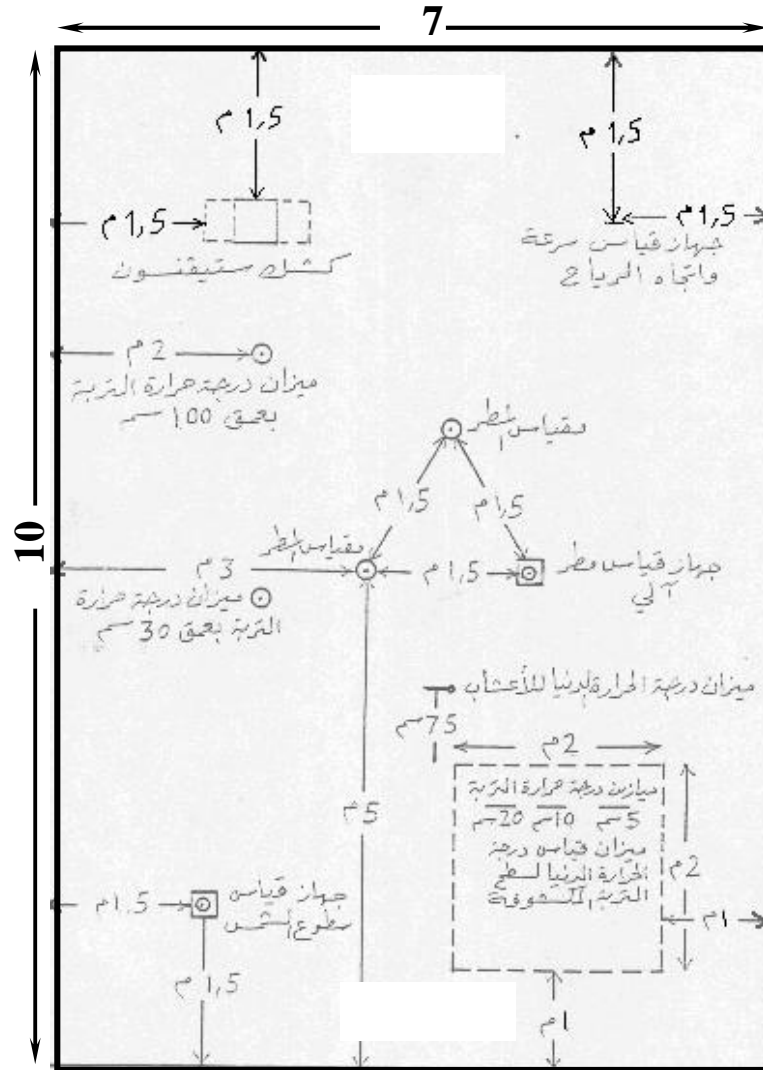
$$= \text{(M.I.C)}$$

المعدل السنوي لدرجة الحرارة العظمى (أو أي عنصر مناخي)

المعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى (أو أي عنصر مناخي)

مناخياً وتحتاج إلى مزيد من المحطات المناخية [7].

والمنهج الرئيسي الثاني فهو المنهج العلمي البحث المبني على الاختبارات والفرصيات (Objective approach) ويعتمد هذا المنهج بدرجة



2. مخطط عام للمحطات المناخية المعتمد لدى دائرة الأرصاد الجوية الأردنية (WMO, P.III, 146 :

ي، واختبرت هذه النتائج بتطبيق نموذج الارتباط المكاني، وتوصل إلى إمكانية تقسيم الدولة إلى (14) إقليم مطري تمثلها (14) [11].

كما استخدمت سلطة المياه في مقاطعة (Wessex) في المملكة المتحدة نهجاً خاصاً لتخفيض عدد المحطات المطرية قام بتطويره (O'Connell) وآخرون عام 1977. حيث تم خفض عدد المحطات المطرية من (333) (220) محطة أي أنه قد (%42) [8].

تعد الدراسة التي أجراها (Singleton) عام 1984 على شبكة المحطات المناخية في المملكة المتحدة الأكثر علاقة بالدراسة التي نحن بصددتها اليوم، فقد استخدم البيانات اليومية لدرجة الحرارة العظمى، ودرجة الحرارة الصغرى، والأمطار، وساعات الشمس لنحو (700) محطة مناخية، (200) منها تعتبر محطات رصد إقليمية (سينونكية). بموجب الأسلوب الإحصائي المعروف بالتخليص العالمي (Factor Analysis) والتحليل العنقودي (Cluster Analysis)، قام بتقسيم المملكة المتحدة إلى عدة مناطق مناخية متجانسة حسب العناصر المناخية السابقة الذكر، كل على حدة، ثم قام بحساب كثافة الشبكة لكل منطقة، ثم مقارنتها بالمعيار الـ حددته منظمة الأرصاد العالمية (1000/2) وقد أوصت الدراسة بعدم ملائمة التحليل العالمي في تحديد المناطق المناخية المتجانسة باستخدام عدد من عناصر الطقس مرة واحدة، إلا أن هذا النموذج ملائم لتحديد هذه المناطق إذا استخدمت بعض العناصر المناخية كل على حدة وبشكل خاص درجة الحرارة الصغرى، استبعد استخدام سرعة الرياح والضغط الجوي لهذا الغرض [9].

2.2 أهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد المناطق المناخية المتجانسة في الأردن، وتحديد العدد المناسب من المحطات لكل منطقة مناخية وفق المعيار المعتمد لدى منظمة الأرصاد العالمية.

3.2 منهجية الدراسة

اعتمد المتخصصون في دائرة الأرصاد الجوية في الأردن عند تحديد مواقع المحطات المناخية على تراكم خبراتهم، ومعرفتهم بجغرافية الدولة، والأشكال المورفولوجية فيها. وفي هذه الدراسة تم تقسيم الأردن إلى (18) منطقة جغرافية بناء على التجانس الطبوغرافي في الدرجة الأولى، تمهيداً لتقسيم المملكة إلى مناطق مناخية نظراً لكون منظمة الأرصاد العالمية قد حددت محطة واحدة لكل 1000 كم² في المناطق

على قياس استقرارية الجو وسرعة الرياح يجب أن تكون هذه المحطات أكثر تقارباً من المحطات التي تركز على قياس الحرارة والرطوبة [6].

أوصت منظمة الأرصاد العالمية بأن تبتعد المحطات المناخية عن السواحل ما بين (2-10) كم، كما يجب أن تبتعد عن الحدود الدولية ما بين (20-50) كم، وأوصت بعض الدراسات على أن تكون المسافة بين المحطات المناخية الخاصة بدرجة الحرارة 160 كم في المناطق الريفية، ما بين (2-3) كم في المدن و15 كم أما المحطات المطرية فيفضل أن تكون المسافة بينهما في المناطق الريفية 30 كم وفي المدن 15 كم، وعلى السواحل 5 كم، وفي المناطق الجبلية 15 [6].

من المتعارف عليه عالمياً بأن منظمة الأرصاد الجوية العالمية حددت ثلاث مستويات لكثافة الرصد الجوي: متباعدة، ملائمة وكثيفة جداً، إلا أن النشرة الخاصة بهذا الموضوع لم تحدد عدد المحطات في كل نوع من الأنواع السابقة، بل حددت محطة واحدة لكل ألف كم² للمناطق المتجانسة جغرافياً، لكن دليل منظمة الأرصاد العالمية رقم 100 لم يعرف ما المقصود بالمناطق المتجانسة جغرافياً إلا أن هذا الدليل المعتمد عالمياً قد أوصى بضرورة الأخذ بعين الاعتبار عند إقامة المحطات المناخية، جميع المظاهر الطبوغرافية المناطق الصناعية، المناطق الزراعية [9].

1.2

لم تحظ شبكات الرصد الجوي في الوطن العربي بالدراسات العلمية التي تستحقها رغم اتساع مساحة الوطن العربي وانتشار مئات المحطات المناخية على أديمه. كما لم تحظ المحطات المناخية في العالم بدراسات علمية كما حظيت بها المحطات المطرية، حيث تنتشر عشرات ألوف المحطات المطرية على سطح الكرة الأرضية بصورة كثيفة جداً في بعض الدول، لدرجة أن بعض الدول لجأت إلى تخفيض عدد هذه المحطات وفق أسس اتفق عليها من قبل المختصين. قد وصل عددها عام 1985 في المملكة المتحدة إلى 6000 محطة مطرية، اتفق على إلغاء (30%) منها بهدف الحد من تكاليف تشغيلها [10].

كما قام Basalirwa [11] بإجراء دراسة على المحطات المطرية في أوغندا بهدف اختصار عددها قام باستخدام البيانات الشهرية لنحو مائة محطة مطرية استعمل لهذا الغرض التحليل الإحصائي المعروف بالتحليل العالمي لتقسيم الدولة إلى أقاليم مطرية، حيث مثل كل عامل إقليمي مطرياً، اختيرت المحطة التي تتمتع بأعلى شبع مع كل عامل لتمثل هذا الإقليم

3.

المتجانسة جغرافياً، ولربطها مع المناطق المناخية التي سنتوصل إليها هذه الدراسة .

يبدو من الشكل (3) بأن معظم المحطات المناخية تتركز في النصف الشمالي من المملكة وبشكل خاص في الركن الشمالي الغربي، وقد يكون هذا التوزيع منطقياً لكون الكثافة السكانية والنشاط البشري والتعقيد طبوغرافي يوجد في هذا الركن. يباعث أن الأردن يحتل مساحة تقدر بنحو (90) ²

المناخية فيه تصل إلى (0,6 محطة/1000كم²) أي ما يعادل نصف المعيار العالمي تقريباً. وباستثناء المناطق الصحراوية فإن كثافة الشبكة المناخية في منطقة الطفلة والشوبك تعادل المعيار العالمي (محطة / 1000كم²) وتكاد تعادله في منطقة الكرك ومادبا، ولكن الأمر في الركن الشمالي الغربي الذي يمتد من عمان جنوباً وجامعة آل البيت شرقاً إلى الحدود الدولية يبدو غريباً، حيث توجد (24) محطة مناخية في مساحة تقدر بنحو (6000كم²) أي ما يعادل (4 محطات / 1000كم²)، وبالمقابل فإن الصحراء تبدو خاوية وتكاد تخلو من المحطات المناخية، وبخاصة في الجزء الشرقي والجنوبي الشرقي من المملكة، ويعود السبب في ذلك إلى قلة الكثافة السكانية وقلة النشاط الاقتصادي وضعف شبكة المواصلات مقارنة ببقية أجزاء المملكة .

بمقارنة كثافة شبكة الرصد الجوي في المملكة ببعض شبكات الرصد الجوي العالمية فإن كثافة الشبكة في الأردن تبدو معقولة، ففي نيوزلنده وصلت الكثافة عام 1970 إلى (0,96 محطة/1000كم²) ويصل معدل التباعد بين المحطات المناخية (32) كم، ويصل هذا التباعد في تركيا (100 كم)، أما في الأردن فإن معدل التباعد بين المحطات فيصل إلى (110 كم)، أما معدل الكثافة في أيرلنده فوصل عام 1987 إلى (1,4 محطة/1000كم²) بتباعد يبلغ في المعدل نحو (28) .

1.3 نتائج التحليل الإحصائي

1.1.3

استحوذت أول خمسة عوامل على تفسير نحو (99%) من التباين في درجة الحرارة العظمى، وتمكن العامل الأول تفسير (96,5%) من هذا التباين، وهذا يدل على أن الأردن لا يمكن تقسيمه إلى أقاليم مناخية متباينة، إذ يعتبر جزءاً من إقليم مناخي رئيسي وهو إقليم البحر المتوسط، الذي يتباين في خصائصه التفصيلية من مكان لآخر، فرغم تباعد المحطات المناخية في الأردن إلا أن معدل معامل الارتباط بين جميع المحطات المناخية فيما يتعلق بدرجة الحرارة العظمى يعد مرتفعاً جداً (96,5%) أي أن درجة الحرارة العظمى ضعيفة التمييز بين المناطق المناخية

استخدم التحليل العاملي للتعرف على المناطق المناخية المتجانسة على أساس المعدل اليومي لدرجة الحرارة العظمى والمعدل اليومي لدرجة الحرارة ثلاثين محطة خلال الفترة 1999 - 2001 :

$$X_{ij} = a_{i1} + f_{1j} + a_{i2}f_{2j} + \dots + a_{in}f_{nj} + r_{ij}$$

X_{ij} = المعدل اليومي لدرجة الحرارة العظمى أو العظمى

$$f_{nj} = f_{nj} - f_{ij}$$

$$r_{ij} = a_{in} - r_{ij}$$

r_{ij} = مقدار الخطأ أو البواقي في اليوم .

يمثل العامل المحصلة النهائية للخصائص العامة لكل محطة والتي تعكس الوضع الطبوغرافي في المناطق المحيطة بها، بينما تعتمد تشيعات العوامل على الحالة الجوية في الموقع، ومن خلال تشيعات العوامل مع المحطات المناخية يمكننا تحديد المناطق المناخية المتجانسة، وإذا اعتمدنا وسيلة لتجميع المحطات المتشابهة في تشيعاتها مع هذه العوامل نستطيع أن نصل إلى تحديد المناطق المتجانسة مناخياً.

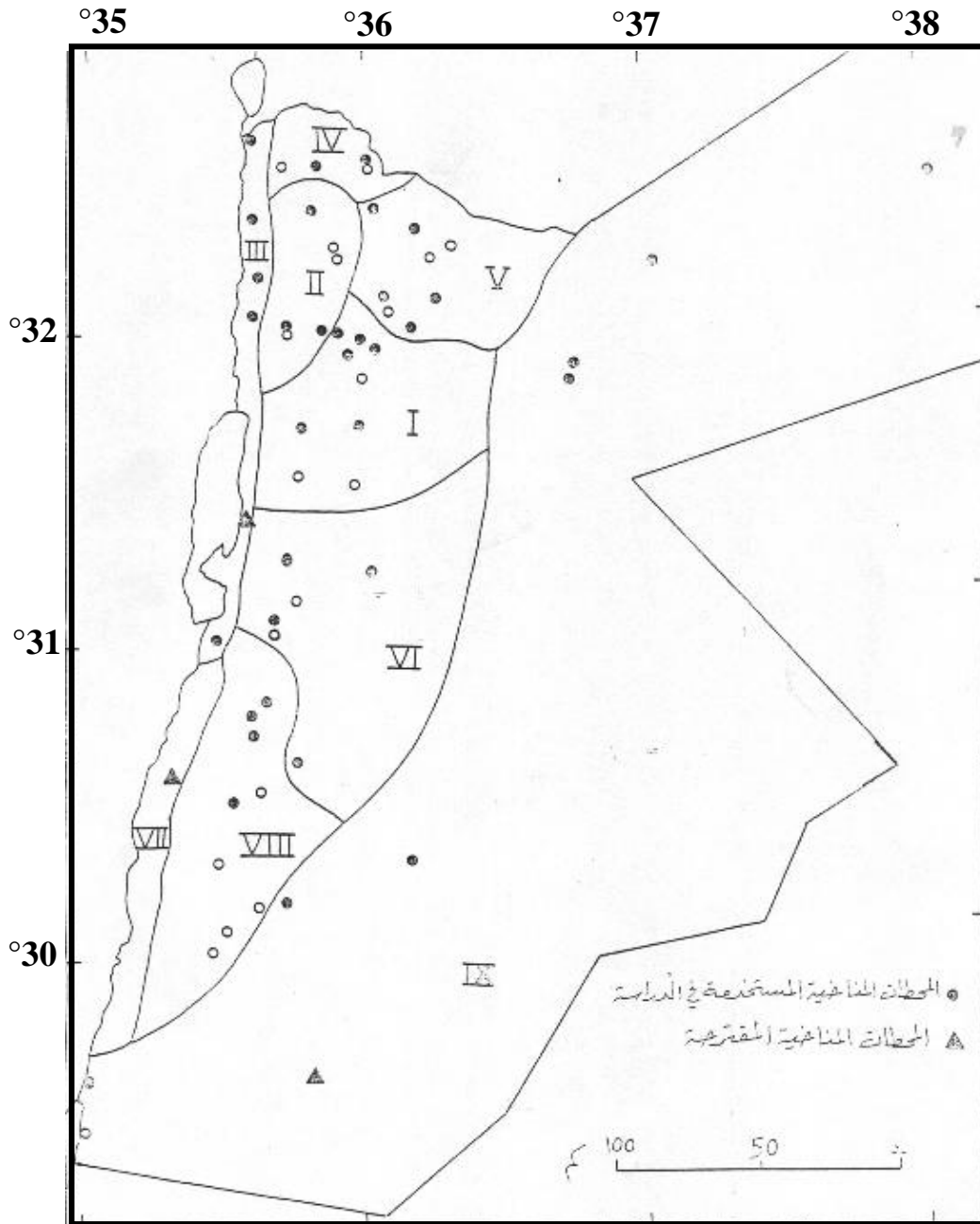
قد وجد بأن التحليل العنقودي نوع (Average Linkage Between Groups) هو الأسلوب الأفضل في تجميع المحطات المناخية ضمن مجموعات يطلق عليها إحصائياً (عناقيد)، ويهدف هذا التحليل إلى تحديد المسافات بين المحطات المناخية وفق المناطق التي تمثلها العوامل أو الأبعاد المستخرجة من التحليل العاملي، وبعد أن تم تحديد المحطات المتشابهة، أحيطت كل مجموعة متشابهة بخط تقريبي بناء على المعرفة المسبقة بجغرافية منطقة الدراسة [9] .

بعد ذلك تم إعداد جدول خاص بم المناطق المناخية المتجانسة مثبت إزاء كل منها مساحتها وكثافة المحطات المناخية فيها، ومقدار العجز، في كل منطقة بناءً على المعيار الذي حددته منظمة الأرصاد العالمية، كما استخدم معامل الارتباط بين كل محطة مناخية لكل من درجة الحرارة العظمى ودرجة الحرارة الصغرى، وطبق نموذج الانحدار البسيط، لتداللاقة ما بين المسافة بين المحطات ومعامل الارتباط بينها .

2.1.3

تمكن أول (11) عامل من تفسير (99%) من التباين في درجة الحرارة الصغرى في المملكة. العامل الأول على تفسير (92,7%) من هذا التباين. تؤكد هذه النتيجة ما توصلنا إليه آنفاً بأن الأردن جزء من إقليم مناخي رئيسي، ومن الصعب تجزأته إلى أقاليم مناخية فرعية، ولكن هناك تباينات محلية أفرزتها الظروف الطبوغرافية في الدرجة الأولى استخدام درجة الحرارة الصغرى في التعرف على المناطق المناخية المتشابهة أثبتت نجاعة أكبر من استخدام درجة الحرارة العظمى، فقد فسّر (11) عاملاً (99%) من التباين في درجة الحرارة الصغرى

قد مكن استخدام التحليل العنقودي لإبراز التباينات المحلية، فظهرت سبع مناطق مناخية متجانسة تمثل كل (د) يضم المحطات المناخية المتشابهة، ولم يتمكن هذا النوع من إدخال منطقة وادي عربة ضمن هذا التصنيف لخلوه من المحطات المناخية، كما دمج هذا التصنيف محطتي اربد والرمثا مع محطتي مطار عمان والمدراج الروماني، فقد اعتبرت منطقة اربد والرمثا منطقة مناخية منفصلة، واعتبرت منطقة وادي عربة منطقة مناخية إضافية وبذلك يصبح عدد المناطق المناخية بناء على درجة الحرارة العظمى تسع مناطق (3).



3. المناطق المناخية المتشابهة وفق درجة الحرارة العظمى

المسافة للتمييز بين تلك المناطق، ولعل لعامل الارتفاع والواجهة دور أكثر أهمية في هذا السياق، ويبدو هذا الأمر طبيعياً جداً، ففي ساعات الليل تعتمد قيمة درجة الحرارة الدنيا على تفاوت المواقع في معدل الإشعاع سي، وتراكم الهواء البارد في الأودية والأحواض والمنخفضات، ومدى تعرض مواقع المحطات إلى هبوب الرياح، مما يقلل أهمية عامل المسافة نسبياً في الفصل بين المحطات مناخياً .

2.3 كثافة شبكة المحطات المناخية حسب المناطق المناخية المتجانسة

تجمع الأوساط العلمية المتخصصة بأنه من الصعب التعرف على المناطق المناخية المتجانسة بواسطة التحليل العاملي باستخدام العديد من العناصر المناخية مرة واحدة، حيث تحتاج الأمطار والرياح إلى كثافة عالية، بينما يحتاج الضغط الجوي والرطوبة النسبية والإشعاع الشمسي كثافة قليلة، أما درجة الحرارة فإنها [9]

، / العناقيد أو المناطق المناخية المتجانسة في منطقة ما نستطيع أن نتعرف على مدى التعقيد المناخي في تلك المنطقة، وبناء على (4) الذي يمثل المناطق المناخية المتجانسة في، والتي استطاعت أن تحدد تلك المناطق بصورة أدق وأفضل من درجة فإن الركن الشمالي الغربي من المملكة يعد أكثر المناطق الجغرافية تعقيداً من الناحية المناخية، ولذلك فهو يحتاج إلى كثافة عالية في شبكة الرصد الجوي، يلي ذلك القطاع الأوسط من المملكة، ثم المناطق الصحراوية، ويكاد تتفق هذه النتيجة مع التقسيمات الجغرافية للمملكة.

يوضح الجدول رقم (2)

الرصد الجوي في المملكة حسب المعيار التي حددته منظمة الأرصاد العالمية بالاعتماد على درجة الحرارة سفرى، يمكن أن نستنتج من هذا الجدول أن كلاً من المنطقة المناخية (1 2 3 4 5 6 9 10) يوجد بها فائض في عدد المحطات المناخية، بينما يتوفر في المنطقة المناخية (8) عدد كافٍ من المحطات المناخية تفتقر كلاً من المناطق المناخية (7، 11) إلى عدد إضافي من المحطات المناخية .

وإذا استثنينا البادية الأردنية والتي تقع إلى الشرق (200)

المناخية يبدو كافياً، على أن تزود المناطق التي لم صنف عند تطبيق التحليل العنقودي بمحطة مناخية لكل منهما، وهي وادي عربة والشاطئ الشرقي للبحر الميت من الضرورة بمكان أن تزود هاتين المنطقتين بمحطات مناخية من الدرجة الثانية على الأقل لأن

بينما فسر النسبة نفسها في درجة الحرارة العظمى كما أن معدل الارتباط بين المناخية بلغ (0.92) أي أن هذا العنصر قد نجح في الفصل بين المناطق المناخية المتجانسة بصورة أفضل.

باستخدام تشعبات هذه العوامل مع المحطات المناخية في التحليل العنقودي، ظهرت عشر مناطق مناخية متجانسة، (شكل 4)، بمقارنة الشكلين (3 4) يتضح مدى التشابه في النسق العام لتوزيع هذه المناطق، فالمنطقة الصحراوية بقيت محافظة على امتدادها والاختلاف الواضح بينهما هو أن ميناء العقبة عند استخدام درجة الحرارة الصغرى قد انضم لمنطقة الأغوار الجنوبية ووادي عربة، حصلت منطقة مادبا على إقليم خاص بها، خرج ساحل البحر الميت من عملية التصنيف لخلوه من المحطات المناخية وانضمام محطة غور الصافي إلى منطقة العقبة، بإضافة الساحل إلى المناطق المناخية المتجانسة يصبح عدد المناطق المناخية المتجانسة وفق درجة الحرارة الصغرى 11

لم يظهر لعامل المسافة بين المحطات المناخية ومعامل الارتباط بين المحطات علاقة قوية ذات دلالة إحصائية، فلم تتعدى قيمة التباين المفسر بين معاملات الارتباط بفعل المسافة بين المحطات (4%) عند استخدام المعدل اليومي لدرجة الحرارة الصغرى ية:

$$y_1 = - 1,727 \cdot 10^{-5} x + 0,932$$

بينما ظهرت علاقة عكسية ضعيفة ولكنها أقوى من الأولى بين المسافة وقيم معاملات الارتباط عند استخدام درجات الحرارة العظمى، حيث بلغت قيمة التباين المفسر بين قيم معاملات الارتباط بفعل عامل التباعد ية: (%9)

$$y_2 = - 7,847 \cdot 10^{-5} x + 0,969$$

حيث أن:

y_1 = معامل الارتباط بين المحطات عند استخدام درجة

y_2 = معامل الارتباط بين المحطات عند استخدام درجة

x = المسافة المباشرة بين المحطات /

تدل هذه النتائج على أن للمسافة دور أكثر أهمية في الفصل بين المناطق المناخية عند استخدام درجة الحرارة العظمى، ولكن توجد عوامل أقوى من عامل

- 4. العلمية**
- أبرزت هذه الدراسة العديد من النتائج العلمية أهمها:
1. يصلح التحليل العاملي والتحليل العنقودي في التعرف على المناطق المناخية المتجانسة .
 2. رزت درجة الحرارة الصغرى المحطات المناخية في الأردن بصورة أفضل من درجة الحرارة .
 3. (8) عوامل عند استخدام درجة الحرارة (11) عاملاً عند استخدام درجة الحرارة الصغرى تفسير (99%) من التباين في كل منهما.
 4. لم تدخل منطقة وادي عربة منطقة وساحل البحر الميت الشرقي ضمن عملية التصنيف إلا مرة واحدة لكل منهما.
 5. بلغ معدل معاملات الارتباط بين المحطات المناخية (0,96) درجة الحرارة العظمى . (0,92) لدرجة
 6. لم يفسر التباعد بني المحطات سوى (4%) لدرجة الحرارة الصغرى ،و(9%) لدرجة الحرارة
 7. بلغ معدل التباعد بين المحطات المناخية في المملكة 110
 8. أبرز التحليل العنقودي سبع مناطق مناخية متشابهة
 9. أبرز التحليل العنقودي عشر مناطق مناخية متشابهة

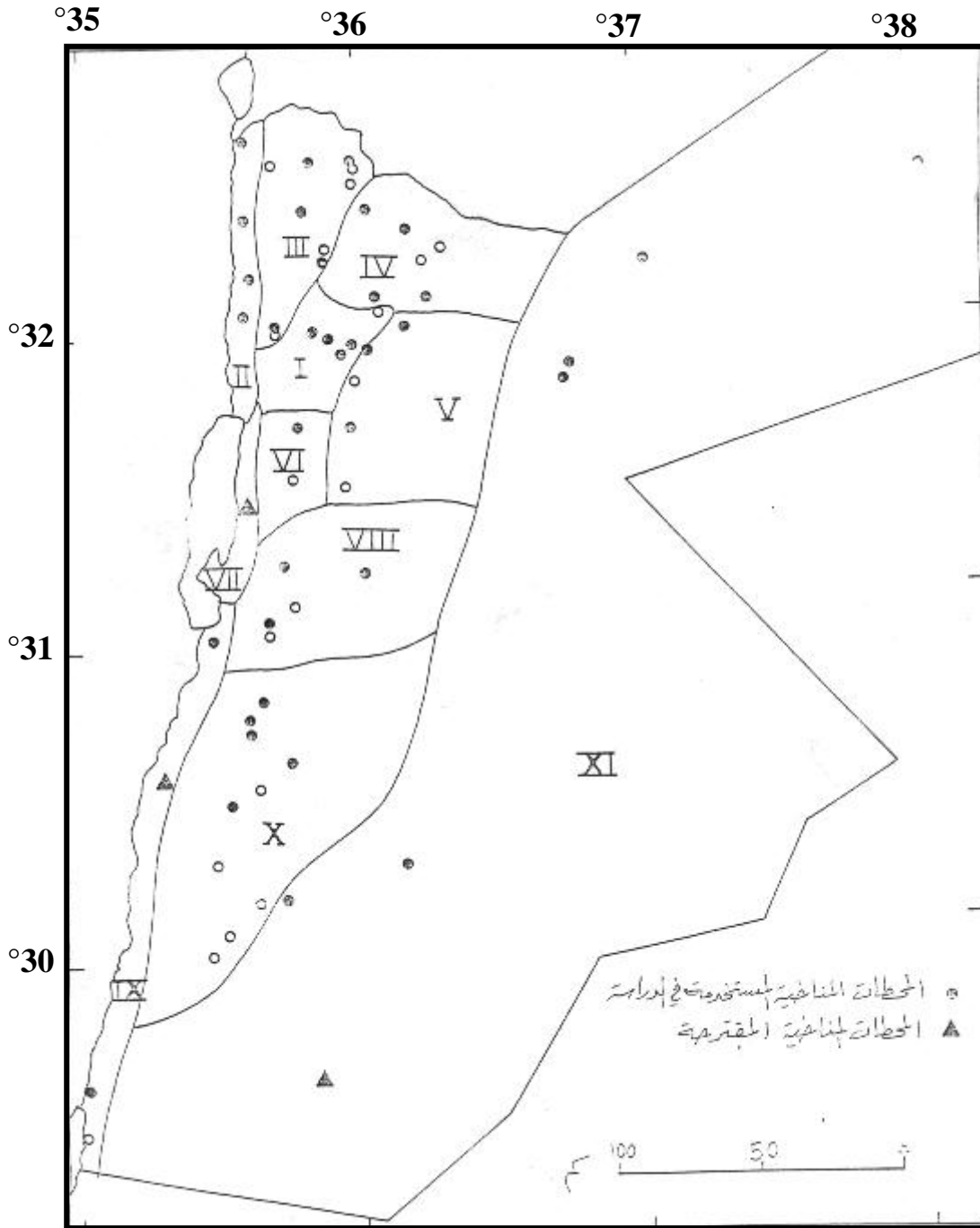
للمنطقتين المذكورتين مستقبل تنموي واعد ،فبعد إقامة سد الموجب على وادي الموجب ،وسد التنور على ،ومع استغلال المياه المعدنية لمنطقة ووادي زرقاء ما عين ضمن مشروع وطني لري الأغوار الجنوبية، وإيصال مياه هذا المشروع إلى قناة الملك عبد الله شمال البئر الميت ،ومع إزدياد الاستثمارات السياحية على الشاطئ شرقي للبحر الميت فإن الحاجة باتت ملحة لإنشاء هاتين المحطتين يمكن إقامة المحطة في وا أو القريقرة أو الريشة أو غرندل، أما المحطة الثانية فضل إقامتها على الدالة المروحية لوادي الموجب .أ الدالة المروحية لوادي زرقاء ما عين.

أما المحطة الثالثة المقترحة فتقع في الركن الجنوبي الشرقي من المملكة في منطقة القيعان الصحراوية ،ويمكن إقامة هذه المحطة إما في قرية رم السياحية أو في طويسة في قاع الديسة أو في قة المدورة ،ويعزز اقتراح إنشاء هذه المحطة نمو ازدهار بعض التجمعات السكانية في هذه المنطقة مثل قرية رم، طويسة والغال ،انتشار المزارع المروية ء قريياً بسحب المياه الجوفية من الديسة إلى فضلاً عن ازدهار السياحة في وادي رم.

يتضح مما سبق بأن كل المناطق المناخية في المملكة عدا المنطقة الصحراوية (11) يوجد بها عدد كاف من المحطات حتى أن المناطق المناخية (1 - 4) مكتظة بالمحطات المناخية ،ويمكن خفض عددها إلى المعدل الدولي مع الاحتفاظ ببعض المحطات التي تتمتع بخصوصيتها، مثل المحطات المناخية المقامة في الجامعات. فلو اعتبرنا أن عدد المحطات المناخية في المنطقة الصحراوية كافياً لتشابه ظروفها الجغرافية فإنه يوجد (25) محطة مناخية فائضة عن الحاجة ويج إعادة النظر في الإبقاء عليها.

2. الموازنة العامة لكثافة الشبكة المناخية في الأردن وفق درجة

	الزيادة				2 /	
	4	-	1	5	1000	
	4	-	1	5	1000	الثانية
	6	-	2	8	2300	
	4	-	3	7	3000	
	1	-	4	5	3500	
	1	-	1	2	850	
	-	1	1	-	650	
	-	-	4	4	3700	
	1	-	2	3	2000	
	4	-	7	10	7000	
	-	59	65	6	65000	الحادية عشر
	25	60	91	56	90,000	



4. مناخية المتشابهة وفق درجة الحرارة الصغرى

10. لا تعاني إلا المنطقة الصحراوية من تدني كثافة التوصيات
 من خلال النتائج السابقة توصي الدراسة بما يلي :
11. تكتظ خمس مناطق بالمحطات المناخية، ويعدّ عددها في أربع مناطق كافياً
12. البحر الميت من المحطات المناخية.
1. محاولة خفض عدد المحطات المناخية في المناطق

hydrometeorological information system for the megalopolis, W.M.O. Bulletin, 2000, Vol. 49, pp.233-236.

[5] W.M.O., *Guide on the Global observing system*, N° 488, 1989, p. III. 14b.

[6] E. Linacre, *Climate data and resources*, Routledge, London, New York, 1992.

[7] J. Lalmas, *Planning a national meteorological network*, W.M.O., Bulletin, Vol. 43, 1994, pp.35-38.

[8] C.A. Ninchlass et al., *Rain – gauge network retionalization and its advantages*, Meteorological Magazine, 1981, Vol.110, pp. 92-102.

[9] F. Singleton and E.A. Spackman *Climatological network design*, Meteorological Magazine, 1984, Vol.113, pp.77-89.

[10] B.R. May, *Reduction in the daily reinfall gauge network in England and Wales*, Meteorological Magazine, 1984, Vol.113, pp.57-63.

[11] Basalirwa, C. P. K.: *Delineation of Uganda into climatological rainfall zones using methods of Principle Component Analysis*. Int. J. Climatol., Vol. 15, 1993, pp.1161-1177.

2. تحويل الوفر الناجم من خفض عدد المحطات في المناطق المكتظة في إقامة محطات جديدة في المناطق

3. عدم التوسع في إقامة محطات مناخية جديدة في المناطق الصحراوية رغم ندرتها .

4. التركيز على رفع كفاءة الأجهزة المستخدمة في المحطات وربط محطات الدرجة الثانية بشبكة

5. تحسين وسائل الاتصالات بين المحطات المناخية بفئاتها الثلاث مع المركز الوطني للتنبؤ الجوي .

6. ت مناخية جديدة، واحدة منها على ساحل البحر الميت والثانية في وادي عربة والثالثة ضمن صحراء حسماء في منطقة رم أو الديسة.

7. القيام بدراسة مماثلة على المحطات المطرية التابعة لدائرة الأرصاد الجوية والمحطات التابعة لوزارة المياه .

[1] الشاعر، هيثم، 2001 " الأرصاد الجوية الأردنية، 200

[2] J.R. Felming, *Meteorological observing systems before 1870 in England, France, Germany, Russia. And the U.S.A.*, Bulletin, Vol. 46, 1997, pp.249-258.

[3] R.R. Kelkar, *The national wether service in India: 125 years*, W.M.O. Bulletin, Vol.49, 2000, pp.332-336.

[4] A.A. Vasiliev et al., *Moscow- status and development prospects for*

Utilisation des données satellitaires pour le suivi des changements d'occupation du sol et de la dégradation du couvert végétal dans les zones semi-arides: cas de la région Sud des Aurès (Algérie)

Hassen Benmessaoud, Mahdi Kalla, Hadda Driddi et Yassine Beghami

Laboratoire Risques Naturels et Aménagement du Territoire, Faculté des sciences,
Université El Hadj Lakhdar, Batna (05.000), Algérie.

Accepté le 12/06/2008

منطقة الأوراس الشبه (حيواني) لا يمكن دحضه. لكن الأحوال الجوية (هواطل >300 / سنة و درجات حرارة متوسطة تتراوح بين 11,5 °C و 33°C) و الحقائق الاجتماعية الصعبة تؤدي إلى تآكل الوسط الفيزيائي والذي يتمثل في انحصار الغطاء الغابي الكثيف. مساحة هذه الوحدة تقلصت من 20700 هـ سنة 1987 إلى 11648 هـ سنة 2001. هدف هذه الدراسة هو تحديد مدى مساهمة صور الأقمار الصناعية في كشف تغيرات استغلال الأرض ومتابعة ظاهرة تدهور منطقة جنوب الأوراس. استعملنا في هذه الدراسة صور Landsat ETM TM 1987 2001. المناطق التي لحقتها التعرية هي غابات بني ملول، جبل مزبل، وجبال احمر خدو و كل هذه المناطق معروفة بالأصناف المتوسطة. الطريقة المتبعة تشمل تحليل الصور الساتلية والتصنيف لتجلية التغيرات الكلية للاستعمال الأرضي في هذه المناطق. أئج تظهر تدهور كبير على مستوى سطح الأرض و غطائها النباتي إبان الفترة الممتدة من 1987 إلى غاية 2001.

الكلمات المفتاحية: الأوراس؛ الصور الساتلية؛ تدهور الموارد الطبيعية؛ منطقة شبه جافة.

Résumé

La région des Aurès, semi-aride, est riche en biodiversités. Les conditions climatiques (précipitations < 300 mm/an, des températures variant entre 11,5 et 33°C) et la réalité anthropique défavorables induisent une dégradation du milieu physique provoquant la régression des forêts. La superficie boisée a varié de 20700 en 1987 à 11648 ha en 2001. Cette étude utilise les images satellitaires pour la détection des changements d'occupation du sol et le suivi des processus de dégradation dans la région Sud des Aurès. Pour cela, il a été utilisé les images: Landsat ETM + de l'année 2001 et TM 1987, de la région sud des Aurès (Beni-Mloul, Dj.Mezbel et Dj Ahmar Khaddou), exposée aux phénomènes de la dégradation caractérisés par des espèces endémiques. La démarche adoptée consiste à traiter des images satellitaires multi-dates par la méthode de classification supervisée de Maximum vraisemblance pour visualiser les changements globaux d'occupation du sol. Les résultats obtenus des traitements des images satellitaires montrent bien que le couvert forestier, les parcours ainsi que les sols font l'objet d'une dégradation très avancée. Cette étude multi temporelle est un diagnostic qui a permis de déterminer les phénomènes de dégradation provoquant une régression du couvert végétal et leur évolution entre 1987 et 2001.

Mots clés : Aurès; données satellitaires multi dates; dégradation ressources naturelles; zones semi-arides.

Abstract

The semi-arid region of the Aurès presents an undeniable diversity of flora and fauna; however, weather and adverse anthropogenic conditions caused degradation of the physical environment, which takes the form of a decline in the natural forest cover. The objective of this study is to determine the contribution of satellite images in detecting changes in land use and Monitoring of the degradation processes in the region south of the Aurès. For this, we used images: Landsat ETM + for 2001 and TM 1987. These images cover the southern region of Aurès which presents a landscape exposed to the phenomena of degradation including mountains of Beni-Mloul, Djebel Mezbel and Djebel Ahmar Khaddou forests characterized by endemic species. The approach is to treat multi-dates satellite imagery by the method of supervised classification of Maximum likelihood to see global changes of land use that have occurred in this area. This study is a multi temporal diagnosis, which has allowed us to both identify the degradation affecting vast semi-arid areas, causing regression of plant cover and also its development between 1987 and 2001.

Key words: Aurès; satellite data multi dates; degradation natural resources; semi-arid areas.

Auteur correspondant: ha123_m123@yahoo.fr (Hassen Benmessaoud)

1. INTRODUCTION

En Algérie, comme dans les pays en développement, la conjugaison de la pauvreté et de la croissance démographique dans les milieux fragiles aboutit à une dégradation des ressources non renouvelables, ou difficilement renouvelables, notamment les forêts, les sols et les eaux.

Ces dernières années, ce processus s'est particulièrement accentué suite à l'exploitation irrationnelle des ressources naturelles (fourragères) et à la mise en culture des terres fragiles (défrichement) [3, 2, 4]

Les interactions entre un milieu déjà fragile, l'irrégularité des précipitations, la recrudescence des périodes de sécheresse depuis 1970, et les pressions socio-économiques accrues ont augmenté la dégradation du milieu [1, 6, 9]

L'ampleur de la dégradation a engendré une situation nouvelle caractérisée par la réduction du couvert végétal, la diminution de la production fourragère et l'extension rapide de l'ensablement sur des zones agricoles et non agricoles [14, 8, 7]

La dégradation des terres dans ces écosystèmes déjà fragilisés par les conditions climatiques et édaphiques, nécessite surtout et avant toute intervention, des recherches approfondies en amont : répertorier l'ensemble des facteurs impliqués de façon directe ou indirecte dans le processus de dégradation du milieu et surtout, chercher à savoir comment ces facteurs se conjuguent et interagissent dans le temps et dans l'espace.

La télédétection spatiale par le nombre élevé de données, par l'homogénéité synoptique conférée aux informations transmises, par la répétitivité de l'acquisition de ces données, trouve une

place privilégiée comme outil performant de suivi de la dégradation et son évolution [11,5,8,12]

Les images satellitaires sont descriptives et elles apportent une information visuelle très importante, l'aspect multi-spectral des données de télédétection offre un atout crucial dans la caractérisation des objets dans une large bande spectrale [12]

L'objectif de cette étude est de montrer d'une part, le potentiel de la télédétection pour la caractérisation de l'occupation du sol de la zone d'étude et d'autre part son évolution spatio-temporelle à partir des traitements effectués sur deux images satellitaires de Landsat de 2001 et de 1987.

1.1 Contexte géographique

Les Aurès constituent une entité géographique localisée à l'Est de l'Atlas saharien. Cet ensemble de chaînes de montagnes très escarpées est fortement exposé au phénomène de dégradation notamment dans sa partie sud, laquelle se trouve en contact direct avec le Sahara.

Géographiquement, la zone d'étude se localise au sud des Aurès (fig.1), entre les méridiens 6° 29' et 5°36' Est et les parallèles 35°15' et 34°41' Nord.

La région se caractérise par de fortes dénivellations sur de courtes distances [2]. Sur le versant Nord l'altitude varie entre 1200 m et 2300 m. sur le versant sud elle descend à moins de 50 m (fig.2).

Sur le plan géologique, la région est subdivisée en deux principaux domaines : Les formations calcaire-marneuses prédominent au massif de Beni-Melloul et Dj.Mezbel. Les zones élevées sont couvertes par des matériaux relativement

durs (Grés et calcaire).

Les zones à basse altitude sont le domaine des matériaux fins au nord et des matériaux grossiers au sud. La dominance des matériaux facilement érodables est un élément qui accentue la dégradation du couvert végétal en Aurès sud.

La partie sud est la plus vulnérable. Cette vulnérabilité est accentuée par des pentes fortes au nord et moyennes au

centre et au sud. En effet, sur une distance de 35 km on passe de 1700m à moins de 50 km d'altitude. Cette situation favorise le ruissellement qui à son tour déclenche les différents processus de d'érosion.

Le réseau hydrographique est principalement endoréique. Les écoulements sont temporaires et l'irrégularité est parfois extrême.

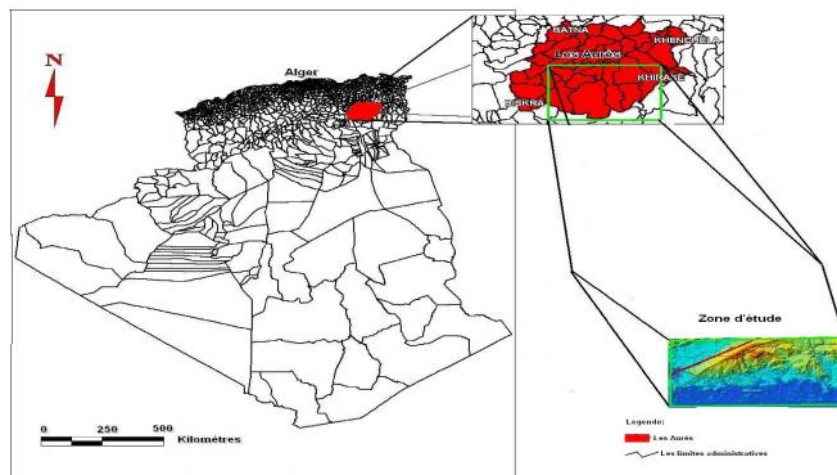


Figure 1. carte de situation de la zone d'étude.

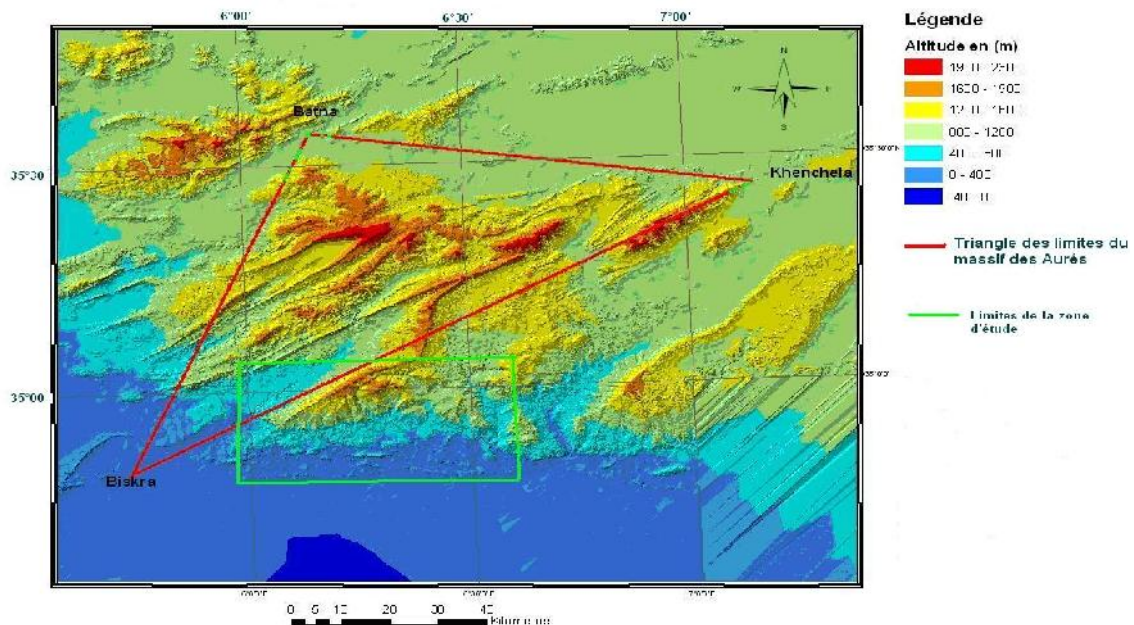


Figure 2. Orographie de la région des Aurès par MNT.

Du point de vue climatique la zone d'étude appartient au climat méditerranéen semi aride (fig. 3), caractérisé par un été sec et chaud et un

hiver frais sur les reliefs et doux dans la plaine (fig. 4)

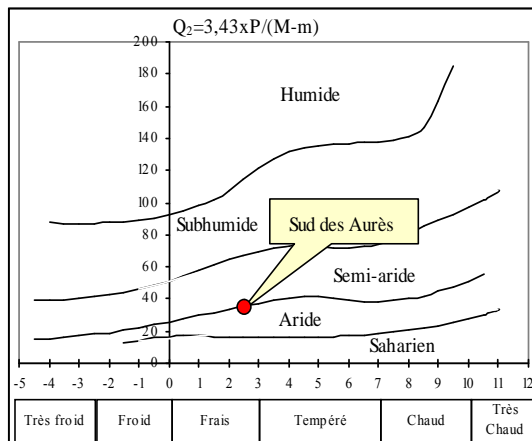


Figure 3. Climagramme d'Emberger.

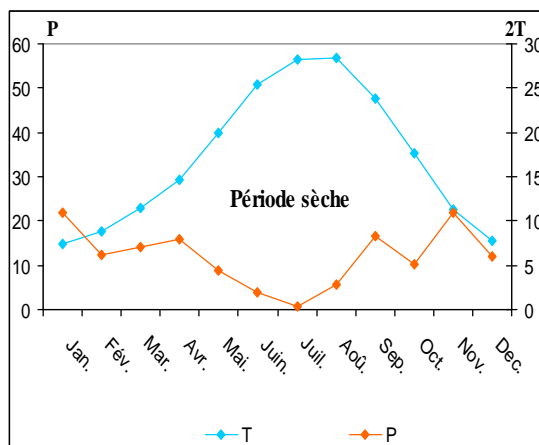


Figure 4. Diagramme Ombrothermique.

2. METHODOLOGIE DE TRAVAIL

La démarche adoptée consiste à utiliser des images satellitaires brutes de satellite américain Landsat 5 et 7 à des dates différentes (27 avril 1987 et 10 avril 2001) et un travail de terrain d'échantillonnages pour la vérification de la réalité de terrain afin d'effectuer une analyse thématique de ce milieu, et pour visualiser les changements globaux qui se sont produits dans cette zone.

2.1 Critères de choix des images satellitaire et des canaux multi-spectraux

Le choix de type des images satellitaires dépend de plusieurs critères et plus particulièrement de la dimension

spatiale de la zone d'étude et le nombre des scènes réduites [8,13].

Les images du satellite Landsat TM et ETM+ présentent l'avantage de couvrir par une seule scène d'une grande superficie «185 Km X 185 Km» et offrent donc une vue synoptique du territoire d'étude.

La zone pilote est couverte par les scènes TM et ETM+ 1987/37, 2001/36, à l'extraction d'images de dimensions égales (2400 x1200 pixels).

Chaque objet naturel est identifié par sa signature spectrale. Il ne réagit pas de la même façon le long du spectre électromagnétique. L'analyse de la signature spectrale des différents objets de l'occupation du sol est une étape importante pour le choix des canaux ETM+ des scènes Landsat.

2.2 Composition colorée et amélioration de la qualité des images

Dans cette étape, nous avons préféré travailler sur la combinaison des bandes 1, 2 et 3; car sur cette combinaison de canaux l'aspect visuel naturel des différentes unités paysagères est mieux représenté et traduisant la réalité du terrain.

Ceci a pu être réalisé grâce à la faible corrélation des canaux et par la concordance entre les bandes spectrales et le thème se rapportant à notre étude. L'ensemble des images des deux scènes a subi un traitement d'amélioration de contraste afin de parvenir à une composition colorée mettant en évidence la plus grande partie de l'occupation des espaces (fig.5).

3. MISSIONS DE RECONNAISSANCE ET DONNEES DE TERRAIN

Plusieurs missions de reconnaissance de terrain ont été effectuées pour le repérage et la connaissance d'un certain nombre de parcelles représentatives des différents types d'occupation du sol que l'on rencontre sur la zone d'étude. Avant d'entamer les missions de repérage des zones test à l'aide de GPS et des fiches descriptives des stations d'échantillonnage, nous étions amenés à faire un travail préliminaire de la classification supervisée (échantillonnage sur image) (fig.6).

Enfin, après confrontation de l'image à la réalité physique (composition colorée

avec les informations récoltées sur terrain) une généralisation de l'analyse de l'image a été établie à partir des clés d'interprétation. Cette généralisation a par conséquent abouti à une typologie des principales occupations du sol retenues dans cette étude :

- 1 – Forêt dense;
- 2 – Forêt claire;
- 3 – cultures irriguées;
- 4 – Parcours ;
- 5 – Terrains rocheux;
- 6 – Sols sableux;
- 7 – Sols nus;
- 8 – Cours d'eau et terrains humides;
- 9 –Zones d'agglomération.

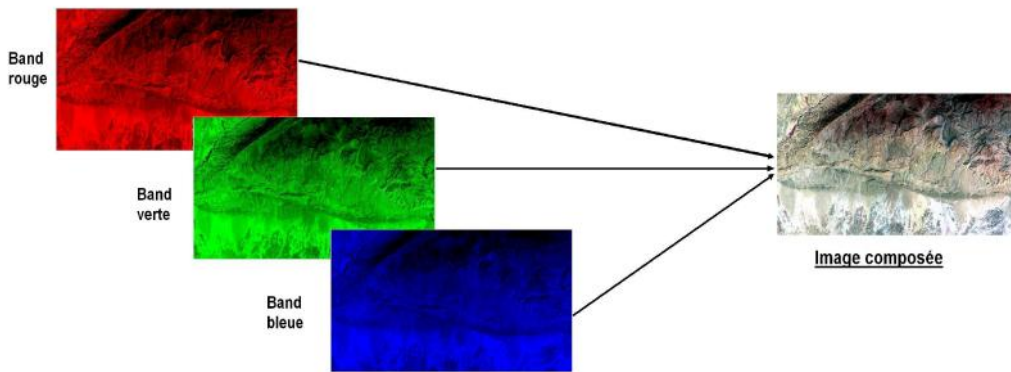


Figure 5. La composition colorée de l'image satellitaire.

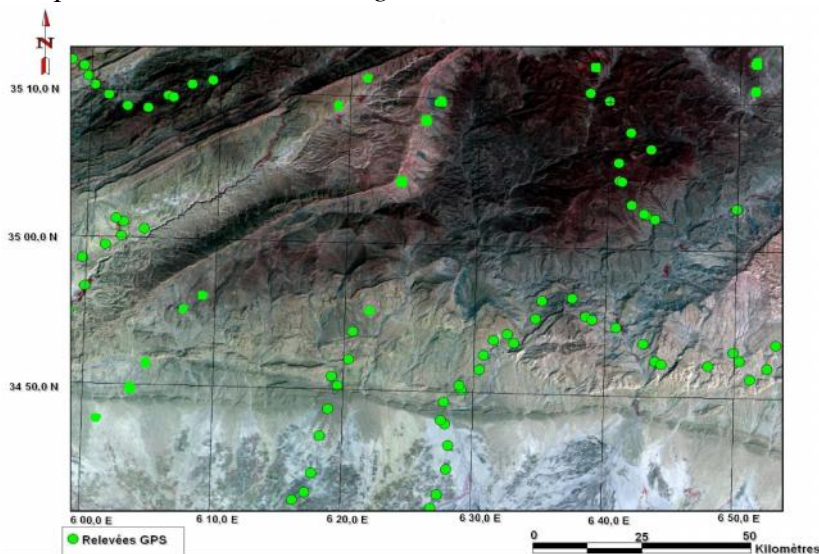


Figure 6. Carte des points d'échantillonnage.

4. CLASSIFICATION DE LA COMPOSITION COLOREE

Le mode supervisé a été choisi pour réaliser la classification du milieu de la zone d'étude. La méthode du maximum de vraisemblance a été retenue pour la classification de la composition colorée (fig.7). Cette méthode est considérée comme une technique puissante de classification [11,10].

L'opération « classification » des images a nécessité de délimiter spatialement les parcelles tests sur la

composition colorée. Dès lors, en utilisant le logiciel ENVI 4.0 (fig.8)

5. VALIDATION DE LA CLASSIFICATION

Il est possible d'évaluer les performances de cette classification en évaluant le pourcentage et le nombre de pixels correctement classés à l'intérieur de chaque polygone test. La matrice de confusion illustre cette performance. Cette évaluation a été complétée par des visites sur terrain visant à valider la classification effectuée sur les images.

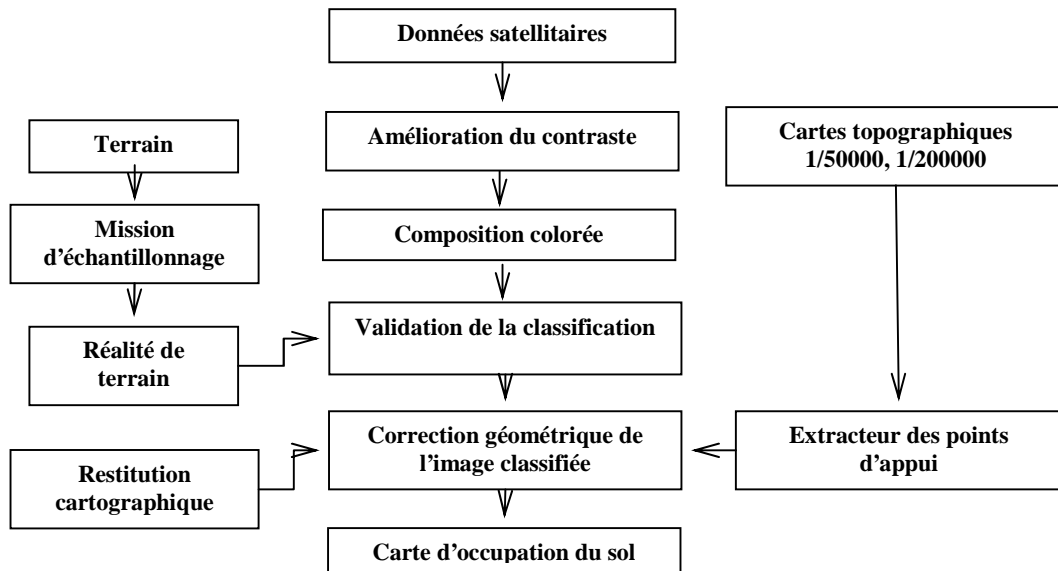


Figure 7. Etapes de la réalisation d'une carte d'occupation du sol.

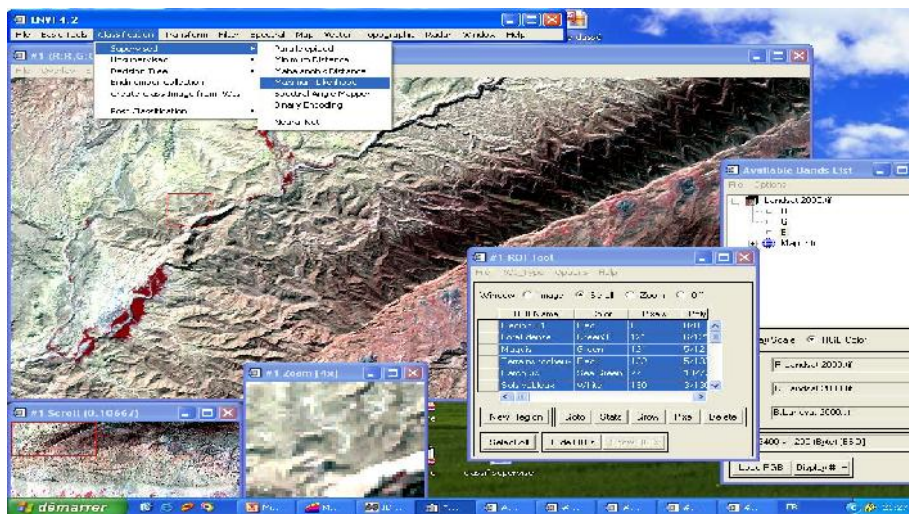


Figure 8. Technique de la classification de la composition colorée

Grâce à cette interprétation nous avons pu extrapoler pour ces zones présentant des critères de similitudes (teinte de couleur, forme géométrique, signature spectrale) qui s'approchent des zones ayant subi une reconnaissance de terrain. Les tableaux 1 et 2 illustrent cette performance.

De cette analyse il ressort que malgré les différents types d'images utilisées, nous arrivons à avoir une performance

moyenne de la classification de l'ordre de 83.09%. Il est à noter que les confusions qui existent entre les différentes catégories de l'occupation du sol de la région d'étude ont été levées grâce à une interprétation visuelle effectuée sur l'image classifiée. Les parcelles test homogènes sont particulièrement bien classées, c'est le cas des classes : Parcours, terrains rocheux, et les cultures irriguées dont le pourcentage de précision statistique (indice de HELLDEN2) est supérieur à 90%.

Tableau 1. Matrice de confusion de la classification de l'image TM de Landsat pour la période de 1987.

	Forêt dense	Forêt Claire	parcours	Cultures irriguées	Terrains rocheux	sols nus	Sols sableux	cours d'eau	Zones d'agglom.	Total en pixel
Forêt dense	<u>20121</u>	7233	2	2	0	0	0	0	0	27358
Forêt Claire	1494	<u>10581</u>	109	16	175		0	0	0	12375
parcours	9	72	<u>15954</u>	57	227	254	51	60	51	16735
Cultures irriguées	189	353	36	<u>686</u>	45	7	2	0	7	1325
Terrains rocheux	2	444	1155	16	<u>8145</u>	449	478	22	3	10714
sols nus	0	0	2821	16	284	<u>10508</u>	478	121	3	14231
sols sableux	0	0	79	15	20	1123	<u>11882</u>	74	5	13198
cours d'eau	3	7	479	180	2	70	217	<u>1359</u>	123	2440
Zones d'agglom.	0	19	89	106	33	70	39	57	<u>243</u>	656
Total en pixel	21818	18709	20724	1094	8931	12481	13147	1693	435	<u>99032</u>

Tableau 2. Matrice de confusion de la classification de l'image ETM+ de Landsat pour la période de 2001.

	Forêt dense	Forêt Claire	parcours	Cultures irriguées	Terrains rocheux	sols nus	sols sableux	cours d'eau	Zones agglom.	Total en pixel
Forêt dense	<u>4135</u>	2574	16	5	94	0	3	1	0	6828
Forêt Claire	602	<u>14683</u>	150	58	924	0	11	60	2	16490
parcours	1	143	<u>17226</u>	145	488	557	190	239	15	19004
Cultures irriguées	2	229	30	<u>2159</u>	256	4	15	9	17	2721
Terrains rocheux	12	588	256	95	<u>9815</u>	234	235	21	0	11256
sol nu	0	0	779	9	545	<u>5463</u>	1262	76	3	8137
sols sableux	0	0	566	34	339	1427	<u>8204</u>	293	90	10953
cours d'eau	0	10	518	41	28	18	242	<u>2413</u>	103	3373
Zones agglom.	0	64	513	80	234	74	384	242	<u>476</u>	2067
Total en pixel	4752	18291	20054	2626	12723	7777	10546	3354	706	<u>80829</u>

Ces catégories d'occupation du sol sont bien appréhendées et bien restituées, leur précision cartographique est fidèle avec moins de 8% d'imprécision;

Les parcelles test dont le contenu taxonomique correspond en fait à une mosaïque sont moins performants, citons par exemple les classes : Forêt dense, claire et les sols sableux dont le pourcentage de précision statistique ne dépasse pas les 70%. Cela est dû à une certaine confusion entre ces parcelles. En effet, sur les 10953 pixels affectés à la classe des sols sableux 8204 se sont trouvés bien classés.

En plus de la matrice de confusion, nous avons procédé aux calculs statistiques pour permettre la détermination des pourcentages de l'occupation du sol de chacune des formations présentes dans la zone d'étude.

6. CONCEPTION DE LA CARTE D'OCCUPATION DU SOL

La conception de la carte d'occupation du sol, de l'image corrigée jusqu'au produit fini, à nécessité deux étapes:

- Correction géométrique de l'image classée ;
- Superposition des plans d'informations sur la carte d'occupation du sol.

6.1 Résultats obtenus et Interprétation

Les résultats obtenus sont représentés sous forme de support cartographique (fig.9) identifiant les diverses composantes de l'espace étudié, notamment le couvert forestier, les parcours et les cultures, afin de permettre une analyse du processus du phénomène de dégradation.

Dans le cadre de cette étude, l'accent a été mis sur le traitement de données de télédétection diachronique pour le suivi de l'évolution de la dégradation dans un milieu semi-aride.

Les différents traitements effectués sur les deux scènes des images pendant la période de 1987 et 2001 ont permis d'obtenir la carte des changements d'occupation du sol.

L'utilisation des données de télédétection à travers la dynamique de la couverture des sols et de la composition colorée diachronique nous a permis de mettre en évidence les différents changements qui ont eu lieu entre 1987 et 2001. Ces changements concernent les mutations des unités paysagères dans cette zone.

L'analyse de la carte des changements pour toute la zone a montré l'impact de l'effet anthropique reflété par l'extension des zones d'agglomération.

En effet, l'observation du tableau 3 qui représente les pourcentages des surfaces d'occupation du sol déduit de la matrice de confusion montre que :

Cette zone a subi des changements importants qui se manifestent par une réduction du couvert forestier dense de l'ordre de 4 % qui semble être liée à des conditions climatiques sévères, notamment, à la sécheresse qui a sévit pendant le début des années 1990 [14,9], ainsi qu'à des conditions anthropiques défavorables telles que les incendies et les exploitations abusives du bois [2]. Cette régression de la forêt dense a engendré une extension d'une forêt claire et des parcours.

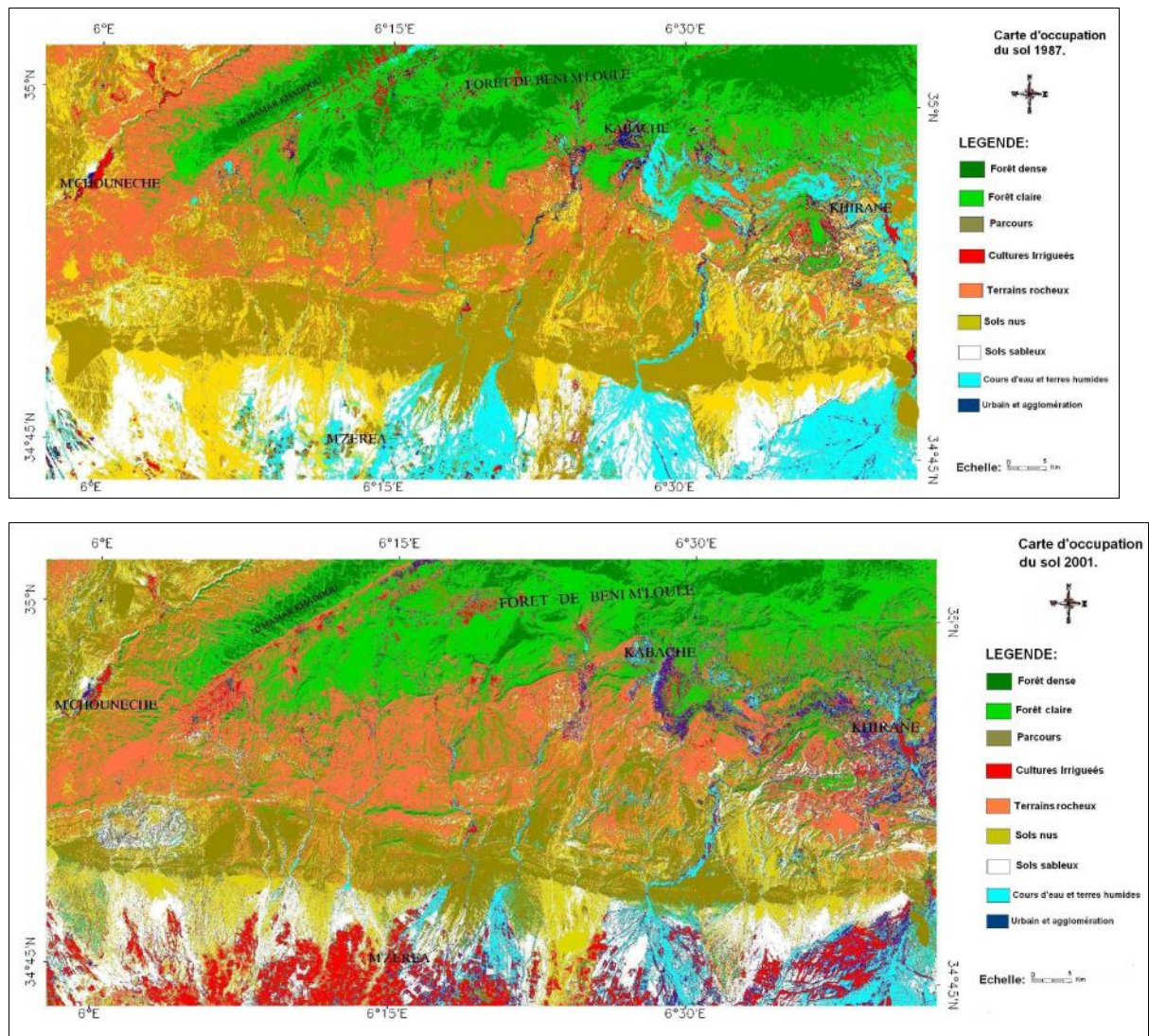


Figure 9. Carte des changements d’occupation du sol entre 1987 et 2001 dans le Sud des Aurès.

Tableau 3. Comparaison des surfaces des unités d’occupation du sol.

Unité d’occupation du sol	Superficies en (%) 1987	Superficies en (%) 2001
Forêt dense	08,85	04.98
Forêt Claire	11,42	15.20
Parcours	18,17	19.75
Cultures irriguées	02,40	05.37
Terrains rocheux	18.15	20.96
Sols nus	17,45	11.75
Sols sableux	11,86	11.04
Cours d’eau et zones hum	09,31	05.07
Zones d’agglomération.	02,38	05.84
Totale	100,00	100.00

L'action anthropique a contribué, aussi, à l'extension des zones d'agglomération qui passe de 02,38% à 05,84%.

Les superficies des cultures irriguées ont enregistré une augmentation de 02,40% à 05,37% au détriment des sols nus et des terrains humides liés à l'influence des cours d'eaux.

De l'observation des résultats précédents, nous remarquons une dégradation du couvert forestier du nord au sud et d'ouest en est.

7. CONCLUSION

A l'aide des données de télédétection nous avons mis en évidence les grandes recompositions spatiales des différents types d'occupation du sol ainsi que leur surface pour l'ensemble de la région d'étude.

Les résultats obtenus à partir des classifications des images satellitaires montrent l'existence d'une dégradation importante de la forêt, des parcours et des sols nus.

Cette étude multi dates représente un diagnostic révélateur d'un phénomène de dégradation de ces régions aboutissant à une régression considérable du couvert végétal. Ce résultat constitue un indicateur de déclenchement du phénomène de désertification dans ces régions.

La carte d'occupation du sol reste un document nécessaire et complémentaire pour l'appréhension de l'évolution rapide du phénomène de dégradation et les processus associés. Pour cela, la surveillance régulière de ce phénomène sur de longues périodes en utilisant les imageries satellitaires de haute résolution pourrait mieux évaluer le mécanisme d'évolution sur le terrain

Références

[1] K. Abdssemmed., Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica Manetti*) dans le massif de l'Aurès et du Belezma - *Etude phytosociologique, problème de conservation et d'aménagement*, Thèse Doctorat, Université d'Aix-Marseille, 1981.

[2] A. Ansar, L'Aurès Oriental: *Un milieu en dégradation*, Journal Algérienne des régions arides, Revue semestrielle N°01, Ed : C.R.S.T.R.A Biskra (Algérie), Juin 2002, pp. 24-32.

[3] S. Bedrani, *Foncier et gestion des ressources naturelles en Afrique du nord. Cas de l'Algérie : le foncier et la gestion des ressources naturelles dans les zones arides et semi-arides d'Afrique du nord*, Algérie, OSS, 1996, pp.3-32.

[4] K.F. Benbrahim, M. Ismaili, S.F. Benbrahim, A. Tribak., *Problème de dégradation de l'environnement par la désertification et de déforestation : impact du phénomène au Maroc*, Revue de sécheresse, Vol.15, Numéro 4, 2004, pp.307-320.

[5] K. Benhanif, *Etude comparative des données Alsat 1 et Landsat ETM+ pour l'évolution de l'état des Forêts dans la région Ouest- Oran*, Actes des journées techniques Alsat 1 Utilisateurs Asal, Algerie, 14 et 15 juillet 2003, pp.32-37.

[6] A. Benmohammadi, L. Benmohammadi, J.L. Ballais et J. Riser, *Analyse des interrelations anthropiques et naturelles : leur impact sur la recrudescence des phénomènes d'ensablement et de désertification au sud-est du Maroc (vallée de Drâa et vallée de ziz)*, Sécheresse (Paris), vol. 11, no 4, 2000, pp. 297-308.

[7] H. Benmessaoud, M. Kalla et H. Driddi, *Utilisation des images Alsat1 pour*

la réalisation d'une carte d'occupation du sol des zones semi arides –Cas de la région des Aurès (Algérie), Actes du colloque Géoflore, Nancy 10-12 Mai 2007, France.

[8] A. Bensaïd, *SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naâma (Algérie)*, Thèse de doctorat en géographie, Université Es-Senia, Oran, Algérie, 325 p., 2006.

[9] Direction Générale de l'Environnement (D.G.E), *Élaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques*, Communication nationale initiale, Projet national ALG/98/G31, Alger, 131 p., 2001.

[10] B. Ferdinand, *Précis de télédétection*,

Vol. 2, Applications thématiques, Presse de l'Université du Québec, 1996, 617p.

[11] B. Isabelle, *Potentiel de la télédétection pour le suivi et la caractérisation des conditions de sécheresse en milieu méditerranéen*, Thèse de Doctorat, Univ. Laval, 2007, 265p.

[12] M. Kalla, H. Dridi, H. Benmessaoud et R. Bouhetta, *Analyse de la vulnérabilité des zones endoréique à l'aide des outils de la géomatique –Cas de la zone aéroportuaire de Batna, Est-Algérie*, Actes du colloque Geotunis 2007, Tunis du 15-17 Novembre 2007.

[13] P. Rognon, *Sécheresse et aridité : leur impact sur la désertification au Maghreb*, Sécheresse (Paris), vol. 7, no 4, pp. 287-297, 1996.

Influence de la fatigue thermique et des chocs thermiques sur la tenue au frottement et à l'usure d'un revêtement en acier inoxydable austénitique 304L

Azzedine Boudebane¹, Said Boudebane¹, Philippe Revel² et Mohamed Labaiz¹

¹) *Laboratoire de Métallurgie et de Génie des Matériaux, Université Badji Mokhtar, BP 12, 23000, Annaba, Algérie.*

²) *Laboratoire Roberval, UMR 6066 CNRS, Université Technologique de Compiègne, 6025 Compiègne Cedex France.*

Accepté le 12/06/2008

الغاية المنشودة من هذا العمل هي انجاز في مخبرنا جهاز تجريبي للكلال الحراري و الصدمات الحرارية. ثم استعمل لدراسة مدى تأثير الكلال الحراري (180-550 C°) و الصدمات الحرارية (20-600 C°) على مقاومة الاحتكاك و البلى لغطاء من الصلب المقاوم للصدأ استنتيتي AISI 304L. هذا الغطاء وضع بعملية تلحيم خاصة على عينة اختبار على شكل اسطوانة من الصلب الفريتي. هذه الدراسة خاصة بثلاثة حالات للغطاء : محسس ، محسس معالج ميكانيكيا و بتقسية . كنتائج أولية نلاحظ انخفاض الصلادة الدقيقة في منطقة الترابط. لخصنا أيضا أن تطور البنية المهجرية، و الذي شهد على كل العينات، تأثر كثيرا على سرعة إزالة المادة، خاصة السطح. كما اهتمنا أيضا، بدراسة الاحتكاك. لاحظنا أن تطوره غير منتظم و هو غير مرتبط بإزالة المادة. تعبير آثار البلى بالمجهر الالكتروني اثبت تأثير حالة سطح الغطاء على سرعة إزالة المادة، خاصة بعد الصدمات الحرارية. التصليد الميكانيكي لسطح الغطاء يسبب تشكيل تشقق عبر الحبيبات و يخفض تأثير الصدمات الحرارية على إزالة المادة. في هذه الحالة بلى المادة ينتقل من بلى معتدل على إجهاد في بداية التجربة إلى بلى برى في النهاية.

حياة: الكلال الحراري الصدمات الحرارية صلب مقاوم للصدأ استنتيتي احتكاك البلى تلحيم.

Résumé

L'objectif principal de ce travail est de concevoir au sein de notre laboratoire un banc d'essai de fatigue et de chocs thermiques. Il a été mis à profit, dans un premier temps, dans l'étude de l'influence de la fatigue thermique (180 – 550°C) et des chocs thermiques (20 – 600°C) sur la tenue au frottement et à l'usure d'un revêtement en acier inoxydable austénitique AISI 304L. Ce revêtement a été déposé par le procédé de soudage T.I.G sur des éprouvettes en acier ferritique 42CD4. L'étude concerne 3 états différents du dépôt : sensibilisé, sensibilisé écroui en surface et hyperefforté. Les profils de microdureté des dépôts cyclés montrent un adoucissement au niveau de la zone de liaison entre le substrat et le dépôt, par rapport au dépôt de référence "brut de soudage". On a constaté, que l'évolution microstructurale observé sur tous les dépôts analysés au microscope optique, influe considérablement sur la cinétique d'usure et les pertes de masse, surtout en surface. Nous nous sommes intéressés également à l'étude du frottement. On a constaté que son évolution est irrégulière dans le sens de l'épaisseur et qu'il est indépendant des pertes de masse. L'analyse des traces d'usure au MEB a démontré l'influence de l'état de surface sur les pertes de masse, surtout après chocs thermiques; l'usure abrasive est aggravée par un désagrégement de la surface due à la corrosion. L'écrouissage de la surface favorise la formation de fissures transgranulaires et diminue l'effet des chocs thermiques sur les pertes de masse. Dans ce cas, l'usure passe d'une usure douce dite surcontrainte au début vers une usure abrasive plus sévère en fin d'essai.

Mots clés : fatigue thermique; choc thermique; acier inoxydable austénitique; frottement; usure; soudage.

Abstract

The main objective of this work is to design an experimental set up for thermal fatigue and shocks analyses. Initially, The influence of thermal fatigue (180-550°C) and of thermal shocks (20-600°C) on both friction and wear of a coating is studied in an AISI 304L austenitic stainless steel. This coating has been deposited by T.I.G welding process on specimens made out of 42CD4 ferritic steel. The study concerns three different cases of deposits: sensitized, sensitized and strain hardened in surface and hyperquenched (not sensitized). The

profiles of cycled microhardness deposits show a softening at the contact zone between the substrat and the deposit, with respect to the reference deposit (welding raw deposit). It is noted, that the microstructural evolution observed in all deposits, as analyzed by optical microscopy, affects considerably the wear kinetics and the rate of weight loss, especially at the surface. It is also observed that friction evolution is irregular in thickness direction and it is independent of the observed weight loss. Wear traces analysis by SEM demonstrated the influence of surface quality on weight loss, especially after thermal shocks and abrasive wear is aggravated by surface disintegration as a result of corrosion. The strain hardening of the surface favors the formation of transgranular cracks and lowers thermal shock effects on weight loss. In this case, wear evolves at the beginning, from soft wear called "overstress" towards a severe abrasive wear by the end of the test.

Key words: thermal fatigue; thermal shocks; austenitic stainless steel; friction; wear; welding.

1. INTRODUCTION

La détérioration des outils tels que, cylindres de laminage, rouleaux d'entraînement de brame de coulée continue ou toute autre pièce soumise à des sollicitations thermiques, est principalement due, dans une grande proportion, à la fatigue thermique [1, 2]. L'endommagement des couches superficielles se fait alors progressivement avec l'augmentation du nombre de cycles thermiques. L'amplitude du cyclage thermique et la température maximale sont des facteurs prédominants qui accélèrent le processus de dégradation de la surface par déformation plastique puis fissuration. Les chocs thermiques peuvent se substituer à la fatigue thermique, si certaines conditions thermomécaniques sont remplies, le nombre de cycles d'utilisation serait alors plus limité [3]. L'usure et la corrosion sont également des facteurs importants qui détériorent les couches superficielles [4]. Leur interaction avec la fatigue thermique rend l'étude plus complexe, mais intéressante, d'où l'idée d'étudier, dans un premier lieu, l'influence de la fatigue thermique et des chocs thermiques sur la tenue à l'usure d'un matériau principalement connu par sa bonne tenue à la corrosion [5]. Notre banc d'essai a été réalisé dans ce but.

2. PROCEDURES EXPERIMENTALES

2.1 Banc d'essai de fatigue thermique

Notre choix s'est porté sur l'acier de type AISI 304L (tab. 1), il est largement utilisé dans l'industrie, notamment dans les circuits de refroidissement des centrales nucléaires [6, 7].

Tableau 1. Composition chimique de l'acier 304L en % masse.

C	Cr	Ni	Mn	Si	S	P
0,02%	19%	9%	2% max	1% max	<0.03	<0.045

Il a été déposé sur des éprouvettes de forme cylindrique en acier ferritique 42CD4, par le procédé T.I.G. L'épaisseur du dépôt est de 2 mm. Les dimensions ont été calculées en fonction de la puissance du générateur à hautes fréquences. Le perçage central permet la circulation de l'eau de refroidissement (fig. 1). Le dépôt subit soit, un traitement thermique par une hypertrempe à 1100°C suivi par un revenu à 550°C, soit uniquement un traitement mécanique. Ce dernier consiste en un brunissage avec les conditions suivantes : vitesse = 560 tr/mn ; avance=0.065mm/tr ; diamètre de la bille en diamant 2 mm ; la pression exercée par la bille est égale à 20 à kgf, soit 196 N. Comme on a prévu des dépôts sensibilisés sans traitement et une éprouvette de référence avec dépôt sensibilisé ne subissant pas de cyclage thermique.

Dans la conception de notre dispositif (fig.2), on s'est inspiré de certains travaux sur la fatigue thermique des aciers à outils pour travail à chaud [1,8,9]. On a essayé,

au mieux, de respecter certaines conditions thermomécaniques supportées par l'outil :

- le chauffage et le refroidissement périodique de la surface ;
- le chauffage rapide qui assure un gradient de température important entre la surface et le cœur de l'éprouvette ;
- la phase de refroidissement plus lente que la phase de chauffage ;
- la forme cylindrique et le refroidissement interne.

Nous avons conçu un dispositif à éprouvette fixe. Le chauffage en surface

est assuré par un générateur haute fréquence d'une puissance de 9 KW (8), il permet d'avoir des montées en température très rapides, pour créer un gradient de température suffisant entre les couches superficielles du dépôt et le cœur de l'éprouvette.

Nous avons réalisé le cyclage thermique entre 180 - 550°C, avec une durée de 75 s pour chaque cycle, soit 18 s de chauffage et 57 s de refroidissement. Le débit d'eau et la puissance du générateur sont réglables, ce qui nous a permis d'ajuster le temps d'un cycle.

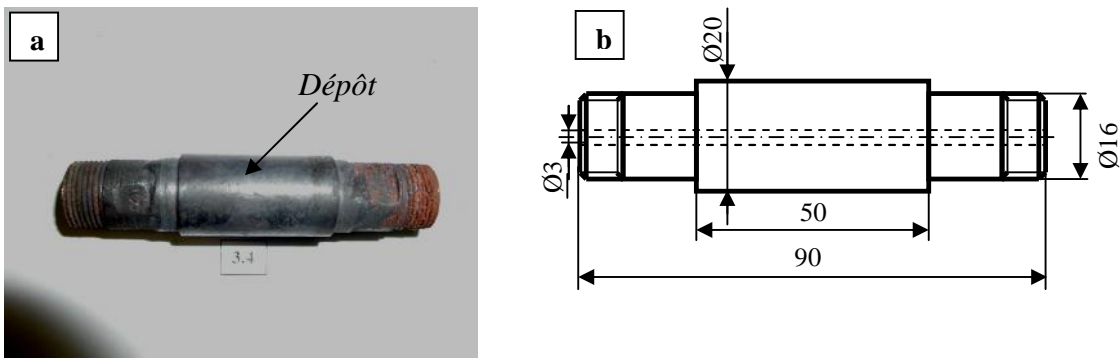


Figure 1. a) Eprouvette cyclée, b) Dimensions normatives de l'éprouvette cyclée.

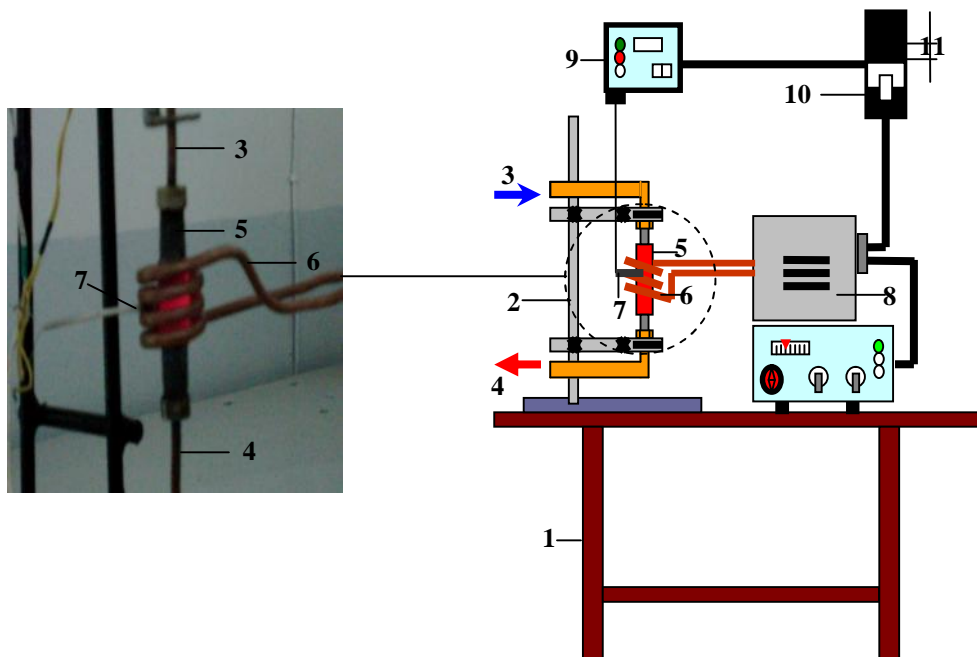


Figure 2. Schéma du banc d'essai de fatigue thermique. (Voir légende en page suivante).

(1) table; (2) support; (3) et (4) entrée et sortie eau de refroidissement; (5) éprouvette; (6) inducteur; (7) thermocouple; (8) générateur HF; (9) régulateur électronique; (10) disjoncteur; (11) source de courant.

Le dépôt est chauffé rapidement en surface par l'inducteur en spirale (6), qui est relié au générateur HF (8), et dans lequel est logée l'éprouvette (5). La température est mesurée par le thermocouple (7) de type K à réponse rapide. Quand la température maximale du cycle est atteinte (550°C), le régulateur électronique (9) donne le signal au disjoncteur (10) qui coupe le courant, le générateur HF (8) s'arrête, l'éprouvette n'est plus chauffée. L'eau qui circule en permanence à l'intérieur de l'éprouvette, assure son refroidissement, une fois la température minimale atteinte (180°C), le régulateur donne le signal au disjoncteur, qui met le générateur en marche, et un nouveau cycle commence. Le nombre de cycles a été fixé à 200 et 400 cycles.

On a aussi réalisé des essais cycliques de chocs thermiques (250 chocs thermiques) sur des éprouvettes de la même forme et de mêmes dimensions : celles-ci sont chauffées par induction jusqu'à 600°C puis refroidies rapidement jusqu'à 20°C par un jet d'eau. Pour ce but, on a dû modifier le dispositif de fatigue thermique.

Pour étudier le comportement au frottement et à l'usure des dépôts cyclés, nous avons découpé des échantillons en forme de tranche de chaque éprouvette. Au cours de l'essai, l'échantillon est disposé sur l'appareil de telle manière que la surface du dépôt soit en contact direct avec le galet en 100C6 (fig.3).

La vitesse de rotation du galet et la force normale F_N sont constantes (1020 t/min et 15.56 N). Le schéma du tribomètre décrit dans la figure 3 présente tous les paramètres géométriques qui entrent dans le calcul du coefficient de

frottement.

3. RESULTATS ET DISCUSIONS

3.1 Evolutions microstructurales

Des travaux antérieurs ont montré l'importance des évolutions microstructurales dans le phénomène de fatigue thermique des aciers inoxydables austénitiques [10].

L'analyse macrographique montre, après préparation et attaque chimique à l'acide oxalique à 4%, une zone de liaison de forme irrégulière entre le substrat et le dépôt. Cet aspect est dû principalement au procédé T.I.G qui assure une solubilité importante du dépôt dans le substrat, d'où une couche plus ou moins épaisse et riche en chrome.

Avant cyclage thermique, la structure de la zone de liaison du dépôt "brut de soudage" dit de référence est purement austénitique avec une morphologie dendritique en surface, c'est la structure typique d'un acier inoxydable à 19 % de chrome. Les spectres EDS des points ciblés (A), (B) et (C) de cette zone (fig.4a), montrent qu'il y a variation de la composition chimique dans le sens radial de l'éprouvette; en effet, on a enregistré au point (A) 21,52% Cr -6,94% Ni, au point (B) 9,78% Cr-3,59% Ni (fig.4b) et au point (C) 1,84% Cr -1,87Ni.

Après cyclage thermique la structure du dépôt "brut de soudage" évolue, il y a formation de martensite au niveau de la zone de liaison (fig.5). Celle-ci est due à la diffusion de carbone. Le cœur a révélé une austénite à gros grains plus ou moins allongés avec une sous structure dendritique et surtout une précipitation de carbures métalliques en forme de

chapelet aux joints de grains (fig.6), (fig.7).
 identifiés aux RX comme du $Cr_{23}C_6$

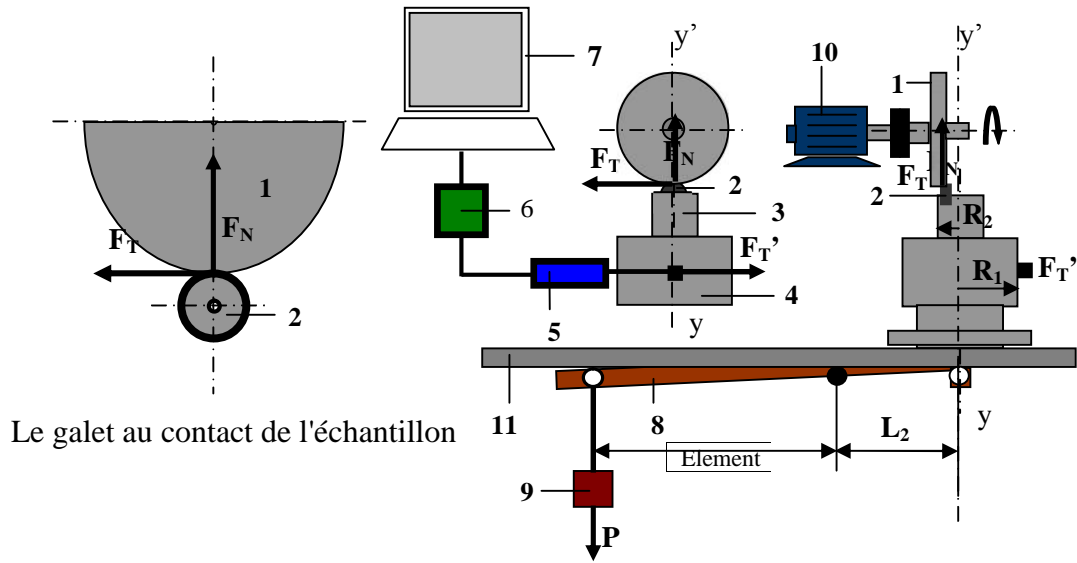


Figure 3. Schéma descriptif du tribomètre: (1) galet; (2) échantillon; (3) porte échantillon; (4) tambour; (5) capteur; (6) interface; (7) ordinateur; (8) balancier de chargement ; (9) poids ; (10) moteur; (11) table.

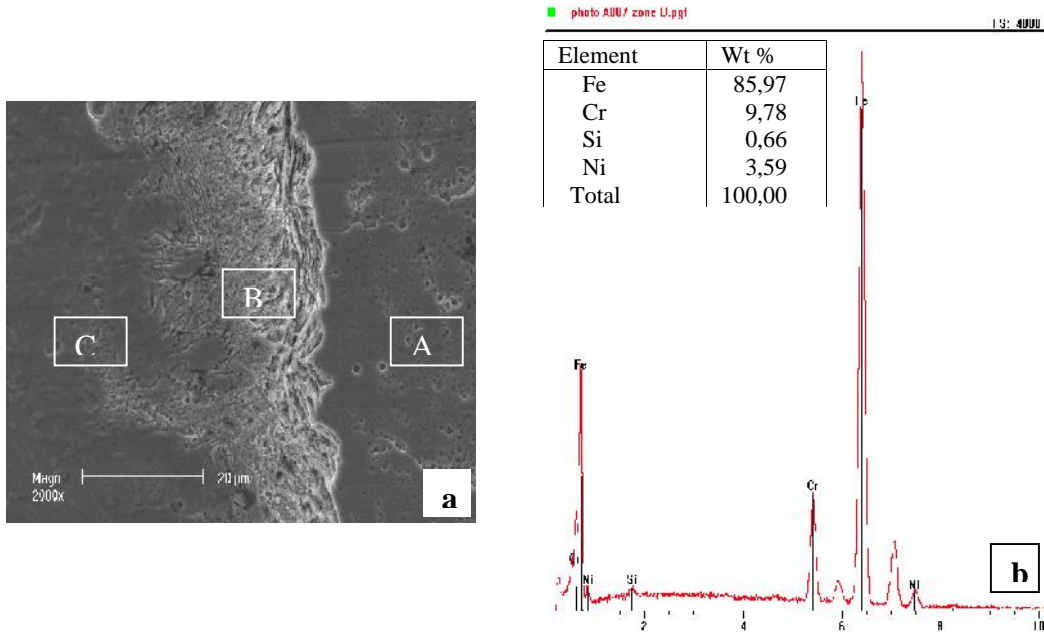


Figure 4. (a) Zone de liaison vue au MEB. (b) Spectre EDS au point (B).

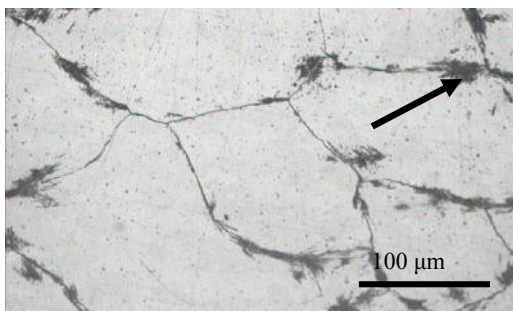


Figure 5. Formation de martensite aux joints de grains du dépôt sensibilisé. FT200.

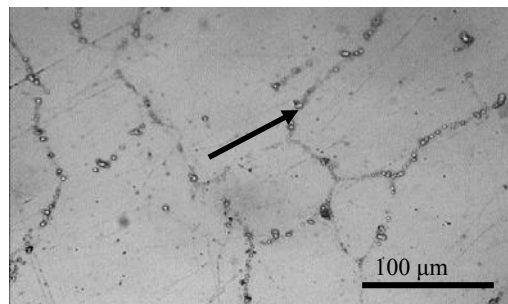


Figure 6. Structure austénitique avec précipitation du carbure $Cr_{23}C_6$ aux joints de grains.

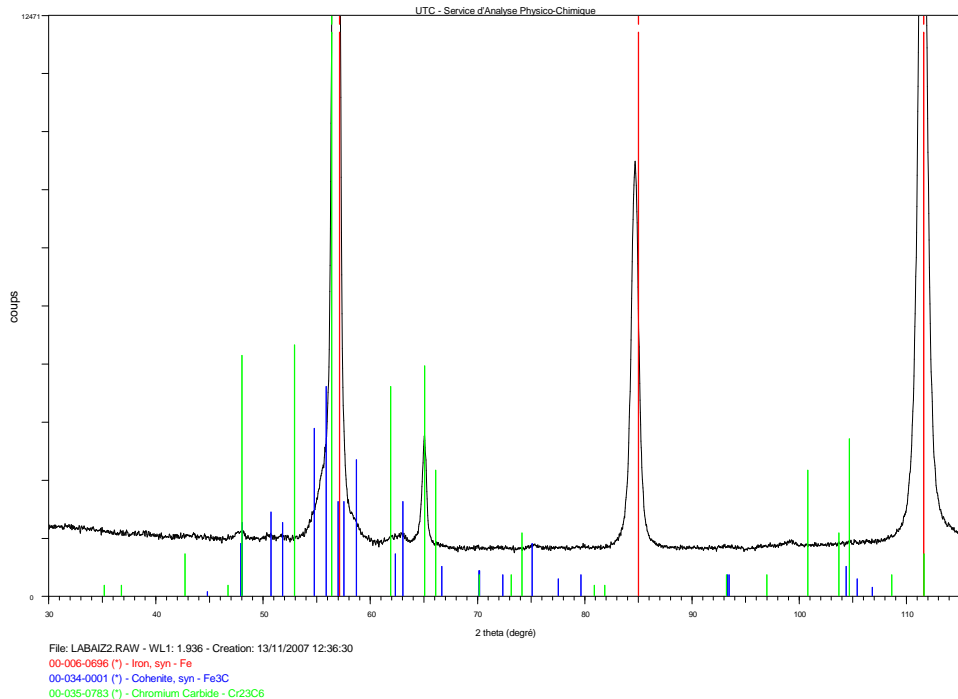


Figure 7. Identification aux RX du carbure $Cr_{23}C_6$ au cœur du dépôt.

Au cœur du dépôt non sensibilisé, on observe de l'austénite et de la martensite ϵ formée d'aiguilles translucides localisée au joint de grain (fig.8), induite par les contraintes thermiques de trempe.

En surface, l'analyse micrographique du dépôt sensibilisé après 400 cycles ne révèle aucun endommagement, la structure est austénitique à gros grains. Par contre, à 250 chocs thermiques, le dépôt présente des fissures importantes de type à la fois intergranulaires et transgranulaires.

En ce qui concerne le dépôt écroui (traitement mécanique), la structure en surface après 400 cycles est aussi austénitique, avec des bandes de déformation dues au traitement mécanique, sans endommagement (fig. 9). Par contre, des fissures transgranulaires apparaissent en surface après chocs thermiques (fig. 10), la

déformation à froid engendre une sous structure qui peut être à l'origine de ce phénomène.

Le dépôt hypertempéré présente, après seulement 200 cycles de chauffage et refroidissement, des fissures intergranulaires d'aspect faïencé (fig.11). Ce sont les chocs thermiques qui causent le plus de dommages au dépôt hypertempéré, car en plus des fissures, il y a corrosion intergranulaire avec détachement de grains de la surface (fig.12).

L'opération de soudage ou le maintien d'un acier inoxydable hypertempéré dans la zone des températures comprises entre 500 et 800°C provoque la diffusion de carbone en sursaturation aux joints de grains et la précipitation de carbures $Cr_{23}C_6$ riches en chrome. Il s'en suit une sensibilité à la corrosion intergranulaire, phénomène qui caractérise les aciers inoxydables austénitiques, à cause de

l'existence de zones d'"chromées" [5]. La propagation de la fissure suivra alors le chemin de la moindre résistance, c'est-à-dire le joint de grain.

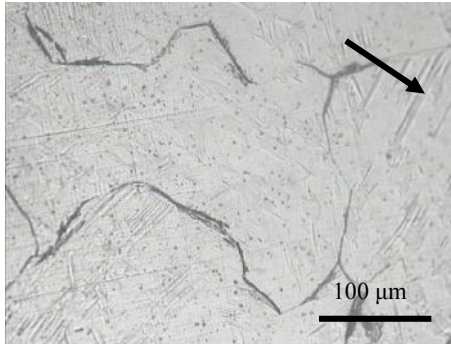


Figure 8. Cœur du dépôt hypertrempé, structure austénitique avec aiguille de martensite. FT200.

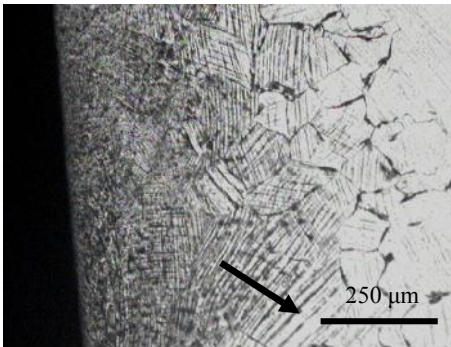


Figure 9. Structure austénitique avec bandes de déformation.

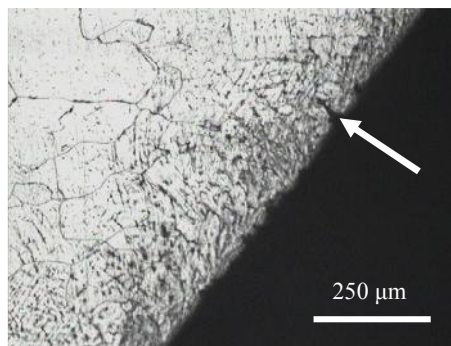


Figure 10. Bandes de déformation et fissures transgranulaires. CT250.

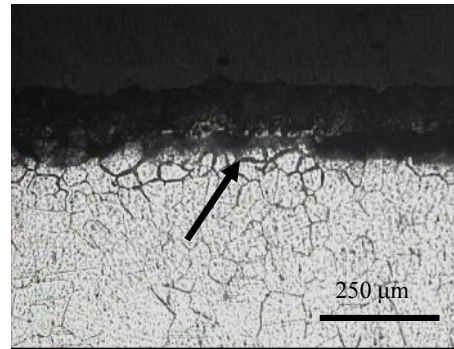


Figure 11. Fissures inter-granulaires d'aspect faïencé. FT200.

3.3 Essais d'usure et de frottement

Avant d'entreprendre l'essai d'usure, des profils de dureté Vickers 200 grammes, ont été réalisés (fig.13), car c'est un paramètre déterminant de l'usure. La dureté du dépôt "brut de soudage" est relativement importante dans l'intervalle de profondeur allant de 2 à 4 mm, qui coïncide avec la zone de liaison ou de dilution. La diffusion de carbone du substrat ferritique vers cette zone austénitique favorise, au cours du soudage, la formation de martensite nettement plus dure. La dureté maximale dans cette zone est de l'ordre de 600 HV.

Après cyclage thermique (180° - 550°C), on enregistre un adoucissement au niveau de la zone de liaison suite au phénomène de revenu. A la surface et au cœur, on constate par contre, un léger durcissement par rapport au dépôt de référence, qui est dû en général aux contraintes thermiques engendrées par le gradient de température.

Les essais de choc thermique influent peu sur la dureté, néanmoins, on observe un léger durcissement au cœur du dépôt, dû au refroidissement brusque (600–20°C). Le brunissage durcit également la surface sur une profondeur de 200 µm, la dureté maximale enregistrée est de l'ordre de 455 HV (fig.13).

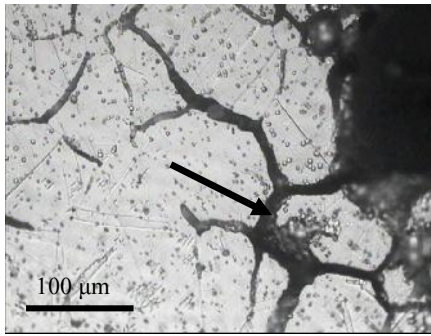


Figure 12. Fissures et corrosion intergranulaire. CT 250.

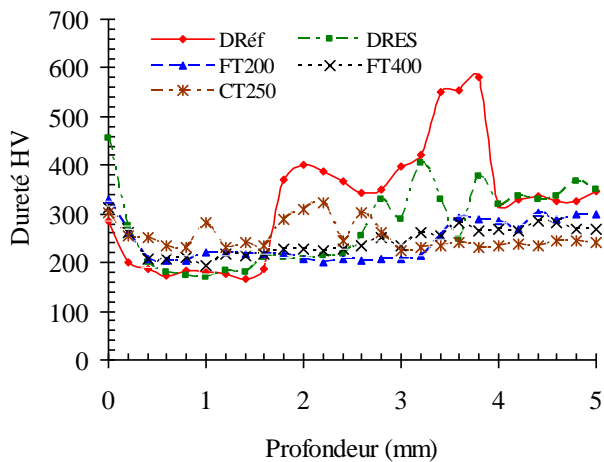


Figure 13. Profils de dureté du dépôt sensibilisé écroui en surface par brunissage.

3.3.1 Coefficient de frottement

Pour le dépôt sensibilisé « brut de soudage », le coefficient de frottement augmente nettement après chocs thermiques (fig.14), que ce soit à la surface ou au cœur. Ce comportement est lié probablement à l'évolution de la structure et à l'endommagement du matériau. Après fatigue thermique, l'augmentation du coefficient de frottement est par contre faible. Cela est vraisemblablement le résultat d'une évolution microstructurale faible et limitée à la surface.

Pour le dépôt hyper trempé, le coefficient de frottement semble au contraire diminuer avec l'augmentation du nombre de cycles, avec cependant, une

irrégularité persistante du coefficient liée à l'hétérogénéité du dépôt, surtout dans la zone de liaison, lieu de diffusion et de formation de nouvelles phases. L'hypertrempe ne provoque pas de durcissement mais évite la sensibilisation du matériau par la mise en solution des carbures dans les grains. Ce sont surtout les contraintes de surface dues au cyclage thermique qui, en durcissant le matériau, devrait diminuer le coefficient de frottement. Les résultats obtenus en surface, après 400 cycles, sont assez significatifs (fig.15).

Le coefficient de frottement du dépôt écroui en surface, par brunissage, est inférieur à la référence, que l'on attribue au traitement mécanique qui améliore la dureté des couches superficielles du dépôt (fig.15).

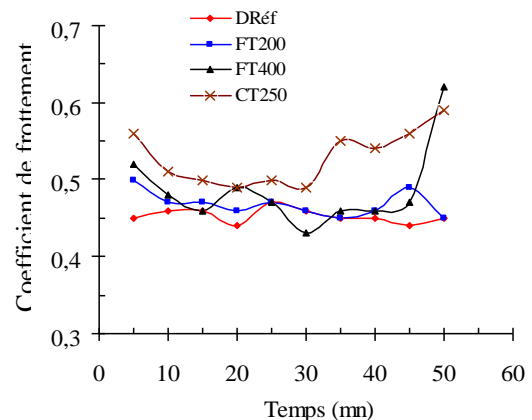


Figure 14. Variations du coefficient de frottement du dépôt sensibilisé.

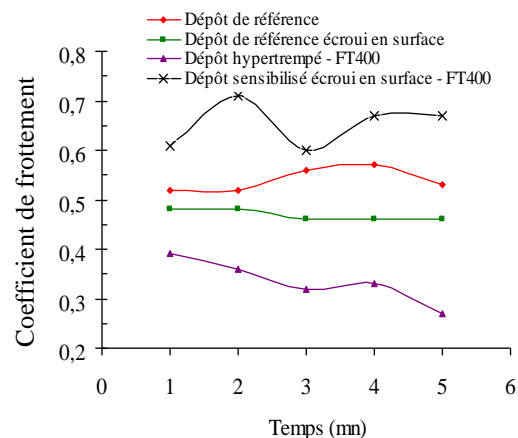


Figure 15. Variations du coefficient de frottement en surface. FT400.

Par contre, le dépôt écroui en surface, après cyclage thermique, présente le coefficient de frottement le plus élevé, car aux contraintes thermiques s'ajoutent les contraintes mécaniques, ce qui active l'endommagement par fissuration et décohésion (fig.15).

3.3.2 Cinétique d'usure

L'objectif est d'enregistrer chaque 10 minutes les pertes de masse par rapport à la masse initiale de l'échantillon, afin de tracer des courbes de pertes de masse en fonction du temps. On constate à premier abord, une augmentation des pertes pour tous les dépôts, par rapport au dépôt de référence (fig.16, 18 et 19). Les chocs thermiques semblent avoir un effet davantage aggravant que la fatigue thermique sur la cinétique d'usure du dépôt sensibilisé (fig.16), et cela pendant les 30 premières minutes de l'essai.

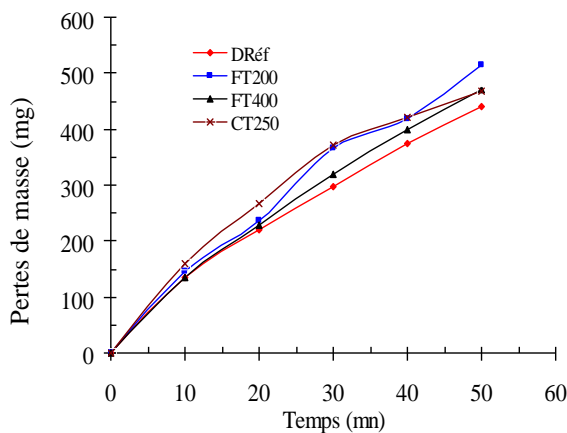


Figure 16. Cinétiques d'usure du dépôt sensibilisé.

Mis à part le léger pic observé à 30 minutes, l'augmentation du nombre de cycles de fatigue thermique n'a pas d'effet notable sur le processus d'usure. Les traces d'usure vues au MEB (fig.17) montrent des sillons ininterrompus et un copeau déformé, caractéristiques d'une usure par abrasion [11].

L'écrouissage en surface donne au dépôt sensibilisé une meilleure résistance à l'usure des couches superficielles soumises aux chocs thermiques (fig.18), grâce à une amélioration des caractéristiques mécaniques. Il y a apparition encore une fois du pic à 30 minutes de l'essai, il coïncide avec la zone de liaison, ce phénomène semble être propre aux dépôts sensibilisés. Cette zone qui a été thermiquement affectée au cours du soudage, est le lieu de transformations microstructurales telles que : les précipitation de carbures, et de transformations de phases.

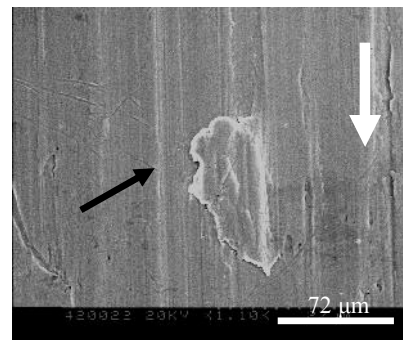


Figure 17. Traces d'usure du dépôt sensibilisé FT200.

Les chocs thermiques augmentent sensiblement la vitesse d'usure du dépôt hypereutectique, surtout, durant les 10 premières minutes où on enregistre jusqu'à 171 mg de pertes de masse (fig.19).

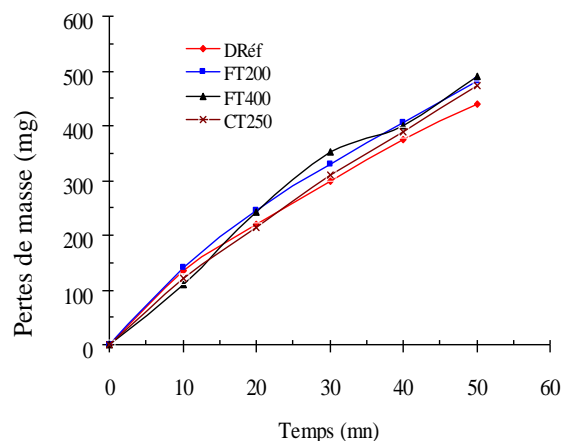


Figure 18. Cinétique d'usure du dépôt sensibilisé écroui en surface.

Ce comportement est attribué à l'endommagement du matériau en surface. Les traces d'usure vues au MEB (fig.20) le confirme; en effet, la corrosion attaque de façon différentielle les constituants du dépôt; tout autour des carbures de chromes $Cr_{23}C_6$, la zone déchromée est corrodée par l'eau de refroidissement au cours des l'essais de chocs thermiques, en formant des microcavités.

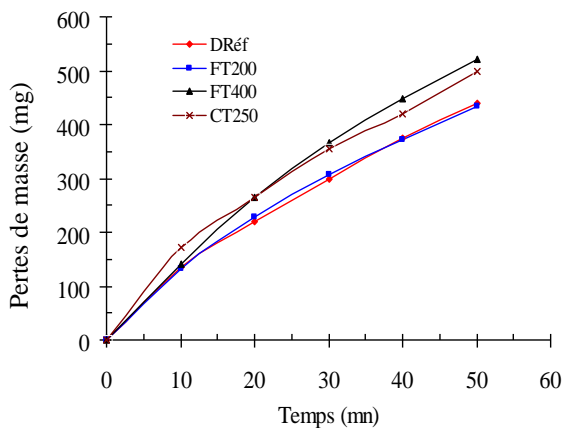


Figure 19. Cinétiques d'usure du dépôt hypertrempé.

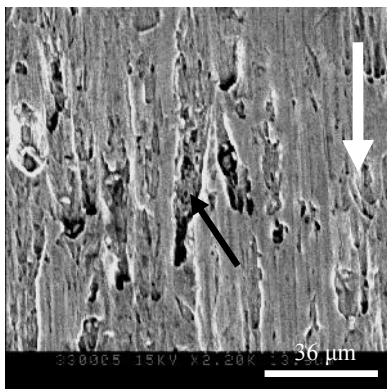


Figure 20. Traces d'usure du dépôt hypertrempé. CT250. La flèche blanche indique le sens du glissement.

Ainsi, la surface devient poreuse facile à désagréger, ce qui augmente l'usure par frottement. La même observation a été faite pour le dépôt sensibilisé soumis aux chocs thermiques (fig.21).

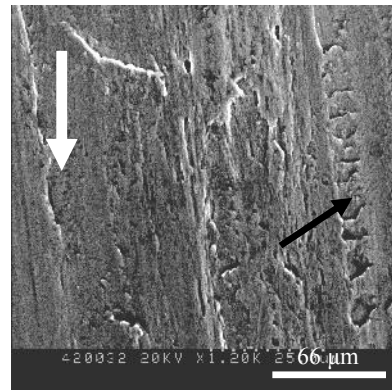


Figure 21. Traces d'usure du dépôt sensibilisé. CT250

Au cœur, un cyclage thermique relativement important (400 cycles) accélère l'usure; le grossissement de grain pourrait en être la cause, l'influence de la taille des grains sur la fatigue thermique a été démontrée [12].

4. CONCLUSION

Les bancs d'essai de fatigue et de choc thermique mis au point pour cette étude semblent fonctionner correctement, ce qui est déjà un résultat important permettant une continuité à ce travail. Quant aux résultats expérimentaux, on note d'abord, un adoucissement de la dureté au niveau de la zone de liaison des éprouvettes cyclées en fatigue thermique, par élimination des contraintes dues au soudage, et un léger durcissement en surface dû au gradient thermique. On observe aussi, une évolution de la structure du matériau, d'abord au cours du soudage puis au cours du cyclage thermique, par grossissement de grain, précipitation et coalescence de carbures de type $Cr_{23}C_6$, ce qui devrait influencer considérablement sur la cinétique d'usure et les pertes de masse, surtout en surface. Le coefficient de frottement évolue également dans le dépôt au cours du cyclage, mais d'une manière irrégulière, et il n'est pas forcément lié aux pertes de masse. L'écrouissage quant à lui, semble favoriser la formation de fissures transgranulaires et diminuer les effets des chocs thermiques sur les pertes de masse.

Ces mêmes chocs thermiques qui, en provoquant des fissures et une corrosion intergranulaire augmentent les pertes de masse en surface. Comme la résistance à la fatigue thermique est aussi dépendante de la présence et de la nature des contraintes résiduelles, il serait intéressant de poursuivre à l'avenir nos investigations dans cette direction.

NOMENCLATURE

T.I.G	Tungsten Inert Gas
DRef	Dépôt de référence (dépôt brut de soudage)
FT200	200 cycles de fatigue thermique
FT400	400 cycles de fatigue thermique
CT250	250 chocs thermiques

REFERENCES

- [1] D. Rousseau, J.P. Riegert, L.Séraphin, R. Tricot, *Fatigue thermique des aciers à outils pour travail à chaud*, Revue de Métallurgie, (Décembre 1975), p. 875–890.
- [2] W. S. Dai, M. Ma, J.H. Chen, *The thermal fatigue behavior and cracking characteristics of hot – rolling material*, Materials Science and Engineering, A 448 (2007), p. 25 – 32.
- [3] P. Revel, K. Necib, G. Beranger, H. Michaud, *Simulation expérimentale de la fatigue thermique d'un cylindre revêtu d'un acier inoxydable martensitique*, La Revue de Métallurgie – CIT / Science et Génie des Matériaux, (Mai 1998), p. 679 – 690.
- [4] G. Aldrich – Smith, D.G. Teer, P.A. Dearnley, *Corrosion - wear response of sputtered CrN and S – phase coated austenitic stainless steel*, Surface and coating technology, (116 – 119), (1999), p. 1161 – 1165.
- [5] P. Lacombe, B. Baroux, G. Beranger, *Les aciers inoxydables*, Editions de physique, France, 1990.
- [6] A. FISSOLO, *Fissuration en fatigue thermique des aciers inoxydable austénitiques*, Habilitation, Rapport CEA-R-5982, Saclay, Juillet 2001.
- [7] N. HADDAR, *Fatigue thermique d'un acier inoxydable austénitique 304L : Simulation de l'amorçage et de la croissance des fissures courtes en fatigue isotherme et anisotherme*, Thèse de Doctorat de l'Ecole National Supérieure des Mines de Paris, Spécialité Science et Génie des Matériaux, (2003).
- [8] V. Maillot, A. Fissolo, G. Degallaix, S. Degallaix, *Thermal fatigue crack networks parameters and stability : an experimental study*, International Journal of Solids and Structure, 42 (2005), p. 759 – 769.
- [9] J. Sjostrom, J. Bergstrom, *Thermal fatigue testing of chromium martensitic hot – work tool steel after different austenitizing treatments*, Journal of Materials Processing Technology, Volume 153 – 154, (Novembre 2004), p. 1089 – 1096.
- [10] F. De. Backer, V. Schoss, G. Maussner, *Investgations on the evaluation of the residual fatigue life – time in austenitic stainless steels*, Nuclear Engineering and Design, 206 (2001), p. 201 – 219.
- [11] M. Zandrahimi, M. Reza Bateni, A. Poladi, J.A. Szpunar, *The formation of martensite during wear of AISI 304 stainless steel*, Wear, 263, (2007), pp. 674-678.
- [12] L. Valentini, A.Di Schino, J. M. Kenny, Y.Gerbig, H. Haefhe, *Influence of grain size and film composition on wear resistance of ultra grained AISI 304 stainless coated with amorphous carbon films*, Wear, 253 (2002), p. 458 – 464.

Approche numérique de la plasticité induite par transformation diffusio-nnelle : investigations dans le cas de l'interaction plasticité classique TRIP

Ha Hoang, Fabrice Barbe et Lakhdar Taleb

*LMR, EA 3828, Institute for Materials Research (IMR),
INSA de Rouen, BP 8 avenue de l'université, 76800 St Etienne du Rouvray, France.*

Accepté le 12/06/2008

الظاهرة الميكانيكية المسماة (TRIP) Plasticity Transformation Induced أو "تحول لدانة بالتحريض" تتناسب مع تشوه دائم ناتج عن تحول مرحلي والذي يمكن أن يظهر خلال تحول تحت تأثير حمل خارجي مثل الصلد الأولي بالطرق. ظاهرة (TRIP) يمكن أن تظهر خاصة إبان عمليات تلحيم الفولاذ والتي تشمل مراحل التبريد. النموذج الذي يأخذ بعين الاعتبار التصلد الأولي للاوستنيت (Leblond) أظهر ضعفه في تقليد النتائج التجريبية المقدمة من طرف (Taleb et Petit-Grostabussiat) افرز هذا طرق بديلة رقمية تعتمد على العناصر المنتهية لتفسير النتائج. هذا البحث يقدم نتائج رقمية تخص التحول البيني لحجم في الحالة المثالية لبذرة واحدة وسط الحجم المدروس. تكون هذه الحالة بمثابة اختبار وكذلك للحالة التي تظهر فيها البذور بطريقة عشوائية في الزمن و المكان حسب قانون توزيع معين.

الكلمات المفتاحية: دانة بالتحريض؛ تشكيل ميكروميكانيكي؛ تحول انتشاري؛ عناصر منتهية.

Résumé

Le phénomène mécanique appelé TRIP (Transformation Induced Plasticity), correspondant à une déformation permanente induite par une transformation de phase, peut apparaître lors d'une transformation sous chargement extérieur comme lorsque la phase parente a été pré-écrouie. Le TRIP peut apparaître en particulier pendant des opérations de soudage d'aciers, lors de la ou des étapes de refroidissement. Le modèle le plus courant qui permet de tenir compte d'un pré-écrouissage de l'austénite pour prédire le développement de TRIP (modèle de Leblond) s'est montré imparfait pour reproduire les résultats expérimentaux dans le cas d'une phase parente pré-écrouie, d'après ce qu'ont montré Taleb et Petit-Grostabussiat. Ceci a donc motivé le développement de méthodes alternatives, à savoir par éléments finis, pour tenter de mieux rendre compte par modélisation de ces effets de pré-écrouissage. Cet article présente les investigations numériques concernant la transformation bainitique d'un macrovolume cubique dans le cas idéalisé où un seul germe est présent au centre du volume d'étude (ceci constitue un cas test), ainsi que dans le cas où des germes apparaissent aléatoirement dans l'espace et dans le temps selon une loi de distribution donnée.

Mots clés : Plasticité induite par transformation; modélisation micromécanique; transformation diffusio-nnelle; éléments finis.

Abstract

The mechanical phenomenon called TRIP (Transformation Induced Plasticity), corresponding to a permanent strain induced by a phase transformation, can be due to an externally applied load or to a pre-hardening of the parent phase. TRIP can appear particularly during a welding operation on steels, during the cooling step(s). The most currently used model which allows to take into account the pre-hardening of austenite for the prediction of TRIP (Leblond model) has shown to be incorrect to reproduce the experimental results in the case of a pre-hardened austenite, according to the work of Taleb and Petit-Grostabussiat. This has motivated the development of alternative methods, with finite elements analysis, to try to improve the prediction of this effect of pre-hardening. This article presents the numerical investigations concerning the bainitic transformation of a cubic macro-volume. Two cases are treated: the ideal case where a single nucleus is present at the center of the volume (test case); the case where nuclei appear randomly in space and in time, according to a given distribution law.

Key words: Transformation induced plasticity; micromechanical modelling; diffusive transformation; finite elements.

Auteur correspondant: lakhdar.taleb@insa-rouen.fr (Lakhdar Taleb)

1. INTRODUCTION

Le phénomène de plasticité de transformation se manifeste lors d'une transformation de phase solide-solide dans un métal (phase β se transforme en phase α par exemple) sous chargement avec une contrainte externe constante inférieure à la limite d'élasticité de la phase la plus molle (phase β). Lors de la transformation de phase, la différence de densité de volume entre les deux phases β et α génère des contraintes internes qui, sous chargement externe, provoquent de la plasticité microscopique dans la phase β . Ces déformations plastiques induites par transformation sont désignées par le TRIP (TRansformation Induced Plasticity). D'un point de vue microstructural, il y a deux mécanismes qui peuvent expliquer ce phénomène : le mécanisme de Magee [14] et celui de Greenwood-Johnson [11]. Le mécanisme de Magee est relatif au développement de la transformation martensitique sous forme de plaquettes tandis que celui de Greenwood-Johnson [11] est relatif aux différences entre les caractéristiques des différentes phases. La phase austénitique est en effet une structure cubique à faces centrées, les structures ferritiques sont quant à elles des structures cubiques centrées. La différence de compacité entre ces deux structures induit un changement de volume lors de la transformation. En l'absence de contrainte appliquée, le tenseur microscopique des contraintes internes est sphérique et seul le changement de volume global est observé. Par contre, l'application d'une contrainte externe entraîne que le tenseur des contraintes internes n'est plus sphérique, ce qui induit une déformation irréversible dans la direction de la contrainte appliquée. Cette déformation permanente n'étant observée que lors d'une transformation de phase, elle se distingue de la plasticité classique et on la nomme *plasticité de transformation*.

L'importance relative de ces deux

mécanismes dépend de la transformation considérée et de l'acier étudié. Il est généralement admis que tous les deux mécanismes sont présents pour les transformations sans diffusion et les transformations avec diffusion.

Un essai typique de Taleb *et al* [19] a été exécuté pour évaluer le phénomène de plasticité de transformation. Cet essai se compose de 2 cycles thermo-mécaniques sur le même acier: *test de dilatométrie libre et test de plasticité de transformation*. Dans ces deux tests, l'acier est soumis au même cycle thermique qui mène à la transformation de phase austénitique au chauffage et à la transformation de phase ferritique au refroidissement. Durant le test de dilatométrie libre, l'éprouvette subit uniquement la variation de température. Dans le second test, on applique une contrainte externe inférieure à la limite d'élasticité de l'acier dans sa phase austénitique juste avant le début de la transformation et on la maintient constante durant le refroidissement. Plusieurs auteurs ont proposé des modèles associés à la plasticité de transformation ; nous noterons généralement que pour beaucoup de modèles, seul le mécanisme de Greenwood-Johnson [11] est considéré. Parmi les modèles prenant en compte le mécanisme de Greenwood-Johnson, le plus courant est le modèle de Leblond [12,13]. Il permet par ailleurs de tenir compte d'une pré-charge de l'austénite sur la plasticité de transformation. Ce modèle a été éprouvé dans des cas d'essais classiques de plasticité de transformation et a montré de très bonnes capacités prédictives sous chargement uniaxial comme biaxial (voir les travaux de Taleb et al d'une part [19,21], et de Coret et al d'autre part [23]). Cependant, comme cela a été montré dans les travaux expérimentaux de Taleb et Petit-Grostabussiat [20,22], il s'est montré non

satisfaisant pour reproduire les résultats expérimentaux dans le cas où la phase parente (austénite) a été pré-écrouie, tant pour la transformation martensitique que pour la transformation bainitique. Par exemple, une pré-déformation en traction entraîne un TRIP positif tandis qu'un TRIP négatif ou presque nul est prévu par le modèle de Leblond avec le même type de pré-déformation. Ceci a donc motivé le développement de méthodes alternatives, à savoir par éléments finis, pour tenter de mieux rendre compte par modélisation de ces effets de pré-charge.

Les investigations préliminaires des approches numériques alternatives sur la transformation diffusionnelle et martensitique se basant sur les modèles numériques de Ganghoffer [8, 9] sont présentées dans [2, 3, 15, 16]. Dans le cadre de cet article, nous allons présenter les investigations numériques avec la méthode des éléments finis concernant la transformation bainitique considérée ici comme diffusionnelle. En fait, il y a trois cas de croissance qui ont été étudiés par notre équipe dont le cas où les germes apparaissent aléatoirement en même temps dans un macrovolume; ceci a été détaillé dans [2, 3, 24]. Deux autres cas sont abordés dans cet article:

(i) la croissance périodique : les germes apparaissent instantanément en étant disposés selon un réseau cubique ; ceci correspond à un cas d'étude simple et rapide ayant fait l'objet de travaux préliminaires pour des essais de plasticité classique [4] ;

(ii) la croissance aléatoire dans l'espace et dans le temps qui correspond à un cas plus proche de la réalité physique, présenté pour les situations de plasticité classique dans [25].

Cet article se compose de deux parties principales : tout d'abord la modélisation numérique pour les deux types de

croissance. Ensuite les analyses numériques sur les résultats obtenus pour deux cas de chargement : chargement classique et pré-écrouissage.

2. MODELISATION NUMERIQUE

2.1 Caractéristiques communes des domaines d'étude

Comme indiqué par le modèle de Ganghoffer *et al.* [8], on étudie un macrovolume de forme cubique dont les propriétés moyennes sont représentatives des propriétés macroscopiques du milieu dont est extrait le macrovolume. Quelques hypothèses sont adoptées pour simplifier le problème : chaque phase est considérée comme un matériau homogène ; la transformation apparaît au même instant aux éléments prédéfinis qui constituent les noyaux de transformation ; elle se propage ensuite par le changement des propriétés du matériau de la couche d'éléments autour du noyau. La vitesse de propagation est choisie spatialement uniforme et constante dans le temps. A partir de ces hypothèses, le milieu peut être considéré comme un système composite biphasé, avec une matrice formée par la phase parente (phase) remplie d'inclusions constituant la phase produite (phase).

2.1.1 Décomposition de la déformation

Le tenseur de déformation totale E^{tot} , résultant de la simulation éléments finis, est décomposée comme suit : $E^{\text{tot}} = E^{\text{el}} + E^{\text{tr}} + E^{\text{tp}}$ où E^{el} est la déformation élastique due à la contrainte de traction appliquée, E^{tr} est la déformation de transformation et E^{tp} est la plasticité de transformation ou TRIP, qui correspond à la déformation plastique issue du calcul éléments finis. Cette décomposition est valable localement, en chaque point d'intégration, mais aussi globalement, à l'échelle globale du milieu en cours de transformation comme à l'échelle d'une éprouvette

expérimentale.

2.1.2 Maillage

Un domaine d'étude, de forme cubique, est discrétisé régulièrement en $n*n*n$ éléments finis de forme cubique. Dans le système de coordonnées $(0, x, y, z)$, le cube se situe entre les points de coordonnées $(0, 0, 0)$ et (n, n, n) . Le choix d'utiliser des éléments hexaédriques à 8 nœuds est justifié dans la section III.1.

2.1.3 Conditions aux limites et chargement

• Les calculs dans cet article sont exécutés avec deux types de chargement:

○ Essai de pré-écrouissage (fig.2a) : le cube est soumis à un pré-écrouissage juste avant la transformation puis celle-ci s'opère sans qu'aucune charge ne soit appliquée. L'observation d'une plasticité se développant pendant la transformation est significative d'une interaction entre la plasticité classique de la phase parente et le TRIP, tel que cela a été exposé dans les travaux expérimentaux de Taleb et Petit-Grostabussiat [20,22].

○ Essai à contrainte externe constante (fig.2b) : c'est l'essai classique de plasticité de transformation qui consiste à appliquer une charge avec contrainte bien inférieure à la limite d'élasticité de la phase la plus molle (ici une contrainte de traction à 24 MPa) avant le début de la transformation et à maintenir cette contrainte constante tout au long de la transformation.

Dans les 2 cas précédemment cités, une contrainte de traction est appliquée sur une face du cube (face de $x=n$).

- Le déplacement de la face $x=0$ suivant la direction de l'axe x est bloqué : $U_x(x=0)=0$.

- L'hypothèse suivante est acceptée pour tous les calculs : les faces latérales dont le vecteur normal est perpendiculaire à la charge restent planes et parallèles à la direction de chargement tout au long de l'essai.

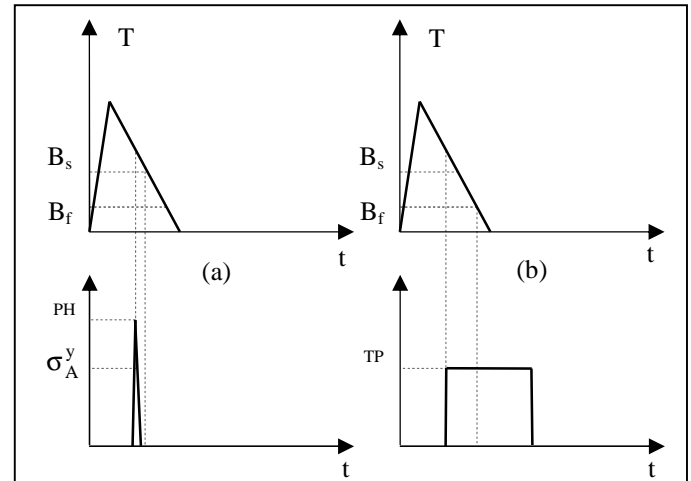


Figure 1. Schéma de chargement : (a) Essai de pré-écrouissage : une contrainte PH supérieure à la limite d'élasticité σ_A^y de l'austénite est imposée ; (b) Essai classique de plasticité de transformation : contrainte externe constante TP . T et σ_A^y désignent respectivement la température et la contrainte appliquée. B_s et B_f sont les instants de début et de fin de la transformation respectivement.

2.1.4 Lois de comportement et matériaux

Les paramètres du matériau utilisés dans la transformation bainitique sont déterminés à partir des mesures expérimentales de Taleb et Petit-Grostabussiat [18,19] sur l'acier 16MND5. Le tableau 1 fournit les paramètres du matériau qui sont utilisés dans cette étude pour 2 types d'écrouissage : isotrope linéaire et cinématique linéaire. Les paramètres ont été identifiés par la courbe de la contrainte en fonction de la déformation axiale en traction monotone. La déformation de transformation est la déformation

macroscopique directement liée au changement de compacité entre les phases. Elle a été mesurée par dilatométrie libre.

2.1.5 Traitements numériques

Les calculs numériques sont exécutés à l'aide du module éléments finis du logiciel Zset développé à l'Ecole des Mines de Paris et à l'ONERA, France (voir [5] ou <http://www.nwnumerics.com> pour plus de détails). Tous les calculs présentés dans ce travail ont été effectués sur des PC standards, sous Linux.

Tableau 1. Paramètres matériaux des phases pour le cas à écrouissage linéaire. γ est la limite d'élasticité et H est le module d'écrouissage linéaire.

	E (MPa)		γ (MPa)	H (MPa)	Déformation de transformation
Austénite	160000	0.3	107	2800	
Bainite	160000	0.3	433	4500	0.0055

2.1.6 Cinétique de croissance

Une fois qu'un germe a été déterminé, la transformation se poursuit dans la première couche d'éléments se trouvant autour du germe : son volume et ses propriétés matériau passent de manière continue dans le temps à ceux de la phase produite. Ensuite, la transformation continue à progresser par diffusion jusqu'à la 2^{ème} couche, 3^{ème} couche,... et enfin à la dernière couche (transformation complète). Ceci est illustré sur la fig.2 pour le cas d'un germe central unique et sur la fig.3 pour le cas de germes aléatoirement placés dans le temps et dans l'espace.

2.2 Cinétiques de germination

2.2.1 Croissance périodique

Pour le type de croissance périodique, les germes sont supposés apparaître

instantanément selon un réseau cubique dans le macrovolume.

Supposant par ailleurs que la transformation démarre au même moment en chaque germe et se poursuit à la même vitesse, le macrovolume garde une microstructure périodique tout au long de la transformation. Vu cette périodicité et vu le chargement uniaxial exercé, on convient sans peine que l'on peut réduire le domaine d'étude à une cellule cubique contenant un germe en son centre à laquelle on applique les mêmes conditions limites qu'au macrovolume. Du fait des conditions de symétrie de la microstructure et des conditions limites, on réduit encore le domaine de calcul à un huitième de cellule. On obtient donc, comme cela est représenté sur la fig.2, un domaine cubique avec un germe en son coin inférieur gauche, en (0, 0, 0) dans le système de coordonnées (O, x, y, z). Ce type de germination périodique permet de réduire au minimum la taille d'un domaine de calcul mais conduit à une cinétique peu fidèle à la physique : l'évolution de z en fonction des étapes de calculs –donc en fonction du temps– est une fonction cubique du numéro d'étape de transformation or il est à la fois communément admis et expérimentalement observé que le taux de croissance de z diminue en fin de transformation.

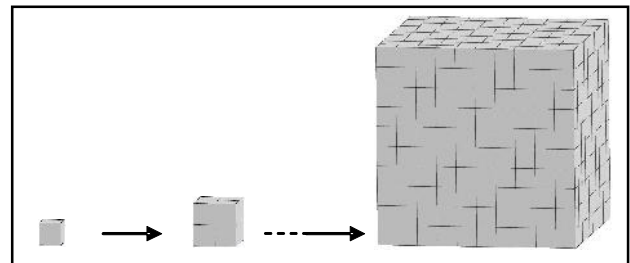


Figure 2. Région occupée par la phase produite aux deux premières étapes et à la dernière étape de transformation pour le cas d'une distribution instantanée périodique de germes

2.2.2 Croissance aléatoire dans l'espace et dans le temps

Le développement de ce type de croissance est motivé principalement par le souci d'être le plus fidèle possible à la physique : la situation dans laquelle des germes apparaissent instantanément et périodiquement est très restrictive (assez peu représentative du cas de transformations austéno-ferritique) du point de vue de la microstructure générée comme de la cinétique de croissance à laquelle elle conduit.

Il est donc considéré ici que les germes apparaissent en des positions aléatoires, avec une loi uniforme gérant les coordonnées des germes, et en des instants aléatoires, avec une loi de probabilité de germination uniforme que l'on peut faire évoluer en fonction du temps ou de la fraction volumique de phase produite, notée z dans la suite. Ceci est illustré sur la fig.3 : tout d'abord, la transformation commence par la germination initiale à la 1^{ère} étape. Ensuite, la transformation progresse diffusionnellement dans les couches autour de ces germes initiaux à la 2^e étape alors même que de nouveaux germes naissent. La transformation continue de la même manière jusqu'à la fin de transformation. Dans nos travaux, nous choisissons une loi uniforme et constante de p pour l'apparition des germes, *i.e.* tous les germes ont la même probabilité d'apparition au cours de la transformation.

Les conditions gérant la cinétique de croissance dans nos simulations sont en partie celles de la théorie classique de cinétique de croissance établie par Kolmogorov, Johnson, Mehl et Avrami (KJMA). La différence réside dans le fait que notre domaine d'étude est fini alors qu'il est infini dans la théorie classique. Cependant, tel que cela a été exposé dans

[25], si l'on effectue plusieurs réalisations de microstructures pour une probabilité de germination p donnée et que l'on calcule l'évolution de z moyennée sur l'ensemble des réalisations, on obtient bien une évolution en forme de sigmoïde, c'est-à-dire de la forme $z = 1 - \exp(-a t^m)$ où m est le coefficient d'Avrami et a le coefficient faisant intervenir la probabilité p et la vitesse de croissance.

L'étude préliminaire sur la cinétique [25] a permis de constater que, pour les ordres de grandeur de probabilité de germination p (typiquement inférieur au millième) et de taille de domaine $n*n*n$ (inférieure à 50*50*50 éléments), on ne peut pas s'en tenir à une seule réalisation de microstructure pour obtenir une cinétique représentative du milieu macroscopique duquel est extrait le domaine.

Une solution simple consiste à adopter l'hypothèse d'ergodicité pour le milieu d'étude et ce qui revient à considérer que la moyenne d'ensemble sur des petits domaines extraits aléatoirement du milieu fournit les mêmes propriétés qu'une moyenne spatiale sur un volume très grand extrait du milieu d'étude (le macrovolume). Dans l'approche présentée ici, le macrovolume est donc décrit à partir de plusieurs sous-domaines. Nos premières investigations nous ont permis de constater qu'avec 30 réalisations de microstructures dans des domaines à 18*18*18, on obtenait une cinétique moyenne très similaire à celle obtenue en moyenne sur des domaines à 40*40*40 ou à 70*70*70. La cinétique simulée dans ces conditions étant indépendante de la taille des domaines, on peut garder ces conditions de moyennation et de taille de domaine pour la modélisation EF du TRIP. Ceci fait l'objet des sous-sections 3.1 et 3.2.

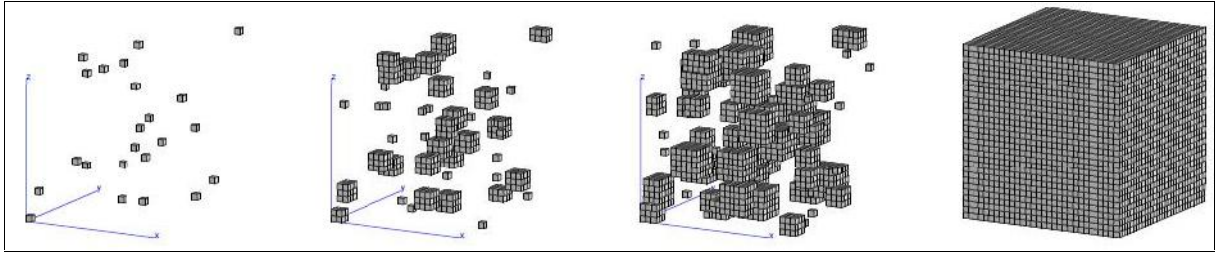


Figure 3. Région occupée par la phase produite aux trois premières étapes et à la dernière étape de transformation dans le cas des germes aléatoires dans l'espace et dans le temps.

3. RESULTATS NUMERIQUES EN TERME DE TRIP

3.1 Analyse préliminaire: essais TRIP classique

La première étape de l'analyse consiste à effectuer des calculs préliminaires dans le cas d'essais classiques de plasticité de transformation pour évaluer l'effet du nombre d'éléments du domaine ainsi que l'effet du type d'éléments. On se place dans le cas simple d'un domaine de calcul contenant un germe central. Deux types d'éléments hexaédriques à intégration complète ont été utilisés : éléments à 8 nœuds et à 20 nœuds. Les résultats sont fournis en terme de TRIP en fonction de z (la fraction volumique de phase produite) par les fig.4a et 4b relatives respectivement aux éléments à 8 nœuds et aux éléments à 20 nœuds : d'une part, quel que soit le type d'éléments, une courbe asymptote est atteinte alors que le nombre d'éléments est augmenté. Par ailleurs, en comparant les courbes asymptotes de fig.4a et fig.4b, il apparaît que z est très peu affecté par le type d'éléments. Ainsi donc, pour peu que le nombre d'éléments du domaine soit suffisamment grands (supérieur à $20*20*20$), les prédictions obtenues dans le cas d'un domaine à un seul germe central sont indépendantes du maillage. Les éléments à 8 nœuds étant moins gourmands en ressources numériques, il est donc décidé d'effectuer la suite de cette étude avec ces éléments.

On s'intéresse maintenant au cas de la germination aléatoire dans le temps et l'espace, pour une loi d'écroutissage isotrope et une loi d'écroutissage cinématique ainsi que pour 2 probabilités de germination. Les résultats sont présentés sur les fig.5a et 5b, en terme de TRIP en fonction de z , pour des domaines à $18*18*18$ éléments.

Le premier constat est que la forme des courbes est préservée par rapport au cas de domaines à germe unique. Sachant que le cas périodique est en bon accord qualitatif et quantitatif avec les résultats expérimentaux de Taleb et al. [18, 19] concernant la transformation bainitique de l'acier 16MND5, la modélisation à germe aléatoire peut d'ores et déjà être considérée comme prometteuse, qualitativement s'entend. L'écart quantitatif entre les deux modélisations de TRIP est à associer aux cinétiques : elles diffèrent tant sur le plan quantitatif que qualitatif pour des valeurs de probabilité de germination p supérieure à 10^{-5} . Pour p tendant vers 0 sans s'annuler, on retrouve cependant le cas à un germe unique. Ceci est cohérent avec les résultats : plus la probabilité est faible, plus le TRIP augmente et se rapproche de celui calculé dans le cas de germe unique.

Un autre constat porte sur l'effet de la loi d'écroutissage : dans cet essai classique de plasticité de transformation, sous chargement externe constant, son effet reste faible: l'écroutissage cinématique fournit un TRIP de l'ordre de 15% plus

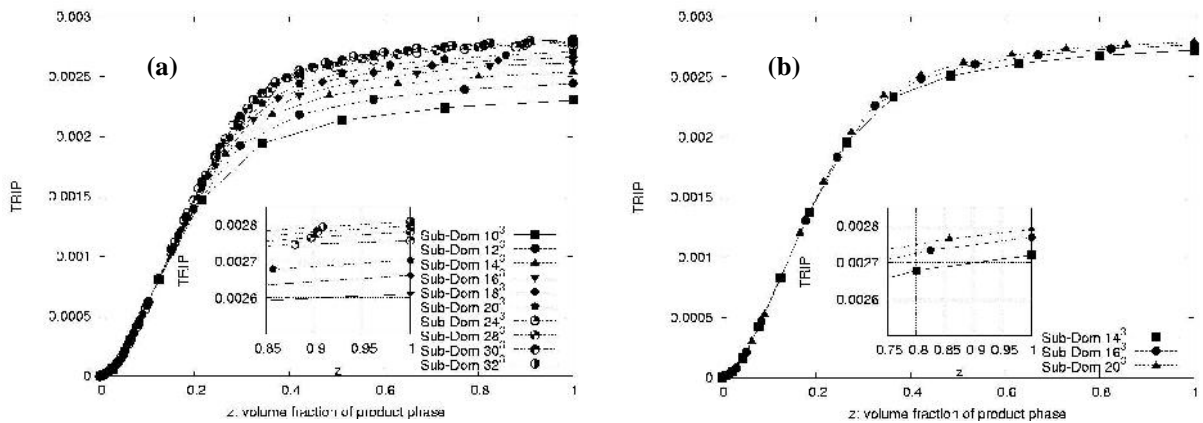


Figure 4. Effet de la taille de maillage (Sub-Dom) sur le TRIP en fonction de z (fraction volumique de phase naissante) sous contrainte externe en traction pour le cas d'un domaine à un germe central et pour un écrouissage isotrope linéaire. (a) Eléments à 8 noeuds. (b) Eléments à 20 noeuds.

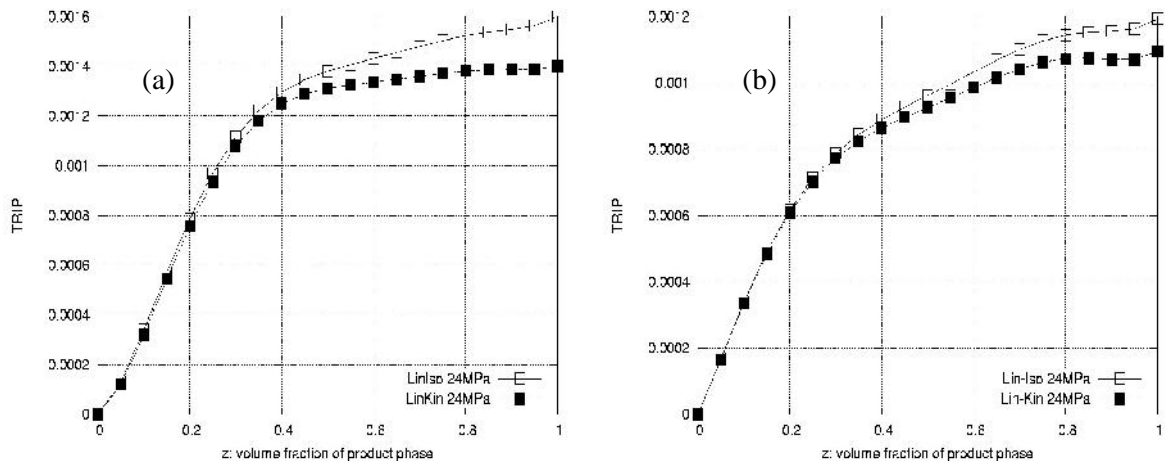


Figure 5. Effet de la loi d'écrouissage sur le TRIP pour des domaines de 20*20*20 éléments soumis à une contrainte externe constante de 24MPa. Probabilité de germination : (a) $p=0.0001$. (b) $p=0.001$. Lin-Iso et Lin-Kin désignent les lois d'écrouissage linéaires, isotrope et cinématique respectivement.

faible que celui fourni avec l'écrouissage isotrope.

3.2 Transformation avec pré-écrouissage

On s'intéresse maintenant au cas où la phase parente, austénitique, a été pré-écrouie alors que la transformation s'opère sous chargement externe nul. Signalons que dans ce cas, les résultats expérimentaux de Taleb et Petit-Grostabussiat montrent une léger

développement de TRIP (dit « d'interaction »), ce qui indique qu'il existe une interaction entre la plasticité classique et le TRIP car à défaut de cette interaction, le TRIP reste nul.

A titre d'analyse préliminaire, l'étude est effectuée pour un domaine de dimensions 18*18*18 éléments, contenant un germe central unique. Trois différents chargements de pré-écrouissage ont été imposés, en compression (fig.6a) et en traction (fig.6b), pour les valeurs absolues

de contrainte suivantes : 180 MPa, 200 MPa et 220 MPa. Que ce soit en compression comme en traction, le pré-écrouissage dans un sens induit le développement de TRIP dans le sens inverse si l'écrouissage cinématique est utilisé pour décrire la plasticité de chacune des phases. Par ailleurs le TRIP d'interaction est d'autant plus élevé en valeur absolue que le pré-écrouissage est important, ce qui est en accord avec les résultats expérimentaux. Si l'écrouissage isotrope est utilisé, aucun TRIP d'interaction n'est prévu. Afin de mieux reproduire quantitativement les résultats

expérimentaux, qui se situent à mi-chemin entre les résultats fournis par les 2 types d'écrouissage, il faudrait donc explorer le cas d'une loi d'écrouissage non-linéaire combinant de manière additive les contributions de l'écrouissage isotrope et celle de l'écrouissage cinématique.

Dans la configuration de modélisation où les germes naissent aléatoirement, seul le pré-chargement de 180 MPa en compression a été abordé. Fig.7a fournit les résultats pour la probabilité de germination $p=0.0001$. Fig.7b est relative à $p=0.001$.

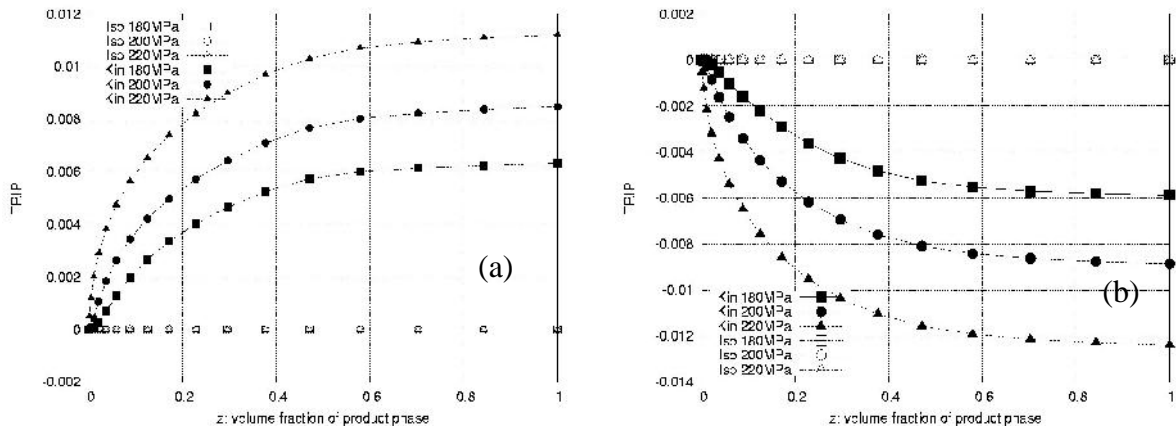


Figure 6. Effet de la loi d'écrouissage sur le TRIP pour un domaine à 18*18*18 éléments contenant un germe unique central, soumis à une pré-écrouissage (180MPa, 200MPa, 220MPa). (a) En compression. (b) En traction.

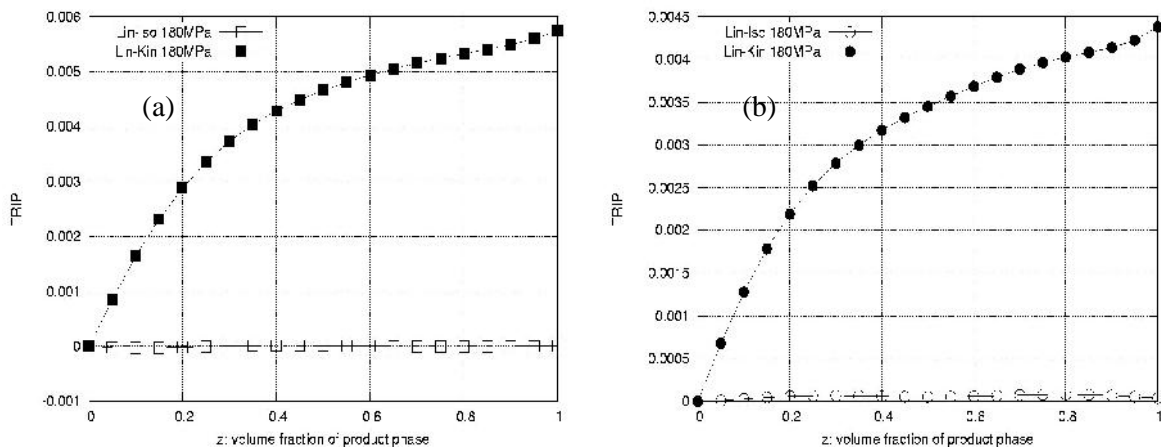


Figure 7. Effet de la loi d'écrouissage sur le TRIP pour des domaines à 20*20*20 éléments contenant des germes aléatoires, soumis à une pré-déformation en compression de 180MPa. (a) $p=0.0001$. (b) $p=0.001$.

Comme pour le cas de germination périodique, l'écroutissage isotrope ne permet pas de prévoir un TRIP d'interaction, tout du moins pas significativement et le TRIP d'interaction obtenu avec l'écroutissage cinématique est de signe inverse à celui de la pré-charge. On observe par ailleurs que le TRIP d'interaction est d'autant plus grand que la probabilité de germination p diminue ce qui conduit à la même conclusion qu'en section III.1, selon laquelle en faisant tendre p vers 0 on ferait tendre la configuration aléatoire vers la configuration à un germe central unique.

4. CONCLUSION

Ce travail présente une nouvelle approche par la méthode des éléments finis du calcul de la plasticité induite au cours d'une transformation de phase diffusive. Le principal intérêt de cette approche réside dans le fait qu'elle ne prend en compte aucune hypothèse particulière quant à la distribution spatiale des champs mécaniques car elle consiste à calculer numériquement, en chaque point d'un volume en cours de transformation, l'équilibre mécanique local permettant d'accommoder les interactions entre phases. Alors que des travaux préliminaires ont été consacrés au cas d'un volume de transformation dans lequel les germes naissent instantanément et périodiquement dans l'espace, l'objet du présent article est de présenter une évolution de la modélisation numérique vers une situation plus fidèle à la métallurgie où les germes naissent aléatoirement dans l'espace et dans le temps. Un des constats immédiats est que la distribution spatiale et la cinétique de transformation jouent un rôle important sur la quantité de TRIP formée. L'attention est portée particulièrement sur le cas d'essais avec pré-écroutissage de la phase parente et transformation sous charge nulle. En effet c'est pour ce type d'essais que les modèles micromécaniques

basés sur le mécanisme de Greenwood-Johnson (faisant appel à des hypothèses sur les champs mécaniques) sont les plus susceptibles de fournir de mauvaises prédictions. Les résultats intermédiaires exposés présentement montrent une très forte capacité de l'approche numérique par éléments finis pour reproduire les observations expérimentales d'interaction entre plasticité classique et TRIP. Dans l'avenir, cette étude sera d'abord complétée par une analyse de l'effet de taille de domaine et sera étendue à des cas de probabilité plus faible. La modélisation sera exploitée en relation avec de nouveaux essais expérimentaux menés par notre équipe.

Références

- [1] F. Barbe, S. Forest, G. Cailletaud, *Polycrystalline plasticity under small strains. Toward finer descriptions of microstructures*, In E. Bouchaud et al, editor, NATO Proceedings, Physical Aspects of Fracture, Kluwer Academic Publisher, 2001, p.191-206.
- [2] F. Barbe, R. Quey, L. Taleb, *Numerical determination of Diffusional Transformation Induced Plasticity From Computations of Random Microstructures*, 21st ICTAM International Conference, Warsaw, Poland, August 15-21, 2004.
- [3] F. Barbe, R. Quey, L. Taleb, E. Souza de Cursi, *Numerical determination of the effective TRIP during diffusive transformation in a volume with randomly positioned nuclei*". In 1st Int Conf Distortion Engineering, Bremen, Germany, September, 2005.
- [4] F. Barbe, R. Quey, L. Taleb, *Numerical modelling of the plasticity induced during diffusive transformation. Case of a cubic array of nuclei*, Eur J Mech A / Solids, Vol. 26, 2007, p.611-625.

- [5] J. Besson, R. Leriche, R. Foerch, G. Cailletaud, *Object-Oriented Programming Applied to the Finite Element Method. Part II. Application to Material Behaviors*, Revue Européenne des Eléments Finis, Vol. 7, 1998, p.567-588.
- [6] Y. Desalos, *Comportement dilatométrique et mécanique de l'austénite métastable d'un acier A533*, IRSID Report No. 95 34 94 01 MET 44, 1981.
- [7] F.D. Fischer, G. Reisner, E. Werner, K. Tanaka, G. Cailletaud, T. Antretter, *A new view on transformation induced plasticity (TRIP)*, Int J Plasticity, Vol. 16, 2000, p.723-748.
- [8] J.-F. Ganghoffer, S. Denis, E. Gautier, A. Simon, S. Sjöström, *Finite element calculation of the micromechanics of a diffusional transformation*, Eur J Mech, A/Solids, Vol. 12, 1993, p.21-32.
- [9] J.-F. Ganghoffer, K. Simonsson, *A micromechanical model of the martensitic transformation*, Mechanics of Materials, Vol. 27, 1998, p.125-144.
- [10] E. Gautier, A. Simon, A., *Transformation plasticity mechanisms for martensitic transformation of ferrous alloys*. In Lorimer, G.W., editor, Phase Transformations'87, London. Institute of Metals, 1987, p.285-287.
- [11] G.W. Greenwood, R.H. Johnson, *The deformation of metals under small stresses during phase transformation*, Proc R Soc London, A, 283-403, 1965.
- [12] J.-B. Leblond, G. Mottet, J.C. Devaux, *A theoretical and numerical approach to the plastic behavior of steels during phase transformations II: study of classical plasticity for ideal-plastic phases*, J Mech Phys Sol, Vol. 34, 1986, p.411-432.
- [13] J.-B. Leblond, *Mathematical modeling of transformation plasticity in steels II: coupling with strain hardening phenomena*, Int J Plasticity, 5, 1989, p.573-591.
- [14] C.L. Magee, *Transformation Kinetics, Microplasticity and Ageing of martensite in Fe-31-Ni*. PhD thesis, Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh University, PA, 1966
- [15] S. Meftah, F. Barbe, L. Taleb, *Numerical analysis of the Interaction Classical Plasticity-TRIP*, In 21st International Congress of Theoretical and Applied Mechanics (ICTAM04), Warsaw, Poland, August 2004
- [16] S. Meftah, F. Barbe, L. Taleb, F. Sidoroff, *Parametric Numerical Simulations of TRIP and its Interaction with Classical Plasticity in Martensitic Transformation*, Eur J Mech A/Solids, Vol. 26, 2007, p.688-700.
- [17] S. Petit-Grostabussiat, L. Taleb, J.-F. Jullien, *Prediction of Residual Stresses in the Heat Affected Zone*, 2nd International Conference on Thermal Processes Modelling and Computer Simulation: Nancy-France, March 31st-April 2nd 2003.
- [18] S. Petit-Grostabussiat, L. Taleb, J. Jullien, *Experimental results on classical plasticity of steels subjected to structural transformations*, Int J Plasticity, Vol. 20, 2004, p.1371-1386.
- [19] L. Taleb, N. Cavallo, F. Waeckel, *Experimental analysis of transformation plasticity*, Int J Plasticity, Vol. 17, 2001, p.1-20.
- [20] L. Taleb, S. Petit-Grostabussiat, *Elastoplasticity and Phase Transformations in Ferrous Alloys : Some Discrepancies Between Experiments and Modeling*, 1st Conference: Model-

Experiment Interactions in Solid":
Besançon-France, 3-4-5 July 2002.

[21] L. Taleb, F. Sidoroff, *A micromechanical modeling of the Greenwood–Johnson mechanism in transformation induced plasticity*, Int J Plasticity, Vol. 19, 2003, p.1821-1842.

[22] L. Taleb, S. Petit, *New Investigations on Transformation Induced Plasticity and its Interaction with Classical Plasticity*, Int J Plasticity, Vol. 22, 2005, p.110-130.

[23] M. Coret, S. Calloch, A. Combescure, *Experimental study of the phase transformation plasticity of 16MND5 low carbon steel induced by*

proportional and nonproportional biaxial loading paths, Eur J Mech A/Solids 23, 2004, p.823-842.

[24] F. Barbe, R. Quey, L. Taleb, E. Souza de Cursi, *Numerical modeling of the plasticity induced during diffusive transformation. Case of a random instantaneous array of nuclei*. Eur. J. Mech. A/Solids, in press, doi: 10.1016/j.euromechsol.2008.01.005, 2008.

[25] H. Hoang, F. Barbe, R. Quey, L. Taleb, *FE determination of the plasticity induced during diffusive transformation in the case of nucleation at random locations and instants*, Comput Mat Sc, Vol. 43, 2008, p.101-107.

Impact du revêtement sur le comportement à l'usure et sur la rugosité de la surface usinée en fraisage frontal de l'acier C18

Mohieddine Benghersallah et Lakhdar Boulanouar

Laboratoire Mécanique des Matériaux et Maintenance Industrielle (LR3MI),
Département de Génie Mécanique,
Université Badji Mokhtar, BP12, Annaba 23000, Algérie.

Accepté le 12/06/2008

هذه الدراسة المقترحة تركز على معاينة تجريبية لإمكانية القطع لمادة الكريبيد. لقد أجريت التجارب على نوعين من اللقم الكريبيدية : الأولى بدون علاج والثانية تحتوي على طبقة سطحية من نتريد التيتان. في التفريز السطحي لماد الدراسة ه المتابعة من جهة تآكل الحد القاطع للقم بالنسبة لزمن القطع ومن جهة أخرى مدى تطور حالة السطح. النتائج التجريبية المحصل عليها سمحت بوضع قانون يبين العلاقة الكمية والكيفية بين عناصر القطع من جهة والنتائج التكنولوجية المتمثلة في مدة عمل وحالة السطح المحصل عليها من جهة. تحليل النتائج التجريبية ابرز بوضوح إن إمكانية التفريز للقم المعالجة سطحياً بطبقة من كربيد التيتان هي الغير معال. زيادة على القيمة المحددة لحالة السطح المشغل المرتفعة وقيم التغذية المنخفضة.

الكلمات المفتاحية: تفريز سطحي قطع الكريبيد تغليف ISO C18

Résumé

Cette étude est basée sur une analyse expérimentale des performances de coupe de plaquettes de fraisage en carbure métallique ISO P35. La première série est non revêtue et l'autre revêtue avec une simple couche de (TiN). Les essais sont réalisés en fraisage à l'aide d'une fraise à surfacer de type tourteau à huit dents lors de l'usinage de l'acier ISO C18. L'objectif est le suivi, d'une part de l'évolution de l'usure en dépouille de ces plaquettes en fonction du temps, et d'autre part de la rugosité en fonction des conditions de coupe et de l'usure. Les résultats expérimentaux obtenus permettent d'établir des modèles mathématiques exprimant la relation qualitative et quantitative entre les éléments du régime de coupe et les paramètres technologiques exprimés par la durée de vie (T) et la rugosité arithmétique de la surface usinée (Ra). L'analyse des résultats a fait ressortir que les plaquettes revêtues sont de trois à quatre fois plus performantes. Ce qui permet également d'obtenir des surfaces usinées de meilleure qualité. En effet, la valeur de Ra est réduite de moitié pour les régimes à grandes vitesses de coupes et faibles avances.

Mots clés : Fraisage; carbures métalliques; revêtements d'outils; usure; acier ISO C18; Rugosité.

Abstract

This study is based on an experimental analysis of cutting performances for two nuances of metallic carbides. The first carbide insert is uncoated and the second is coated with one layer of (TiN). The tests are realized under face milling of ISO C18 steel using a surfacing cutter with eight teeth. The objective of this study is to follow the evolution of tool wear according to time and to assess roughness according to both cutting conditions and wear rates. The results allowed establishing mathematical models relating the work conditions and the technological parameters such as tool life and machined surface roughness (Ra). Analysis of the results showed that the coating inserts have 3 to 4 times better performance in terms of tool life in comparison with the uncoated ones. In terms of surface quality, the value of the absolute roughness is reduced by half under high cutting speeds and small feed rates per tooth.

Key words: Face milling; metallic carbides; tool coatings, wear; steel C18; roughness.

1. INTRODUCTION

Les fraises monoblocs en acier rapide travaillent avec des vitesses de coupe limitées à de 60 m/min. Les opérations de réaffûtage sont longues et onéreuses. L'avènement des carbures métalliques frittés sous forme de plaquettes insérées dans les corps de fraises avec des géométries de coupe appropriées, a permis l'usinage des aciers avec des vitesses de coupe allant jusqu'à 200m/min [1,2]

Le progrès réalisé dans le domaine du traitement des surfaces par les revêtements par dépôts chimiques (CVD) et physiques (PVD) a permis d'usiner les matériaux les plus difficiles à façonner avec de grandes vitesses de coupe [3,4]. Les revêtements simple couche et multicouches des plaquettes en carbure métallique sont actuellement très employés pour l'usinage des métaux durs comme les aciers à outil traités et les fontes trempées [4-6].

L'usure des outils est un processus de destruction de couches superficielles, qui conduit à la modification progressive de la forme et de l'état de surface de la partie active de l'outil. Elle affecte également la géométrie de l'outil, la température, les efforts de coupe, la précision d'usinage et la rugosité de la surface usinée. Elle se traduit par un arrachement de petites particules de métal des surfaces d'attaque et de dépouille principale et auxiliaire de l'outil [7,8].

Il est à noter que l'usure des outils de coupe se manifeste dans des conditions de travail beaucoup plus difficiles que celles des pièces de machines. En effet la pression spécifique dans les surfaces de contact de pièces de machines ne dépasse pas quelque MPa et la température d'échauffement est inférieure à 100°C, alors que la pression spécifique dans les surfaces de contact de la partie active d'un outil est de l'ordre de 1000 à 2000 MPa et la température d'échauffement peut

atteindre 1000°C et parfois plus [8,9].

Il est à noter également que par rapport au tournage, le fraisage reste un procédé peu étudié. Il possède la particularité d'être un processus de coupe interrompue.

En effet en fraisage l'évolution de l'usure de l'outil ne dépend pas d'une seule plaquette de coupe mais de toutes les dents constituant l'outil fraise. Au cours du fraisage d'ébauche et de semi – finition l'augmentation de l'avance par dent et de la profondeur de passe sont recommandées par les fabricants d'outil pour les matériaux les plus courants, les opérations de finition sont conditionnées par la précision dimensionnelle et géométrique des pièces usinées et particulièrement l'état de surface et la résistance aux déformations [17].

Dans cet article nous étudions l'influence des paramètres du régime de coupe au cours du fraisage (surfaçage) sur la tenue en service de l'outil fraise pour les plaquettes en carbure P35 non revêtues et revêtues d'une couche de nitrure de titane par dépôt (PVD). Nous proposerons également des modèles mathématiques prédictifs qui expriment les relations de la durée de vie T et de la rugosité arithmétique R_a en fonction de la vitesse de coupe V , l'avance par dent f_z , et la pénétration radiale a_p .

2. PROCEDURE EXPERIMENTALE

Pour augmenter la fiabilité des résultats et de satisfaire le caractère complexe et aléatoire du processus de coupe, les essais ont été réalisés d'après la méthode classique de longue durée, associée à celle de planification des expériences [11].

2.1 Equipements utilisés

2.1.1 Machine-outil

La machine outil est une fraiseuse verticale, de marque soviétique modèle 6H11, ayant une puissance sur la broche de 4,5 kW, (fig. 1).



Figure 1. Fraiseuse verticale, modèle 6H11

2.1.2 Matière usinée

Les éprouvettes des essais (fig. 2) sont en acier C18 pour traitements thermiques. La composition chimique et les caractéristiques mécaniques de cet acier sont données dans le tableau 1.

Tableau 1. Composition chimiques et caractéristiques mécaniques de l'Acier C18.

Composition Chimique					Caractéristiques Mécaniques		
C	Si	P	Cr	V	HRB	Rm, MPa	L,%
0,18	0,174	0,05	0,035	Traces	77	60	10

2.1.3 Outil de coupe

L'outil de coupe utilisé (fig. 3) est une fraise à surfacer de 100 mm de diamètre, ayant huit dents en carbure métallique de nuance ISO P35. Elle a respectivement la géométrie et les désignations ISO sont les

suivantes: $\phi_0=11^\circ$, $\phi_0 = 3^\circ$, $r_r = 75^\circ$ et SPMR 12 03 08, (pour les plaquettes non revêtues) et SPMR 12 03 12, (pour les plaquettes revêtues).

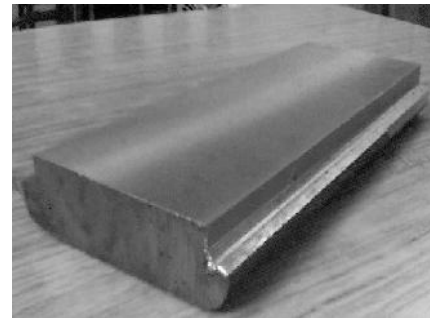


Figure 2. Epreuves d'essai en acier C18

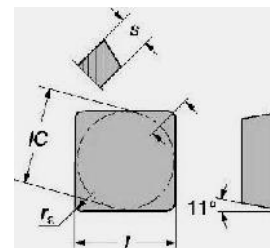
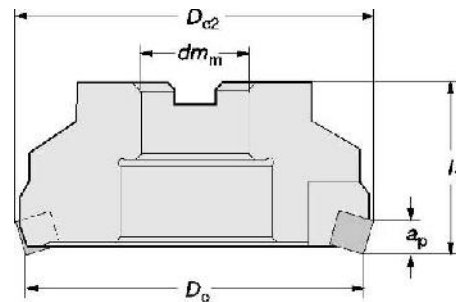


Figure 3. Détails de l'outil fraise et de la plaquette.

2.1.4 Appareil de mesure de l'usure

Pour mesurer l'usure des dents de la fraise, un microscope optique d'atelier modèle MMN-2 ayant une précision de mesure de l'ordre de 5µm (fig. 4) a été utilisé. L'appareil est équipé d'un dispositif spécial porte fraise permettant le contrôle des plaquettes de la fraise sans nécessité de démontage des plaquettes.

2.1.5 Appareil de mesure de l'état de surface

La rugosité de la surface usinée a été mesurée avec un rugosimètre de marque japonaise modèle Surf test III 178 (fig.5) ayant deux vitesses de déplacement 2mm/sec et 6mm/sec et doté d'un système à palpeur inductif.

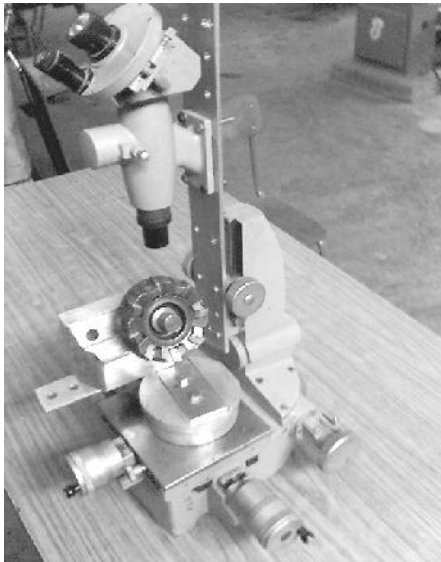


Figure 4. Microscope optique modèle MMN-2



Figure 5. Rugosimètre Surf test III 178.

2.2 Conditions de coupe

Pour quantifier l'effet des conditions de travail sur les paramètres technologiques étudiés nous avons varié les éléments du régime de coupe dans les intervalles

suivants :

$V = (60 \div 150)$ m/min ; $f_z = (0,02 \div 0,2)$ mm/dent, $a_p = (1 \div 2,5)$ mm et une valeur constante $a_e = 98$ mm

Les essais ont été effectués à sec.

La valeur de l'indice d'usure admissible VB retenue selon la norme ISO est 0,35mm.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Résultats de l'usure de la fraise

Les essais d'usinage sont réalisés conformément à un plan d'expériences comportant 3 paramètres (V , f_z , a_p) ayant chacun 2 niveaux et 8 sites expérimentaux. Le résultat étudié ici est l'usure. La valeur retenue est la hauteur de l'usure en dépouille moyenne mesurée pour chaque plaquette de la fraise.

3.1.1 Traitement graphique de l'usure des plaquettes

Les résultats du suivi temporel de l'usure moyenne des dents de la fraise pour différentes combinaisons du régime de coupe sont exprimés graphiquement par les figures 6 et 7. Le traitement graphique de ces résultats a permis la détermination des tenues (tab. 2). Le traitement statistique des résultats fournis dans le tableau 2 a permis la déduction des modèles mathématiques (1) et (2) respectivement pour les plaquettes non revêtues et revêtues. Ces modèles expriment la relation entre les paramètres de sortie durée de vie T (en min.) et les paramètres d'entrée (V , f_z , a_p). L'adéquation de ces modèles est exprimée par le coefficient de corrélation global $R=0,959$.

$$T = \frac{e^{6.432}}{V^{0.984} f_z^{0.901} a_p^{0.082}} \quad (1)$$

Tableau 2. Tenues en fonction des différentes combinaisons du plan des expériences

N° Essais	Paramètres d'entrée						Paramètres de sortie Tenue T, mn	
	Valeurs codifiées			Valeurs naturelles			Plaquettes	
	X ₁	X ₂	X ₃	V	f _z	a _p	Non revêtues	Revêtues
1	-1	-1	-1	60	0,02	1	490	1400
2	+1	-1	-1	150	0,02	1	90	575
3	-1	+1	-1	60	0,2	1	45	215
4	+1	+1	-1	150	0,2	1	30	120
5	-1	-1	+1	60	0,02	2,5	370	1250
6	+1	-1	+1	150	0,02	2,5	220	360
7	-1	+1	+1	60	0,2	2,5	45	230
8	+1	+1	+1	150	0,2	2,5	22	80

$$T = \frac{e^{8.544}}{V^{0.977} f_z^{0.704} a_p^{0.376}} \quad (2)$$

3.1.3 Evolution de l'usure propre à chaque dent de la fraise

Au cours des essais, nous avons relevé la valeur de l'usure de la face de dépouille propre à chaque dent (plaquette) de la fraise. Les figures (8 et 9) montrent l'évolution de l'usure propre à chaque dent non revêtue de la fraise en fonction du temps pour deux régimes de coupe différents. Les figures (10 et 11) montrent l'évolution de l'usure propre à chaque dent revêtue de l'outil.

Un microscope électronique à balayage permet d'avoir les photographies des plaquettes figures (12-16) pour suivre l'évolution de l'usure et d'étudier sa morphologie.

3.2 Résultats de la rugosité de la surface usinée

Le tableau 3 montre les différentes valeurs de la rugosité arithmétique Ra de la surface usinée pour les huit combinaisons du régime de coupe pour les plaquettes non revêtues et revêtues ayant respectivement le rayon du bec égal à

0,8mm et 1,2mm. Le traitement statistique de résultats permet la déduction du modèle mathématique (3), exprimant la relation entre la rugosité et (V, f_z, a_p). L'adéquation de ces modèles est exprimée par le coefficient de corrélation global qui est en l'occurrence R= 0,976.

$$Ra = \frac{e^{4.309} f_z^{0.295} a_p^{0.142}}{V^{0.557}} \quad (3)$$

$$Ra = \frac{e^{7.194} f_z^{0.962} a_p^{0.479}}{V^{0.850}} \quad (4)$$

3.3 Influence de l'usure sur la qualité de la surface usinée

Au cours des essais d'usinage nous avons procédé au suivi de l'évolution de l'état de surface en fonction de l'accroissement de l'usure. La figure 17 montre l'évolution de la rugosité de la surface usinée en fonction du temps d'usinage pour le régime de coupe de finition (régime 2), pour les deux nuances de plaquettes testées.

4. ANALYSE DES RESULTATS

L'analyse des courbes d'usure (fig. 6 et 7) et des valeurs de la tenue (tab. 2), montre

que la vitesse de coupe a l'influence la plus marquée sur l'usure, suivi par l'avance et enfin la profondeur de passe. Ce degré d'influence est quantifié par les valeurs absolues des exposants du modèle mathématique (1) [9].

Avec l'augmentation de la vitesse de coupe et de l'avance, la température dans

la zone de coupe augmente ce qui accélère le processus de l'usure. Par conséquent la tenue diminue [10]. La faible influence de la profondeur de passe s'explique par le fait qu'avec l'augmentation de celle-ci la surface de contact entre l'outil et la pièce s'accroît ce qui améliore les conditions d'évacuation de la chaleur de la zone de coupe.

Tableau 3. Rugosité Ra en fonction des différentes combinaisons du plan des expériences.

N° Essais	Paramètres d'entrée						Paramètres de sortie Rugosité Ra μm	
	Valeurs codifiées			Valeurs naturelles			Plaquettes	
	X ₁	X ₂	X ₃	V	f _z	a _p	Non revêtues	Revêtues
1	-1	-1	-1	60	0,02	1	2,5	1,025
2	+1	-1	-1	150	0,02	1	1,42	0,583
3	-1	+1	-1	60	0,2	1	3,81	6,56
4	+1	+1	-1	150	0,2	1	2,9	1,818
5	-1	-1	+1	60	0,02	2,5	2,6	0,765
6	+1	-1	+1	150	0,02	2,5	1,505	0,610
7	-1	+1	+1	60	0,2	2,5	5,2	7,236
8	+1	+1	+1	150	0,2	2,5	3,25	5,14

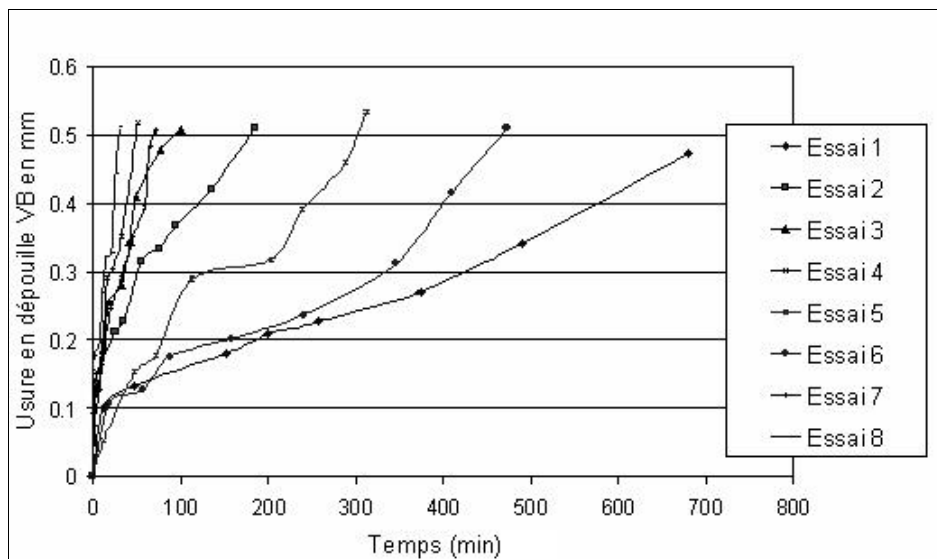


Figure 6. Evolution de l'usure VB moyenne en fonction du temps pour les huit régimes de coupe (plaquettes en carbure P35 non revêtues)

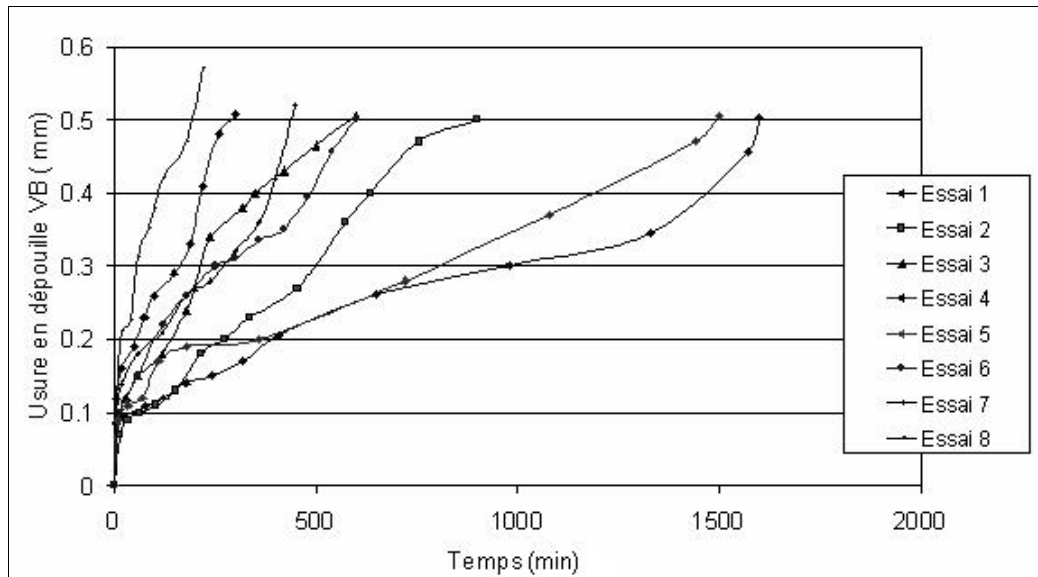


Figure 7. Evolution de l'usure VB moyenne en fonction du temps pour les huit régimes de coupe (Plaquettes en carbure P35 revêtues)

L'analyse des graphes représentant l'usure en fonction du temps des plaquettes de la fraise pour les huit régimes de coupe conformément au plan des expériences montre d'une manière générale la même tendance. L'analyse de l'usure propre à chaque dent (fig. 8-11) fait apparaître que les dents de la fraise s'usent d'une manière différente bien qu'elles travaillent dans les mêmes conditions. Pour les régimes forts (vitesse de coupe et avance élevée), nous avons remarqué la disparition accidentelle de la partie active à cause du détachement de petits morceaux situation appelée ébréchure [2,9,12].

Cet état de faits n'est pas inédit la nuance de carbure métallique P35 présente un certain degré de fragilité relative [2,12]. En fraisage les dents travaillent en présence de chocs, pour les régimes de coupe sévères nous avons enregistré la rupture du bec de certaines plaquettes. De manière générale, les revêtements à base de nitrure de titane (TiN) donnent une meilleure résistance à l'usure [9]. Dans nos tests les carbures P35 revêtus simple couche de nitrure de titane donnent de meilleurs résultats du point de vue

résistance à l'usure. En effet lors de l'usinage de l'acier C18, les tenues des plaquettes revêtues sont environ quatre fois plus grandes que celles non revêtues. Ceci notamment pour les régimes où les vitesses de coupe sont élevées et les profondeurs de passes sont faibles. Pour les régimes à faibles vitesses ($V=60\text{m/min}$), les plaquettes en carbures revêtus permettent des valeurs de tenue importantes ce qui favorise leur emploi pour les opérations d'ébauche et de semi finition. Les résultats obtenus dans cette étude sont confirmés également dans les travaux [3-5]. L'analyse des photographies de l'usure prises sur le microscope électronique à balayage montre que lors du fraisage dans les conditions d'usinage citées, l'usure de la face d'attaque n'a pas eu lieu. Sur cette surface on observe simplement l'adhésion de certains morceaux du copeau. Par contre sur la face en dépouille l'usure se manifeste par une bande non uniforme et d'une profondeur variable et arbitraire. L'examen révèle en outre que l'usure des plaquettes est accompagnée d'écaillage provoqué par l'adhésion du copeau sur la surface de dépouille (fig. 12-15)

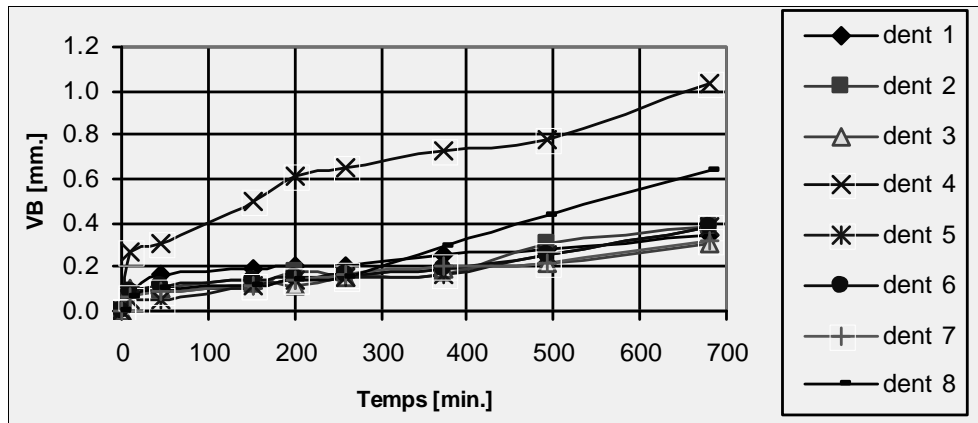


Figure 8. Evolution de l'usure individuelle des huit plaquettes non revêtues de la fraise (Essai 1 : $V=60\text{m/min}$, $f_z=0,02\text{mm/d}$, $a_p=1\text{mm}$, $a_e=98\text{mm}$)

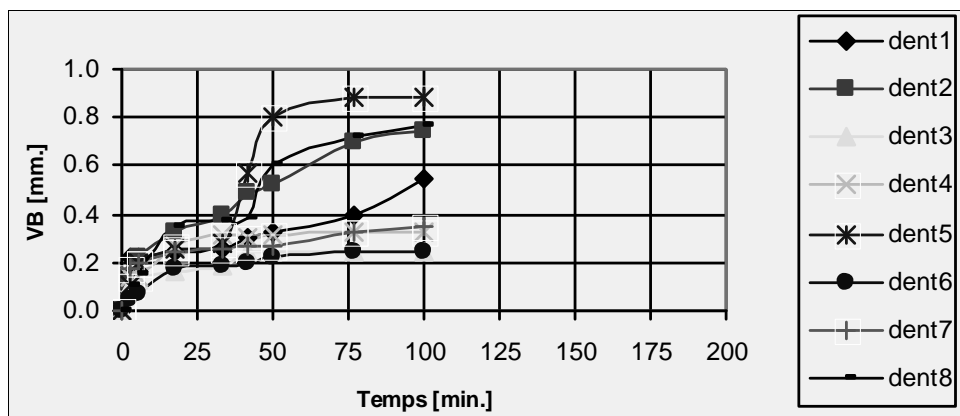


Figure 9. Evolution de l'usure individuelle des huit plaquettes non revêtues de la fraise (Essai 3 : $V = 60\text{m/mn}$, $f_z=0,2\text{mm/d}$, $a_p=1\text{mm}$, $a_e=98\text{mm}$)

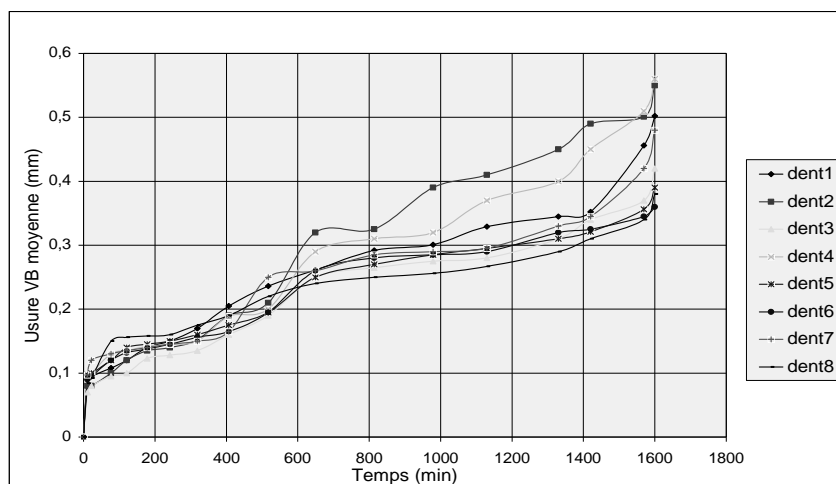


Figure 10. Evolution de l'usure individuelle des huit plaquettes revêtues de la fraise (Essai 3 : $V=60\text{m/min}$, $f_z=0,2\text{mm/d}$, $a_p=1\text{mm}$, $a_e=98\text{mm}$)

L'analyse des résultats de la rugosité arithmétique Ra de la surface usinée de

chaque palier de l'éprouvette pour les différentes combinaisons du régime de

coupe, montre que la valeur de la rugosité la plus faible est obtenue au cours de l'expérience 2 avec les paramètres, $V=150\text{m/min}$, $f_z = 0,02\text{mm/d}$, $a_p= 1\text{mm}$. Cela est en parfaite conformité avec la littérature [9,15,16]. L'analyse de l'aspect micrographique de la surface usinée par le fraisage de face montre que les surfaces fraisées présentent des sillons (trajectoires décrites par l'arête tranchante et le bec de la dent). Plus la distance entre les sillons est faible, (avance par dent faible) plus

l'aspect micrographique de la surface usinée est lisse. Lorsque l'avance par dent augmente pour une même vitesse de coupe, la distance entre les sillons laissés par le passage des dents de la fraise devient plus importante, l'état de surface se trouve ainsi dégradé. Les plaquettes avec un rayon du bec $r = 1,2\text{mm}$ donnent un état de surface meilleur que celui obtenu par les plaquettes ayant le rayon $r=0,8 \text{ mm}$.

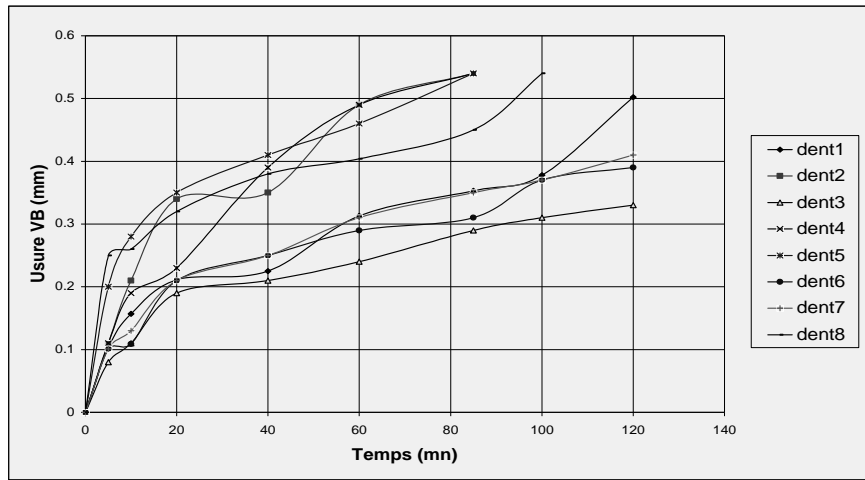


Figure 11. Evolution de l'usure individuelle des huit plaquettes revêtues de la fraise (Essai 8 : $V=150\text{m/min}$, $f_z=0,2\text{mm/d}$, $a_p=2,5\text{mm}$, $a_e=98\text{mm}$)

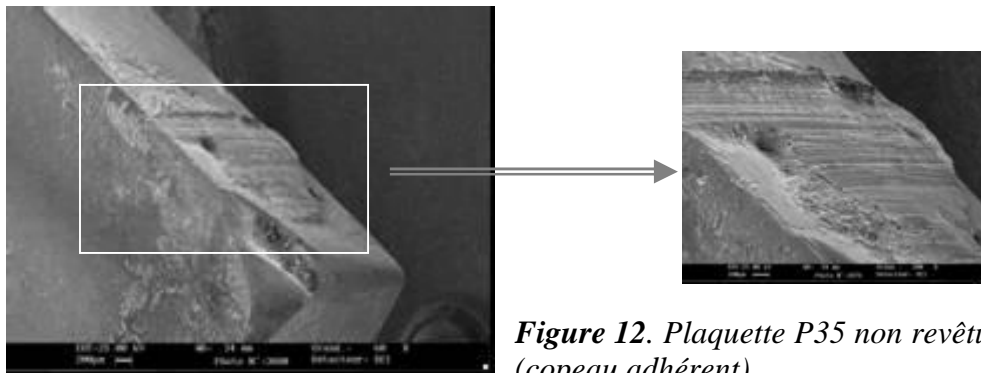


Figure 12. Plaquette P35 non revêtue (copeau adhérent)

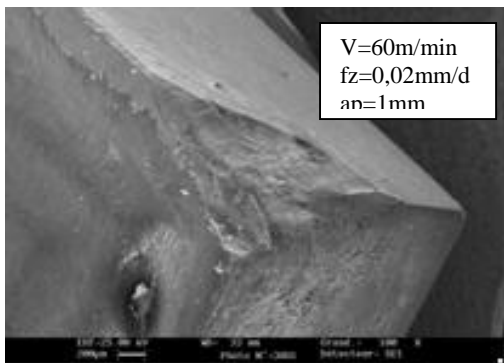


Figure 13. Usure en dépouille de la plaquette non revêtue

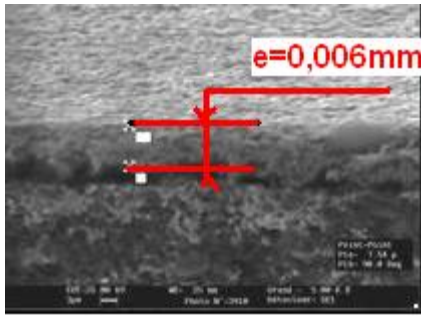


Figure 14. Epaisseur du revêtement TiN

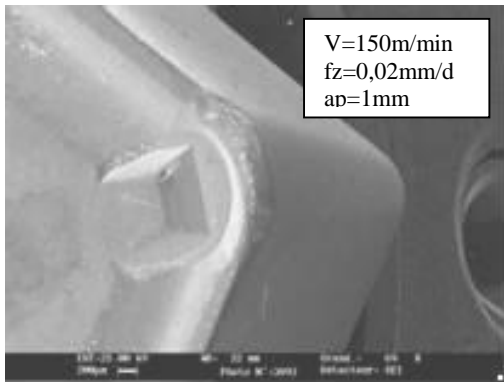


Figure 15 : Amorçage de l'usure sur le bec revêtu

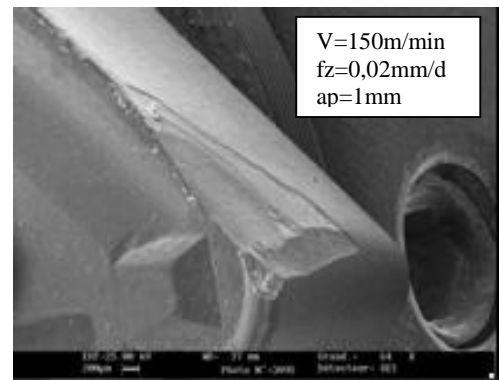


Figure 16 : Usure en dépouille après 300 min de travail avec plaquette

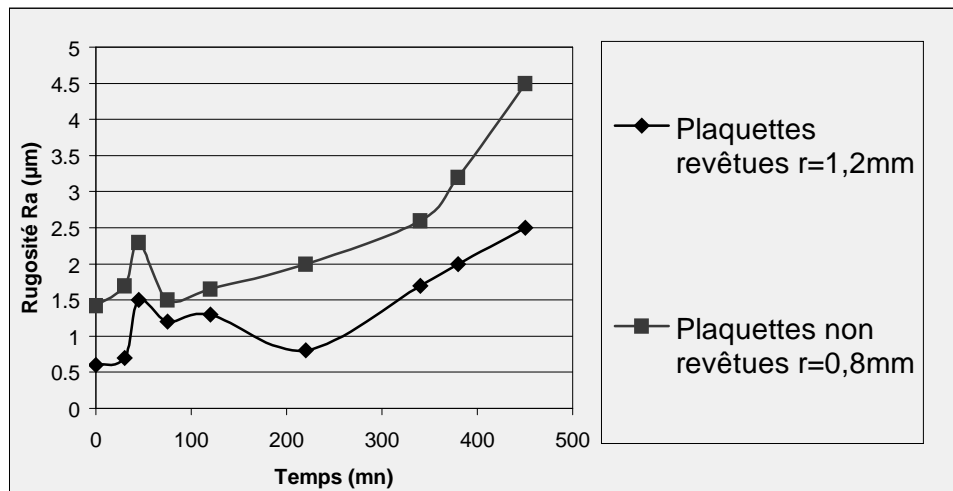


Figure 17. Influence du temps d'usinage sur la rugosité de la surface usinée carbure revêtu et non testées avec ($V= 150\text{m/min}$; $f_z= 0,02\text{mm/dent}$; $a_p= 1\text{mm}$, $a_e=98\text{mm}$)

5. CONCLUSION

L'étude expérimentale a permis l'établissement de l'évolution de l'usure VB moyenne pour une fraise tourteau à 8 dents pour l'usinage d'un acier ISO C18 de résistance mécanique $R_m=60\text{MPa}$. La détermination des tenues de la fraise à plaquettes rapportées en carbure P35 non

revêtues et revêtues de TiN en fonction des paramètres du régime de coupe V , f_z , a_p . Les modèles mathématiques exprimant la tenue en service des plaquettes et la rugosité arithmétique Ra en fonction des paramètres de coupe sont importants pour l'établissement des abaques de choix des conditions d'usinage de plus en plus précises. La résistance à l'usure des

plaquettes revêtues en TiN est de quatre fois celle des plaquettes non revêtues. Suite au meilleur comportement à l'usure, les plaquettes revêtues ont données une qualité de surface meilleure que celle obtenue par les plaquettes non revêtues. Malgré le travail dans les mêmes conditions les dents de la fraise s'usent différemment. L'étude menée a montré que les revêtements en nitrure de titane sur les plaquettes ISO P35 permettent d'augmenter considérablement la durée de vie de l'outil fraise. Ce revêtement contribue également à l'amélioration de l'état de surface et particulièrement pour les régimes à grande vitesse V et faible avance par dent f_z .

PERSPECTIVES : Cette étude est suivie d'une autre qui traitera le comportement de ces nuances à revêtement TiN pendant le fraisage des aciers ISO C45 et ISO 100Cr6. En plus, une étude expérimentale comparative est en cours de réalisation sur les performances en fraisage des plaquettes de coupe à revêtements simple et multicouches.

Références

- [1] Collectifs d'auteurs, *Fraisage, un domaine où l'outil va de plus en plus vite*, Revue périodique, Machine de Production, 1989.
- [2] Lefèbre M., *Fraisage combiné carbure*, CETIM, 1989.
- [3] M. Nordin, M.Larsson, S. Hogmark. *Mechanical and tribological properties of multilayered PVD TiN/CrN, TiN/MoN, TiN/NbN, TiN/TaN coating on cemented carbide*, Surface & Coatings Technology 106, 1998, pp. 234-241.
- [4] U. Wiklund, M. Nordin O. Wanstrand, M. Larsson, *Evaluation of a flexible physical vapor deposited TiC-C coating system*, Surface & Coatings Technology 124, 2000, pp. 154-161.
- [5] M. Nordin, R. Sundstrom, T.I. Selinder, S. Hogmark. *Wear and failure mechanisms of multilayered PVD TiN TaN coated tools when milling austenitic stainless steel*, Surface & Coatings Technology 133-134, 2000, pp. 240-246
- [6] T.I. Selinder, M.E. Sjostrand, M. Nordin, S. Hogmark. *Performance of PVD TiN/TaN and TiN/NbN superlattice coated cemented carbide tools in stainless steel machining* Surface & Coatings Technology 133-134, 2000, pp. 240-246
- [7] B. Roumesy, *Détermination des lois d'usure des outils de coupe*, Machines-outils, Juillet 1975.
- [8] B. Roumesy, C. Bedrin, *Usinabilité et coupe des métaux*, Revue Matériaux et Techniques, Août/sept., 1981.
- [9] M. A. Yallese, Rigal J.-F., L. Boulanouar, *The effects of cutting conditions on mixed ceramic and cubic boron nitride tool wear and on surface roughness during machining of X200Cr12 steel (60 HRC)*. J. Eng. Manufact., 2005.
- [10] M. A. Yallese, L. Boulanouar, K. Chaoui, *Usinage de l'acier 100Cr6 trempé par un outil en nitrure de bore cubique*, Revue Mécanique et Industries, 2004, N°5, 355-368
- [11] L. Boulanouar, *Modélisation statistique pour la détermination de l'usinabilité des aciers difficilement usinables*, Thèse Doctorat, 200 p., Sofia, 1986.
- [12] L. Boulanouar, M. Khechana et S. Belhadi, *Comportement à l'usure des plaquettes en carbure métallique P25, face à l'acier XC30*, 4ème séminaire National de Mécanique, ENSET d'Oran, 25 et 26 Avril 1995.

- [13] N. Camuscu, E. Aslan, A comparative study on cutting tool performance in end milling of AISI D3 tool steel. *J. Materials Processing Technology*, 170 (2005) 121-126.
- [14] J. A Ghani, I. A. Choudhury, H. Hassan, *Application of Taguchi method in the optimization of end milling parameters*, *J. Materials Processing Technology*, 145 (2004) 84-92.
- [15] W. Bouzid, A. Zghal, L. Sai, *Optimisation de la rugosité des surfaces usinées*, *Revue de mécanique appliquée et théorique*. Vol. 1.5 (2003) 341-356.
- [16] I. Korkut, M.A. Donertas, *The influence of feed rate and cutting speed on the cutting forces, surface roughness and tool–chip contact length during face milling*. *Materials and Design* 28 (2007) 308–312
- [17] F. Bagur, *Matériaux pour outils de coupe, conditions générales de coupe en fraisage*, *Techniques de l'Ingénieur*, BM 7080-1, 2005.