

Université Badji Mokhtar Annaba . Algérie

e-ISSN : 2352-9717

Direction des Publications



Synthèse

Revue
des **Sciences**
et de la **Technologie**

Numéro 37

ISSN - 1111 - 4924

Octobre 2018

Université Badji Mokhtar, Annaba
Direction des Publications

جامعة باجي مختار - عنابة -
مديرية النشر

Revue des Sciences et de la Technologie
Synthèse

مجلة العلوم و التكنولوجيا

Section A (Maths, Chimie, Physique, Informatique)
Section B (Sciences de la Nature, de la Vie et Médecine)
Section C (Sciences de la terre, Mines et Architecture)
Section D (Sciences de l'Ingénieur)

Directeur de la Revue
Pr. Ammar Haiahem
Recteur de l'Université Badji Mokhtar – Annaba

Directrice des Publications
Pr. Nacira Hocine

Directeur de la Rédaction
Pr. Bachir Redjel

Comité de Rédaction
Pr. Mohamed Benabdeslem
Pr. Mohamed Benslama
Pr. Ismail Fadel
Pr. Zine Kechrid
Pr. Mohamed Tahar Kimour
Pr. Hocine Labar
Pr. Salah Saad

Secrétariat
M^{me} Wided Bouteraa
M^{me} Yasmine Zaid

Rédaction et Administration
Direction des Publications,
Université Badji Mokhtar,
BP 12, Annaba, 23000, Algérie.
Tel/Fax : 213 (0) 38 57 00 04
E-mail : secretariat.revue@yahoo.fr

Impression : Imprimerie Seybousse-ZAC Sidi Salem

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

Abdessamed Rachid	Professeur, Génie Electrique, Université Hadj Lakhdar, Batna (Algérie)
Alkama Djamel	Professeur , Architecture et Urbanisme , Université du 8 Mai 45, Guelma (Algérie)
Amrouche Abdelwahab	Professeur, Génie Electrique, Université d'Artois, Lille (France)
Behim Mourad	Professeur, Matériaux de Construction, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Benaoumeur Senouci	Professeur , Informatique et Electronique, LACSC, ECE, Paris (France)
Benmedakhène Salim	Professeur, Emission Acoustique, Université de Technologie de Compiègne, UTC (France)
Bensaker Bachir	Professeur, Electronique, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Benyacoub Slim	Professeur, Ornithologie - Ecologie animale, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Bianchi Claudia L.	Professeur, Chimie, Université de Milan (Italie)
Bouazziz Mourad	Professeur, Medecine, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Bouchoucha Ali	Professeur ,Génie Mécanique, Université des Frères Mentouri, Constantine (Algérie)
Boukhili Rachid	Professeur , Polymère et Composite, Ecole Polytechnique de Montréal, (Canada)
Bourennane El Bey	Professeur, Informatique et Electronique , Université Bourgogne, (France)
Bouzar Chikh	Professeur, Mathématiques, Université Es-Senia, Oran (Algérie)
Burgel Guy	Professeur, Urbanisme, Université Paris Nanterre (France)
Chaoui Allaoua	Professeur, Informatique fondation et application , Université Constantine 2 (Algérie)
Chaoui Kamel	Professeur, Mécanique, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Chaplain Myriam	Professeur , Environnement : Bois, I2M-GCE, Université de Bordeaux1 (France)
Djabri Larbi	Professeur, Hydrogéologie, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Giraudoux Patrick	Professeur, Ecologie et Environnement, Université de Besançon (France)
Hadjoub Zahia	Professeur, S/C et microacoustique, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Kara Hichem	Professeur, Biologie Marine, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Karama Moussa	Professeur, Génie Mécanique, Ecole Nationale d' Ingénieurs de Tarbes (France)
Kharoubi Smail	Professeur, Médecine, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Labaiž Mohamed	Professeur, Métallurgie, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Ladjama Ali	Professeur, Biotechnologie, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Makhlouf Amar	Professeur, Mathématiques, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Masmoudi Ahmed	Professeur, Energies Renouvelables, E.N.S. Tunis (Tunisie)
Mekhilef Saad	Professeur, Génie Electrique, Université Malaisie (Malaisie)
Redjel Bachir	Professeur, Génie Civil, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Sahraoui - Belabed Badia	Professeur, Histoire de l'architecture et de l'urbanisme, Université Constantine (Algérie)
Siad Larbi	Professeur, Matériaux et Mécanobiologie, Université de Reims Champagne (France)
Soltani Nouredine	Professeur, Biologie, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Taabni Mohamed	Professeur, Géomorphologie, Poitiers (France)
Tifouti Lakhdar	Professeur, Génie des Procédés, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Zerouala Med salah	Professeur, Architecture, EPAU, Alger (Algérie)
Zouioueche Louisa	Professeur, Chimie Organique, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)

Instructions aux auteurs

Un titre devrait comprendre le moins possible de mots qui décrivent le contenu de l'article (Centré, Gras, 14pt)

A Title Should Be the Fewest Possible Words That Describe the Content of the Article (Center, Bold, 14pt)

Premier Auteur¹, Second Auteur², Dernier Auteur^{1*} (12 pt)

¹ Département de Génie Civil, Université Badji Mokhtar - Annaba, Algérie (11 pt)

² Département de Mathématiques, Université Badji Mokhtar - Annaba, Algérie (11 pt)

Info. Article

Historique de l'article

Reçu le ####/####/####

Révisé le ####/####/####

Accépté le ####/####/####

Mots-clés:

Premier Mots-clé, Second
Mots-clé, Troisième Mots-clé,
Quatrième Mots-clé,

Keyword:

First keyword, Second keyword
Third keyword, Fourth keyword

RESUME (10 PT)

Le résumé doit être informatif, complètement explicite, fournir une définition claire du problème, l'approche ou la solution proposée, et signaler les conclusions et résultats majeurs. Aucune littérature ne doit être citée. Il doit être un paragraphe, de 100 à 250 mots, qui résume le but, les méthodes, les résultats et les conclusions de l'article. La liste des mots clés offre la possibilité d'ajouter des mots clés, utilisés par les services d'indexation et d'abstraction, en plus de ceux déjà présents dans le titre. L'utilisation judicieuse de mots-clés peut augmenter la facilité avec laquelle les parties intéressées peuvent trouver l'article (9 pt).

ABSTRACT (10 PT)

The abstract should be informative and completely self-explanatory, provide a clear statement of the problem, the proposed approach or solution, and point out major findings and conclusions. No literature should be cited. It should be one paragraph of 100-250 words, which summarizes the purpose, methods, results and conclusions of the article. The keyword list provides the opportunity to add keywords, used by the indexing and abstracting services, in addition to those already present in the title. Judicious use of keywords may increase the ease with which interested parties can locate the article (9 pt).

** Auteur Correspondant:*

Troisième Auteur

Département de Génie Civil, Université Badji Mokhtar - Annaba (9 pt)

PB 12, Annaba, Algérie

Email: benlascience@theoreme.dz

1. INTRODUCTION (10 PT)

L'article rédigé en anglais ou français, ne doit avoir fait l'objet d'aucune publication antérieure ni être simultanément soumis à d'autres revues ou journaux scientifiques.

Le titre décrit habituellement l'objet de l'article [1]. Il doit être assez précis pour décrire le contenu de l'art, mais pas tellement technique que seuls les spécialistes comprendront. Le résumé donne au lecteur un «aperçu» du problème et de la proposition de solution [2].

L'introduction spécifie quel problème avez-vous ciblé? Pourquoi est-ce intéressant? L'introduction résume la littérature pertinente afin que le lecteur comprenne pourquoi vous étiez intéressé par le problème ou la question que vous ciblez [3]. Quatre à cinq paragraphes suffisent. Terminez avec une phrase expliquant la question spécifique que vous avez posée dans cette expérience [2], [3].

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 des reviewers. Seuls les articles ayant reçu un avis favorable des experts seront acceptés pour publication.

Pour les articles rédigés français, le titre doit être également donné en anglais et placé au dessous du titre écrit dans la langue du texte.

Le format du texte principal se compose sur papier A4, selon le style de ce modèle. La marge du texte de gauche et de haut est de 2,5 cm, le pied droit et le bas sont de 2 cm. Le manuscrit est écrit dans Microsoft Word, espace unique, Time New Roman. 11pt avec un maximum de 10 à 15pages. Utilisez ce document comme un modèle afin de rédiger votre article

2. METHODOLOGIE DE RECHERCHE (10 PT)

La description du cours de la recherche doit s'appuyer sur des références, de sorte que l'explication puisse être acceptée scientifiquement [2], [4].

Expliquer les étapes chronologiques du travail de recherche, y compris la conception et la procédure de la solution (sous forme d'algorithmes, Pseudocode ou autre), la façon de tester et l'acquisition de données [1], [3]. Les tableaux et les figures sont présentés au centre, et cités dans le manuscrit comme indiqué par le tableau 1 (ou Tab. 1) ci-dessous.

Table 1. La Relation de ...

Variable	Horizontal	Vertical
a	10	8.6
b	15	12.4
c	20	15.3

Si vous aviez un protocole compliqué, il peut être utile d'inclure un diagramme, un tableau ou un organigramme pour expliquer les méthodes que vous avez utilisées.

Ne placez pas les résultats dans cette section. Toutefois, vous pouvez inclure des résultats préliminaires qui ont été utilisés pour concevoir l'expérience principale sur laquelle vous vous présentez.

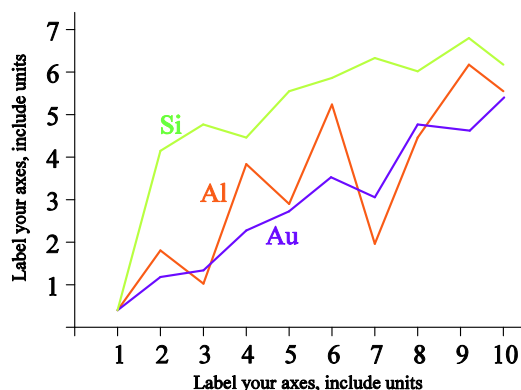


Figure 1. Exemple de légende d'une figure.

3. ANALYSIS ET RESULTATS (10 PT)

Dans cette section, il est expliqué les résultats de la recherche et, en même temps, la discussion complète. Les résultats peuvent être présentés en chiffres, graphiques, tableaux et autres qui permettent au lecteur de comprendre facilement [2], [5]. La discussion peut être faite dans plusieurs sous-sections.

3.1. Sous-section 1

xx

3.2. Sous-section 2

yy

4. CONCLUSION (10 PT)

L'article doit obligatoirement contenir une conclusion résumant les objectifs du travail proposé, les résultats obtenus et donnant des perspectives futures.

REMERCIEMENTS (10 PT)

Xx xxx

REFERENCES (10 PT)

Les principales références sont les revues et les proceedings internationaux. Toutes les références doivent être fournies aux sources les plus pertinentes et les plus récentes. Les références sont numérotées par ordre croissant au fur et à mesure de leur apparition dans le texte, en chiffres arabes entre crochets, police Times New Roman taille 10. 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.). Éviter le plus possible les thèses locales et les colloques locaux et nationaux. 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] Guo G., Park C.B., Lee Y.H., Kim Y.S. & Sain M., 2007. Flame retarding effects of nanoclay o, wood-fiber composites, *Polymer Engineering & Science*, Vol. 47 (3), 330-336.

Remarque: les noms des revues et/ou journaux doivent être écrits en entier

Chapitre d'ouvrage

[2] Dhadialla T.S., Retnakaran A. & Smagghe, G., 2005. Insect growth- and development- disturbing insecticides. In: *Comprehensive Molecular Insect Science* L.I. Gilbert, K. Iatrou, S.K. Gill (Eds), Elsevier- Pergamon, Oxford, UK, Vol. 6,55-116.

Ouvrage

[3] Montambeaux G. & Akkermans E., 2009. Physique mésoscopique des electrons. Ed. EDP Sciences. 189p.

Thèse de Doctorat

[4] Moreau J., 2009. Problèmes unilatéraux..... Thèse de Doctorat enUniversité de....., Pays. 160p.

Actes colloque ou congrès

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

Site Web

Les références pour les sites web doivent être accompagnées de la dernière date de consultation

INDEXATION : bases de données

Synthèse figure dans le répertoire mondial des publications en série « Ulrich's Periodicals Directory » et est en étude pour son indexation dans Scopus et dans le DOAJ (Directory Open Access Journal).

Elle est indexée dans les bases de données suivantes:

	<u>www.ajol.info</u>
	<u>Research Bible</u>
	<u>Academic Keys</u>
	<u>Directory of Research Journals Indexing</u>
	<u>Cite Factor</u>
	<u>Advanced Science Index</u>
	<u>International Impact Factor Services</u>
	<u>Scientific Indexing Services</u>
	<u>The Journals Impact Factor</u>

Eclaircissement

Suite aux recommandations de la commission nationale d'évaluation des revues nationales installée par la DGRSDT au sein du MESRS et chargée de procéder à la catégorisation de ces revues, le comité de rédaction de la revue **Synthèse, Revue des Sciences et de la Technologie**, éditée par la direction des Publications de l'Université Badji Mokhtar de Annaba, a procédé à organiser le traitement du passif (archives) selon la classification et la numérotation de la plate forme ASJP (Algerian Scientific Journal Platform) qui est une plateforme d'édition électronique des revues scientifiques Algériennes développée et gérée par le CERIST. Ainsi pour être en conformité avec les exigences et les directives de cette plate forme ASJP et répondre aux critères de la catégorisation, la structuration de la numérotation a été réorganisée en **Volume** et **Numéro** (le numéro 1 lorsque c'est un seul numéro édité par an et les numéros 1 et 2 lorsque ce sont 2 numéros édités par an de façon régulière comme c'est le cas depuis Février 2011 et l'ex numéro 22).

Ainsi la restructuration se résume comme suit :

<u>Ancienne numérotation</u>			<u>Nouvelle numérotation</u>	
Numéro	0	Juin 1995	devient	
Numéro	1	Juin 1996	Volume	1 numéro 1
Numéro	2	Juin 1997	Volume	2 numéro 1
Numéro	3	Juin 1998	Volume	3 numéro 1
Numéro	4	Décembre 1998	Volume	4 numéro 1
Numéro	5	Juin 1999	Volume	4 numéro 2
Numéro	6	Novembre 1999	Volume	5 numéro 1
Numéro	7	Juin 2000	Volume	5 numéro 2
Numéro	8	Septembre 2000	Volume	6 numéro 1
Numéro	9	Mars 2001	Volume	6 numéro 2
Numéro	10	Juin 2001	Volume	7 numéro 1
Numéro	11	Juin 2002	Volume	7 numéro 2
Numéro	12	Juin 2003	Volume	8 numéro 1
Numéro	13	Juin 2004	Volume	9 numéro 1
Numéro	14	Juin 2005	Volume	10 numéro 1
Numéro	15	Juin 2006	Volume	11 numéro 1
Numéro	16	Juin 2007	Volume	12 numéro 1
Numéro	17	Juin 2008	Volume	13 numéro 1
Numéro	18	Juillet 2008	Volume	14 numéro 1
Numéro	19	Décembre 2008	Volume	14 numéro 2
Numéro	20	Juin 2009	Volume	14 numéro 3
Numéro	21	Janvier 2010	Volume	15 numéro 1
Numéro	22	Février 2011	Volume	16 numéro 1
Numéro	23	Octobre 2011	Volume	17 numéro 1
Numéro	24	Avril 2012	Volume	17 numéro 2
Numéro	25	Octobre 2012	Volume	18 numéro 1
Numéro	26	Avril 2013	Volume	18 numéro 2
Numéro	27	Octobre 2013	Volume	19 numéro 1
Numéro	28	Avril 2014	Volume	19 numéro 2
Numéro	29	Octobre 2014	Volume	20 numéro 1
Numéro	30	Avril 2015	Volume	20 numéro 2
Numéro	31	Octobre 2015	Volume	21 numéro 1
Numéro	32	Avril 2016	Volume	21 numéro 2
Numéro	33	Octobre 2016	Volume	22 numéro 1
Numéro	34	Avril 2017	Volume	22 numéro 2
Numéro	35	Octobre 2017	Volume	23 numéro 1
Numéro	36	Avril 2018	Volume	23 numéro 2
Numéro	37	Octobre 2018	Volume	24 numéro 1
			Volume	24 numéro 2

Cette nouvelle numérotation débutera à partir du prochain numéro d'Avril 2019 qui portera l'inscription
Volume 25 numéro 1

Sommaire

Un algorithme hybride pour la résolution du problème de partitionnement matériel/logiciel Mourad Khetatba & Rachid Boudour.....	1
Elaboration of AlSi13 Casting Alloys modified using Directional Solidification Processing Khadouja. Ghedjati, Eric. Fleury, Ouanassa Guellati & Youcef Samih.....	14
Réseau sur puce sans buffer pour les applications de codage vidéo : étude de cas H.264/AVC Hichem. Mayache, Salah Toumi, El Bey Bourennane & Atef Benhaoues.....	25
Effets du compost de filao (<i>Casuarina equisetifolia</i>) enrichi sur les rendements des cultures maraichères dans la zone des Niayes au Sénégal Mamoudou Abdoul Touré, Saliou Ngom, Elhadji Faye, Diaminatou Sanogo & Malaïny Diatta.....	39
Technologies, qualité et importance socioéconomique du poisson séché en Afrique Hissein O. Abdoullahi, François Tapsoba, Flibert Guira, Cheikna Zongo, Lawane Idriss Abakar , Abdelsalam Tidjani & Aly Savadogo.....	49
Valorisation et etude phytotoxycologique des eaux d'irrigation a partir des eaux usées, sur deux cultures (tomate industrielle et haricot vert) Mourad Lazhar Bouzou, Chaabene Rahmoune, Ratiba Seridi & Moussa Houhamdi.....	64
Etude de quelques expressions morpho- physiologiques chez trois génotypes de blé dur pour la sélection à la tolérance au déficit hydrique Houda Benmounah & Louhichi Brinis.....	78
Le plan d'occupation des sols (POS Sud) de Guelma:Un projet urbain et des éléments influents Mohammed Cheraitia & Mokhtar Makhoulf.....	87
Impact de la pollution agricole sur la qualité des eaux souterraines dans le périmètre irrigué Guelma-Boucheouf (Nord Est Algérien) Mounira Touati, Moussa Benhamza & Fatma Bouhafs	103
Qualité des eaux brutes du barrage Hammam Debagh, Wilaya de Guelma (Nord-Est Algérien) Nadjette Zeghaba, Abdelaziz Laraba & Mohamed Mahia.....	113
Analyse aeroélastique des paliers à structure à feuilles en régime stationnaire Youcef Amine Masmoudi & Ammar Haiahem.....	122
Modélisation numérique bidimensionnelle de l'effet de chargements des revêtements de tunnels circulaire et non circulaire en présence d'écoulement Said Kechida, Farid Bouchelghoum, Fares Laouacheria & Hocine Amarchi.....	138
Alterations in concrete samples due to Alkali–Carbonate–Reaction 'ACR' Nadjette Rehamnia, Mohamed Fouzi Habita, Fouzia Bouabdallah & Noureddine Ferhoune.....	153
Simulation and optimization of realized traction factor of belt conveyor Naima Djouema & Ali Belhamra.....	170
Maintenance Function Audit According to ISO 9001/2008 StandartCase Study TSS (Arcelor-Mittal) Annaba-Algeria Mounira Djemai, Elias Hadjadj Aoul & Messaoud Bouakkaz.....	183
Effets de la vitesse du brassage et du taux du renfort sur la structure et les propriétés d'un composite A356/SiC_p moulé. Mohamed Hacini & Allaoua Chibani.....	208

A Computational Simulation of bending fatigue in spur gear with profile modification Tarek Maifi, Rabah Bourenane & Rabia Khelif.....	209
Comportement à la corrosion des alliages TiNi et TA6V4 dans la salive artificielle et performance d'usure Soumaya Meddah, Hacène Chadli, Said Boudebane & Samia Lemboub.....	222
Experimental characterization of friction wear and mechanical behavior of train wagon brake shoes made of carbon/carbon (C/C) composite material with an organic matrix Issam Benbrinis & Bachir Redjel.....	235

Un algorithme hybride pour la résolution du problème de partitionnement matériel/logiciel

Hybrid algorithm for solving hardware/Software partitioning problem

Mourad Khetatba* & Rachid Boudour

Laboratoire de systèmes embarqués -LASE-, Université Badji Mokhtar-Annaba.
BP 12, Annaba 23000, Algérie.

Soumis le : 16/07/2017

Révisé le : 19/06/2018

Accepté le : 20/06/2018

ملخص

لتطوير نظام مدمج مع نسبة من التكلفة والأداء معقولة، اتجه المصممون نحو التصميم المشترك (عتاد/ برمجيات) أو co-design. تشمل هذه المنهجية سلسلة من المراحل، أول خطوة هي الموصفات القابلة للتنفيذ و آخرها النموذج الافتراضي للنظام. التقسيم عتاد/ برمجيات، خطوة حيوية في عملية التصميم المشترك، تهدف إلى تقسيم سلوك النظام إلى مجموعتين فرعيتين من الوظائف، الأولى عتاد والثانية برمجيات. بما أن مسألة التقسيم عتاد / برمجيات هي جد صعبة NP-difficile، فالمرجع العلمية تعرف وفرة من المناهج التكميلية لمعالجة تقريبية لهذه المشكلة. في هذه الورقة، نقترح خوارزمية تقسيم عتاد / البرمجيات جديدة هجينة وموثوق بها تقوم على الخوارزمية (Late Acceptance Hill Climbing: LAHC) والخوارزمية الوراثية (Algorithm Génétique: AG). و معروف أن LAHC وسيلة فعالة للبحث المحلي، يضاف لها الإمكانيات الكبيرة للبحث الشامل الخاصة بالخوارزمية الوراثية AG. تم تطبيق الخوارزمية الهجينة وأعطت نتائج أفضل مقارنة مع تلك الاعمال المنجزة سابقا.

الكلمات المفتاحية: تقسيم عتاد/برمجيات-الطرق التقريبية العامة-قبول متأخر للمنحدر-خوارزمية وراثية-خوارزمية هجينة

Résumé

Pour développer un système embarqué avec un rapport coût / performance raisonnable, les concepteurs s'orientent vers la conception conjointe matériel/logiciel (M/L) ou codesign. Cette méthodologie comporte une suite d'étapes dont les résultats de la première est une spécification exécutable et la dernière est un prototype virtuel du système. Le partitionnement M/L, une étape cruciale du processus de Co design, a pour finalité de diviser le comportement d'un système en deux sous-ensembles de fonctions, l'un matériel et l'autre logiciel. Le problème de partitionnement M/L étant NP-difficile, la littérature foisonne d'approches complémentaires pour remédier approximativement à ce problème. Dans ce papier, nous proposons un nouveau algorithme hybride et fiable de partitionnement M/L basé sur le principe de l'algorithme Late Acceptance Hill Climbing(LAHC) et de l'algorithme génétique (AG). LAHC est connue pour sa recherche locale efficace, conjuguée à la potentialité importante de recherche globale de l'AG. L'algorithme hybride, a été appliqué et a donné de meilleurs résultats, comparés à ceux de l'état de l'art.

Mots clés : *Partitionnement M/L-Metaheuristique-Acceptation tardive de Hill Climbing- Algorithme génétique- Algorithme hybride*

Abstract

To develop an embedded system with a reasonable cost / performance ratio, the designers were moving towards the hardware/software co-design. This methodology comprises a sequence of steps whose results from the first is an executable specification and the latter is a virtual prototype of the system. Hardware/software Partitioning, a crucial step in Co-design process, aims to divide the system's behavior in two subsets of functions, one hardware and the other software. The Hw/Sw partitioning problem being NP-hard, the literature abounds with complementary approaches to remedy this problem roughly. In this paper, we propose a new hybrid and reliable Hw/Sw partitioning algorithm based on the principle of the Late Acceptance Hill Climbing (LAHC) technique and the Genetic Algorithm (GA). LAHC is known for its efficient local research, combined with the important potentiality of the AG total research. The hybrid algorithm has been applied and has given better results, compared to those of the state of Art.

Key words: *Hw/Sw partitioning-Metaheuristic-Late Acceptance Hill Climbing- Genetic Algorithm- Hybrid Algorithm*

* Auteur correspondant : khetatbam@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

Les systèmes embarqués envahissent notre quotidien personnel et professionnel. Ils sont constitués très souvent de composantes logicielles et matérielles. Cependant, la conception de ces systèmes ne peut être implémentée par des méthodes classiques où la conception du matériel précède celle du logiciel.

Pour pallier aux problèmes inhérents à l'approche classique, il a fallu penser à une nouvelle méthodologie qui réexamine les frontières entre le logiciel et le matériel (M/L). La méthodologie la plus récente de conception Matériel/Logiciel (M/L), est connue sous le nom de Co-design [1]. Le Co-design M/L permet de concevoir en même temps le matériel et le logiciel pour une fonctionnalité à implémenter à la recherche des meilleurs compromis entre les différentes solutions. Le but du Co-design est de réduire le temps de mise sur le marché tout en réduisant l'effort de conception et les coûts des produits conçus [2]. Cette méthodologie est structurée en plusieurs étapes partant de la spécification jusqu'à la réalisation physique. Concevoir un système complexe passe obligatoirement par la décomposition de son comportement en un ensemble de fonctions ou modules. L'étape la plus délicate est celle du partitionnement du système en modules matériels ou logiciels [3]. Il est primordial de développer dans les premières étapes du flot de conception des méthodes de partitionnement M/L pour compenser la croissance de la complexité des applications. Les résultats de partitionnement affectent directement le coût et la performance du système applicatif final [4]. En général, plusieurs facteurs (ou métriques) sont pris en compte pour ce problème tels que les contraintes temporelles, la surface de silicium, la consommation. Ces métriques sont combinées pour former une fonction de coût ou d'objectif. Cette fonction exprime donc les critères que le concepteur veut minimiser.

Du fait de tous ces paramètres et des objectifs d'optimisation, le problème du partitionnement est bien connu comme étant un problème NP-difficile [5]. IL assure la transformation des spécifications de la partie du système relevant de l'activité Co-design en une architecture composée d'une partie matérielle et d'une partie logicielle. De nombreuses méthodes ont été développées pour résoudre ce problème et visent à automatiser le processus de partitionnement M/L.

Mais, il n'existe pas de méthode d'optimisation qui, pour un problème donné, sera meilleure que toutes les autres sur toutes les instances possibles. Toute méthode choisie a des avantages et des inconvénients. Par conséquent, les chercheurs ont combiné ces méthodes et ont conçu des algorithmes hybrides pour avoir une solution optimale au problème. Ces méthodes hybrides gagnent maintenant en popularité, car elles arrivent à fournir de meilleurs résultats. Ainsi, dans ce papier, nous proposons une hybridation séquentielle de deux algorithmes Late Acceptance Hill Climbing(LAHC) [6] et génétique(AG) [7]. Étant donné que la technique LAHC est relativement récente, les variations de cette méthode n'ont pas encore été largement explorées. Par conséquent, la combinaison de LAHC avec d'autres méthodes et stratégies est un champ ouvert à l'expérimentation. LAHC est une méthode de recherche locale à base de solution unique, son but est d'améliorer la qualité (la « fitness ») d'une solution par exploration de son voisinage. La méthode de descente ou Hill-climbing est facilement piégée dans un des optimums locaux, alors que, LAHC essaie d'échapper à ces minima locaux en sortant des sous-espaces de l'espace de recherche. Le premier pas dans l'implantation des algorithmes génétiques est de créer une population d'individus initiaux. Les méta heuristiques basées sur une population de solutions (par exemple AG) sont très sensibles au choix initial de la population et sont sujettes à une détérioration de la diversité si aucune précaution n'est prise par rapport au problème. Cette population sera construite, pour notre étude, à partir des solutions fournies par LAHC. L'algorithme génétique a une forte capacité de recherche globale. L'application des opérateurs génétiques permet à l'AG d'éviter de converger vers des extrema locaux de la fonction et de créer des éléments originaux. L'algorithme proposé sera testé sur des modèles de différentes tailles. Ce papier est organisé comme suit : La section 2 explique le partitionnement M/L en co-conception et des mémoires sur les travaux précédents dans ce domaine, ainsi que la présentation de certains concepts préliminaires sur LAHC et AG. La formulation du problème de partitionnement est donnée dans la section 3. Le modèle combiné proposé pour le problème de partitionnement est décrit dans la Section 4. Les résultats de l'expérience sont montrés à la Section 5. La section 6 conclut le document et discute des travaux futurs.

2. ETAT DE L'ART ET PRELIMINAIRES

2.1 Etat de l'art

Au fil des décennies, plusieurs approches ont été proposées. Elles diffèrent dans la spécification initiale, le niveau de granularité auquel le partitionnement est effectué, le degré d'automatisation du processus de partitionnement, la fonction coût et l'algorithme de partitionnement. Edwards [8] donne l'historique et les premiers travaux concernant le problème de partitionnement M/L. Le découpage en parties matérielles et logicielles du système était effectué manuellement et dépendait des expériences du concepteur [9]. Ces méthodes sont devenues incompatibles avec les contraintes de temps actuelles de mise sur le marché. C'est pourquoi, de nombreuses méthodes ont été développées et visent à automatiser la tâche de partitionnement. Au Début, des approches orientées logiciel [5] ou orientées matériel [10] ont été présentées où les fonctions entières du système sont d'abord implémentées soit en logiciel, soit en matériel. Ensuite, les deux approches faisaient progressivement migrer les partitions du logiciel vers le matériel ou vice-versa pour réduire le coût du système.

Le problème de partitionnement M/L peut être formulé sous forme d'un problème d'optimisation combinatoire. Pour cela, les chercheurs ont proposé deux approches (méthodes exactes et des méthodes approchées) pour résoudre efficacement certains problèmes d'optimisation combinatoire (Fig. 1).

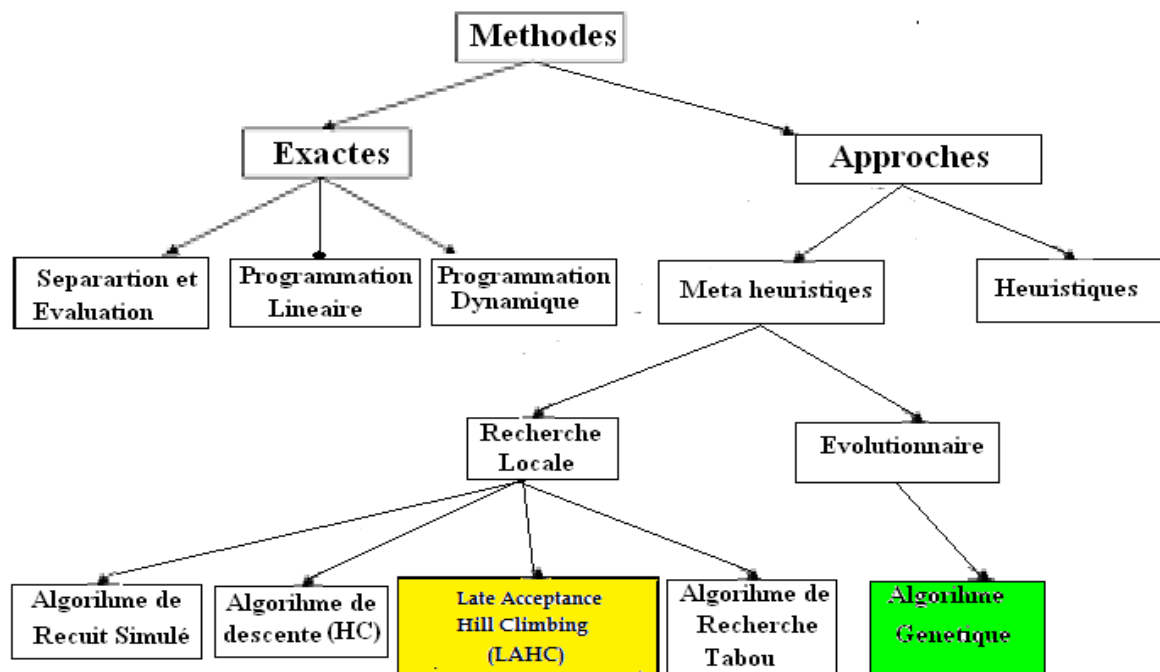


Figure 1 : Principaux algorithmes de partitionnement M/L

Les méthodes (ou algorithmes) exactes garantissent de trouver la solution optimale et de prouver son optimalité pour toutes les instances d'un problème d'optimisation de taille raisonnable, même si c'est un problème NP-difficile [11]. Le principe d'une méthode exacte est généralement d'énumérer souvent implicitement, toutes les solutions de l'espace de recherche. Donc, même l'ordinateur le plus puissant ne pourra pas, dans des temps réalistes, énumérer toutes ces solutions pour trouver la solution optimale. Par conséquent, ces méthodes ont généralement le défaut d'être très coûteuses en temps d'exécution, ainsi elles ne peuvent pas être appliquées à de grands problèmes NP-difficiles. Plusieurs approches de résolution exacte ont été élaborées. Nous pouvons citer La méthode séparation et évaluation [12], La programmation linéaire [13], la programmation dynamique [14].

Au contraire, les méthodes approchées visent à générer des solutions de haute qualité en un temps de calcul raisonnable, mais il n'existe aucune garantie de trouver la solution optimale. Leur utilisation est fortement recommandée pour trouver des solutions qui se rapprochent de l'optimum là où les méthodes exactes échouent. Mais, Il est déconseillé de les utiliser pour résoudre des problèmes où des

algorithmes exacts et efficaces sont disponibles. Dans cette catégorie de méthodes, les méta heuristiques [15,16] se sont distinguées pendant les dernières décades et ont montré leur efficacité dans de vastes domaines d'application en résolvant de nombreux problèmes d'optimisation pour ne citer que le problème de partitionnement. Plusieurs définitions d'un méta heuristique ont été proposées dans la littérature. Les méta heuristiques sont des stratégies permettant de guider la recherche d'une solution optimale. Elles sont en général non déterministes (pas de garantie d'optimalité). Généralement, les métaheuristiques contiennent des techniques pour pouvoir échapper à des minima locaux. Boussaid [17] donnent un bon aperçu sur ces méthodes. Les métaheuristiques peuvent être classées en deux grandes familles [18], celles de voisinage ou à base de solution unique et celles à base de population. Les métaheuristiques de voisinage (telles que les algorithmes de recherche tabou(RT) [19], de recuit simulé (RS) [20], algorithme LAHC pour Late Acceptance Hill Climbing [6], etc.) ont en commun d'avoir un mécanisme d'acceptation de solutions dégradées leur permettant de s'extraire des minima locaux. Celles à base de population (Les algorithmes génétiques (AG) [7], algorithmes à optimisation d'essaim de particules(OEP) [21], etc.) disposent d'un mécanisme collectif pour sortir des minima locaux. Mais, il n'existe pas de méthode d'optimisation qui, pour un problème donné, sera meilleure que toutes les autres sur toutes les instances possibles. Ainsi, les chercheurs ont combiné les avantages de deux ou plusieurs algorithmes pour en faire un seul, appelé algorithme hybride. Ces avantages ou points forts devraient être complémentaires entre eux de sorte que l'algorithme hybride résultant puisse en bénéficier deux [11,22]. Les méthodes hybrides peuvent être divisées en deux groupes [18] : les métaheuristiques hybrides qui impliquent une combinaison de plusieurs métaheuristiques et les méthodes hybrides impliquant une combinaison d'une méthode exacte et d'un métaheuristique. Un état de l'art de ces coopérations Meta/exactes a d'ailleurs été proposé récemment par Stützle et Dumitrescu [23]. La recherche locale, le recuit simulé, la recherche avec tabous et les algorithmes évolutifs ont déjà été hybridés avec succès dans plusieurs applications [24,25, 26].

2.2 Concepts Préliminaires

2.2.1. L'algorithme Late Acceptance Hill-Climbing

Late acceptance Hill-Climbing [6], comme son nom l'indique, LAHC est dérivé de l'algorithme de Hill Climbing (HC). C'est l'une des nouvelles méthodes de recherche locale qui modifie une solution et accepte des changements si la solution courante modifiée est meilleure que la solution courante déjà plusieurs itérations. Lorsqu'une fonction objective contient plusieurs optimums locaux concernant le voisinage étudié par la stratégie de recherche, le Hill-Climbing est facilement emprisonné dans un des optimums locaux, alors que LAHC essaie d'échapper de ces minima locaux. Il commence à partir d'une simple solution initiale (habituellement aléatoire), et à chaque itération modifie de manière aléatoire la solution courante afin de produire une solution candidate dans le voisinage. Alors l'idée fondamentale est de retarder la comparaison entre les solutions du voisinage et de comparer les nouvelles solutions candidates à une solution courante qui existait depuis plusieurs étapes passées déjà. La recherche est généralement terminée lorsqu'elle converge (aucune amélioration n'est détectée pendant un certain nombre d'itérations). Le LAHC a deux avantages majeurs par rapport à ses concurrents. Tout d'abord, il est nécessaire de configurer la longueur du vecteur d'adaptation (Lfa : List fitness array) plutôt que d'un programme de refroidissement tel que le recuit simulé, puis, l'absence d'un calendrier de refroidissement rend l'algorithme plus fiable. Le fonctionnement du LAHC est illustré par la figure 2.

```

(1) Initialiser les paramètres de LAHC ; // Nb_iter(pour Nombre d'itérations)= 0 ;
                                     //Lfa( pour la taille du vecteur
                                     d'adaptation)=20 ;
(2) Générer une solution aléatoire X0 ;
(3) Calculer la fonction cout f(X0)
(4) Meil_sol=X0
(5) Initialiser le vecteur d'adaptation HCL à f(X0) ;
(6) Répéter
(7) V= Nb_iter mod Lfa
(8) Générer Voisinage de X0 // N(X0)
(9) Sélectionner une solution X ∈ N(X0)
(10) Si f(Meil_sol)≤fv or f(X)≤f(X0) alors
(11) Accepter la solution ; // X0=X
(12) Si f(X)≤f(Meil_sol) Alors Meil_sol=X
(13) Sinon Rejeter la solution ; // X0=X0
(14) Insérer la solution dans le vecteur d'adaptation ; // HCL[v]=X
(15) Incrémenter le nombre d'itérations ; // Nb_iter=Nb_iter+1
(16) Jusqu'à (Condition d'arrêt)
(17) Retourner (Meil_sol) ;

```

Figure 2 : Fonctionnement de l'algorithme LAHC

2.2.2. L'algorithme Génétique

Les algorithmes génétiques [7] sont, à l'heure actuelle, l'approche la plus utilisée parmi les méthodes évolutives. Ils sont des algorithmes d'optimisation s'appuyant sur des techniques dérivées de l'évolution naturelle : croisements, mutations et sélections basés sur la survie du meilleur. Ils travaillent sur une population de solutions (individus), plusieurs solutions en parallèle, et non pas sur une solution unique. Travailler sur plusieurs solutions en parallèle avec des opérateurs aléatoires réduit la possibilité de tomber sur un optimum local. La population d'individus évolue en même temps comme dans l'évolution naturelle en biologie. Pour chacun des individus, on mesure sa faculté d'adaptation à l'environnement par une fonction d'adaptation (fitness). Ils utilisent les opérateurs de sélection et de reproduction. La sélection est le choix de paires d'individus qui vont participer à la reproduction de la génération suivante. La reproduction, quant à elle, s'effectue à l'aide d'un opérateur de croisement et/ou un opérateur de mutation. Les meilleurs individus sont autorisés à se reproduire. L'algorithme génétique termine si la solution satisfait le critère d'arrêt, c'est-à-dire que la population convergera lorsque plus de 95% des individus de la population partagent la même valeur de la fonction d'adaptation "fitness". Le fonctionnement général de l'algorithme génétique est illustré en figure 3.

- (18) Générer une population initiale P0.
- (19) Evaluer P0.
- (20) Tant Que (Non (condition d'arrêt)) faire :
- (21) Répéter
- (22) Sélectionner des Parents dans P0
- (23) Appliquer Opérateur de Croisement sur les parents sélectionnés
- (24) Appliquer Opérateur de Mutation sur les individus issus du croisement
- (25) Placer ces individus mutants dans une nouvelle population P
- (26) Jusque (nouvelle population P soit pleine)
- (27) Evaluer P
- (28) Remplacer les Anciens de P0 par leurs Descendants de P
- (29) FinTantQue
- (30) Retourner la meilleure solution

Figure 3 : Fonctionnement de l'algorithme génétique

3. FORMULATION DU PROBLEME

Face à un problème d'optimisation, l'étape la plus importante est sans doute l'étape de la modélisation (c'est-à-dire passer d'un problème réel à une formulation mathématique de ce problème). Le choix du modèle est souvent guidé par le type d'application. Le graphe de flot de données et de contrôle (CDFG : Control Data Flow graph), ou un graphe orienté acyclique tout simplement (DAG : Directed Acyclic Graph), une abstraction de la spécification, est utilisée dans notre étude comme entrée des algorithmes de partitionnement pour mapper les blocs/nœuds du CDFG soit en logiciel, soit en matériel [27]. L'extraction du graphe de la spécification n'est pas prise en considération dans notre étude. Le CDFG ou DAG $G = (V, E)$, qui est utilisé pour décrire le comportement du système, consiste en un ensemble de fonctions (modules) représentées par les sommets $V = \{v_i \mid i = 1, 2, \dots, n\}$, et un ensemble de dépendances et de contrôles de données qui sont représentées par les arcs $E = \{e_{ij} \mid e_{ij} = (v_i, v_j), v_i, v_j \in V\}$. Le problème du partitionnement de V dans deux ou plusieurs blocs interactifs peut être exprimé en $P = \{P_i \mid i = 1, 2, \dots, N\}$, où $P_i = (V_i, E_i)$, $\cup V_i = V$ et $V_i \cap V_j = \emptyset$ si $i \neq j$, avec certaines contraintes. Supposons que n indique le nombre de nœuds (modules), x_i indique comment v_i (module i) est réalisé où $x_i = 1$ ($x_i = 0$) signifie que v_i est réalisé en matériel (en logiciel), $m1$ nœuds seront implémentés en matériel et $m2$ autres nœuds seront développés en logiciel ($n = m1 + m2$, $V_{Hw} = \{v_i \mid i = 1, 2, \dots, m1\}$, $V_{Sw} = \{v_i \mid i = 1, 2, \dots, m2\}$). Chaque nœud v_i du graphe est marqué par les attributs suivants : A_i^{Hw} est la surface occupée par le i ème module réalisé en matériel ; T_i^{Hw} indique le temps d'exécution matériel, T_i^{Sw} représente le temps requis pour l'exécuter sur le processeur; DM_i^{Sw} et CM_i^{Sw} sont les capacités mémoire pour les données et instructions (codes) respectivement; S_i^{Sw} est le coût logiciel, S_i^{Hw} est le coût matériel toujours du i ème module, les arcs sont également associés à une valeur de communication ($Ccom_{ij}$). $Ccom_{ij}$ indique le coût de communication entre v_i et v_j . Une hypothèse importante est que le coût de communication logicielle-logicielle ou matérielle-matérielle est négligeable, c'est-à-dire il peut être considéré comme étant 0 à des fins pratiques.

A , C , G , Mb et T représentent respectivement les contraintes de surface, de communication, de coût global, de taille mémoire et la contrainte de temps d'exécution. $Texe$ est le temps d'exécution qui est défini comme étant la somme du temps de traitement de tous les modules. $Ccom$ est la somme des coûts de communication de tous les modules. Gc est la somme des coûts du logiciel et des coûts du matériel de tous les modules. TM est la somme de la taille de la mémoire de données et de codes de tous les modules logiciels. A^{Hw} est la somme de la surface de tous les modules matériels. T^{Sw} est le temps requis pour exécuter tous les modules logiciels sur le processeur ; T^{Hw} représente la somme du temps d'exécution des modules matériels.

$$Texe = \sum_{i=1}^n ((x_i + T_i^{Hw}) + (1 - x_i) * T_i^{Sw}) \quad (1)$$

$$T^{Sw} = \sum_{i=1}^n ((1 - x_i) * T_i^{Sw}) \quad (2)$$

$$T^{Hw} = \sum_{i=1}^n (x_i * T_i^{Hw}) \quad (3)$$

$$TM = \sum_{i=1}^n ((1 - x_i) * (DM_i^{Sw} + CM_i^{Sw})) \quad (4)$$

$$A^{Hw} = \sum_{i=1}^n (x_i * A_i^{Hw}) \quad (5)$$

$$Ccom = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j \in V_{Sw}} (x_i * Ccom_{ij}) + \sum_{j \in V_{Hw}} (1 - x_i) * Ccom_{ij} \right) \quad (6)$$

$$Gc = \sum_{i=1}^n ((x_i * S_i^{Hw}) + (1 - x_i) * S_i^{Sw}) + Ccom \quad (7)$$

Avant de commencer le partitionnement, nous devons définir la fonction objective et les contraintes. Pour cela, chaque métrique devra être accompagnée d'un poids k_i , qui est une valeur numérique indiquant l'importance de cette métrique aux yeux du concepteur. Autrement, le concepteur accordera la valeur k_i positive ou nulle aux métriques selon leur importance relative.

$$Objfct = k1 * T^{Sw} + k2 * T^{Hw} + k3 * TM + k4 * Gc + k5 * A^{Hw} \quad (8)$$

La fonction objective, donnée par la formule (8), est une fonction paramétrable puisque nous donnons à l'utilisateur de notre outil de partitionnement M/L le choix de sélectionner l'ensemble des métriques et leurs poids. Si une métrique n'est pas sélectionnée, son poids aura une valeur zéro. Nous avons volontairement séparé les temps d'exécution logiciel et matériel pour donner plus de liberté au concepteur s'il veut avantager l'implémentation logicielle ou vice-versa. Afin d'optimiser la fonction coût, nous avons besoin des conditions suivantes :

$$A^{Hw} \leq A ; TM \leq Mb ; Ccom \leq C ; Gc \leq G ; Texe \leq T$$

4. ALGORITHME HYBRIDE PROPOSE

Notre application est composée de n modules SystemC (M_1, M_2, \dots, M_n). Dans notre modèle, une solution au partitionnement est exprimée sous la forme d'un ensemble de bits $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, où le i ème élément représente le type d'implémentation assigné au Module M_i ; Si $x_i = 1$, cela implique que la réalisation de cet i ème module sera en matériel, dans le cas contraire la réalisation sera en logiciel. L'efficacité d'exploration, la qualité des résultats et la robustesse sont les principales préoccupations d'un algorithme de partitionnement. Nous proposons une stratégie combinant algorithmes complémentaires LAHC et AG, et l'appliquer à un problème de partitionnement M/L. L'idée de l'hybridation est simple : utiliser les points forts de chaque méthode pour avoir des solutions plus satisfaisantes, combiner la bonne exploitation des méthodes de recherche locale LAHC avec la puissance d'exploration d'espace de recherche des méthodes basées population (AG). Cette approche hybride tire profit de la complémentarité des algorithmes Génétiques (AGs) possédant une connaissance globale à travers les populations et explorant l'espace de recherche tandis que l'algorithme LAHC détenant une connaissance locale et exploitant le voisinage. La motivation derrière une telle hybridation des différents métaheuristiques est d'avoir des méthodes plus efficaces. Le but de l'algorithme combiné est de déterminer la nature d'implémentation (logiciel ou matériel) de chaque module. Avant d'opérer, nous avons les paramètres initiaux suivants (la longueur du vecteur d'adaptation Lfa , nombre maximal de générations, taille de la population, taux de croisement et taux de mutation). LAHC-AG a comme point de départ les entrées de LAHC. Nous générons au hasard une solution initiale $X0$, ensuite nous calculons $fitX0$, la fonction d'adaptation (Fitness) de $X0$, et

finalement, nous initialisons le vecteur d'adaptation HCL avec fitX0. Nous répétons le processus plusieurs fois pour ne prendre que les meilleures solutions qui vont former la population initiale de l'AG (Fig. 5). Après avoir construit la population initiale, nous passons à l'évaluation de la population en calculant les fonctions d'adaptation de chaque individu en utilisant la fonction objective. Une fois les coûts triés, nous passons aux opérateurs de l'AG, tels que la sélection, le croisement et la mutation. Nous avons choisi la méthode de la roulette pour la sélection des parents (Fig. 4).

```

Void selection_roulette(int p)
{ // Selects a chromosome from the population via roulette wheel selection
  int totfitness=0;
  int i;
  for ( i=p;i<Form1->Pop_size;i++)
  { totfitness=totfitness+Form1->HCL[i].fitness; }
  //generate a random number between 0 & total fitness count
  float random_num=random(totfitness);
  float Slice = (float)(random_num / totfitness);
  //go through the chromosomes adding up the fitness so far
  float FitnessSoFar = 0.0f;
  int n; i=p;n=0;
  while (i<=Form1->Pop_size && n==0)
  { float x=Form1->HCL[i].fitness;
    FitnessSoFar += x;
    float y=(FitnessSoFar/Form1->totfitness);
    //if the fitness so far > random number return the chromosome at this point
    if (y >= Slice)
    { Form1->individu_select=Form1->HCL[i].comb; n=1; }
    i++;
  }
}

```

Figure 4 : Fonction de Sélection

Comme le croisement n'est généralement pas appliqué à toutes les paires d'individus sélectionnés pour la reproduction. Une probabilité est générée de manière aléatoire et dont la valeur doit être inférieure ou égale au taux de croisement. Si le crossover n'est pas appliqué, les descendants sont produits simplement en reproduisant les parents. Dans notre travail, nous avons choisi d'utiliser le croisement à deux points, parce que dans plusieurs articles, il est cité que le croisement à 2 points donne de bons résultats pour les grandes populations. La mutation est appliquée à chaque enfant. Elle modifie de façon aléatoire chaque gène avec une faible probabilité (moins que le taux de mutation). La méthode de mutation que nous avons utilisée dans cette étude est la mutation uniforme. Nous procédons ensuite à la réévaluation de la nouvelle population. Les nouveaux coûts sont triés, les coûts précédents et suivants sont comparés. Les meilleurs individus sont ajoutés pour former la nouvelle génération. Cette méthode permet de s'assurer que les individus performants seront conservés, alors que les individus peu adaptés seront progressivement éliminés de la population. La condition d'arrêt de tous les algorithmes est effective s'il y a convergence vers une meilleure solution ou une atteinte des itérations maximales. Sinon, nous devons répéter les principales opérations de l'AG. Le fonctionnement global de l'approche est incarné par l'organigramme de la figure 5.

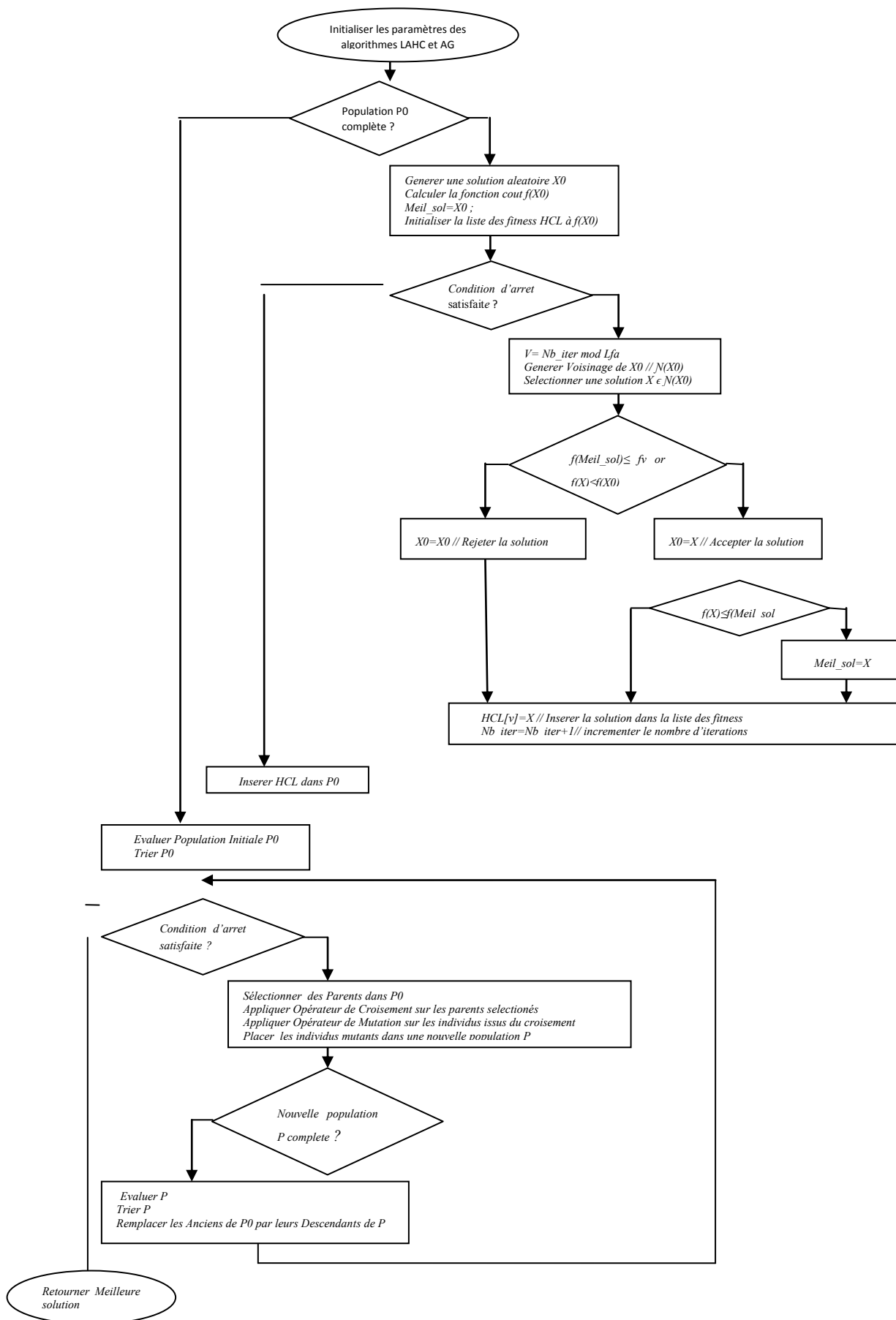


Figure 5 : Fonctionnement global de l'approche

5- RESULTATS ET DISCUSSIONS

A l'heure actuelle, il n'y a pas de jeu de tests largement partagé pour le problème du partitionnement M/L pour comparer l'exécution de différents algorithmes dans la littérature en raison des grandes différences dans les environnements Co-design. Aucune donnée originale n'a pu être obtenue, ainsi l'évaluation des algorithmes est basée en grande partie sur des résultats expérimentaux. Un DAG généré de manière aléatoire est une méthode commune, et les attributs sont assignés aux sommets et aux arcs. Pour tester leurs travaux, de nombreux auteurs Zhao[24], Li[25], Govil [28] , Yahyaoui [29] ,etc, ont utilisé plusieurs instances aléatoires avec différents noeuds et métriques, en fixant au départ certaines règles pour générer les paramètres du partitionnement, par exemple, le temps matériel d'un module T_i^{Hw} soit généré de manière aléatoire dans un intervalle bien déterminé ([1,100] ou [0,60]). Compte tenu de la rationalité des paramètres, ils ont proposé que le T_i^{Hw} créé au hasard, soit de l'ordre de 2 à 5 fois plus rapide que le T_i^{Sw} .

Pour nos expériences, nous avons utilisés l'outil TGFF pour créer plusieurs DAG possédant un nombre de nœuds spécifié, où chaque nœud est, associé à un module. Puis, nous avons défini un ensemble de métriques (T_i^{Sw} , T_i^{Hw} , ...) pour les différents modules (tableau 1). Ensuite, nous avons généré 10 DAG avec 10,20 30,40,50,60,70,80,90,100,120,150,180, et 200 nœuds respectivement. Enfin, nous précisons que nos algorithmes sont décrits dans le langage Borland c++ Builder 6.0 et exécutés sous le système d'exploitation Windows 7 sur Un PC – Lenovo de configuration (Intel(R) Core™ i5-3230M, 2.60 GHz, 2 cœur(s), 4 Go de RAM).

Tableau 1 : Paramètres de Partitionnement

Paramètres	Valeurs
Temps d'exécution matériel (T_i^{Hw})	[1..100]
Temps d'exécution logiciel (T_i^{Sw})	$3 * T_i^{Hw}$
Surface (A_i^{Hw})	[1..100]
Capacité Mémoire de données (DM_i^{Sw})	[1..20]
Capacité Mémoire d'instructions (CM_i^{Sw})	$100 + DM_i^{Sw}$
Coût du logiciel (S_i^{Sw})	$300 + DM_i^{Sw}$
Coût du matériel (S_i^{Sw})	$300 + A_i^{Hw}$
Coût de Communication ($C_{com_{ij}}$)	[0..100]

Afin de démontrer l'efficacité de l'algorithme proposé, trois algorithmes heuristiques : AG, LAHC et hybride LAHC-AG ont été développés et confrontés pour la comparaison. Nous avons testé le bon fonctionnement de l'algorithme combiné LAHC-AG afin d'optimiser la fonction objective du problème de partitionnement. En raison de l'effet des paramètres de contrôle sur le résultat, nous avons utilisés les mêmes paramètres de contrôle dans le processus de comparaison pour garantir la cohérence. La configuration de tous les algorithmes a été effectuée en tenant compte des valeurs de paramètres suivantes : Lfa = 20 ; le nombre d'itérations = 20 pour LAHC ; les générations maximales = 500 ; la taille de la population = 50 ; le taux de croisement = 0.5 ; le taux de mutation = 0,15 pour AG. Tous les algorithmes se terminent s'ils convergent vers une meilleure solution ou qu'ils atteignent les itérations maximales. Nous avons exécuté les programmes LAHC, AG et LAHC-AG séparément avec les mêmes paramètres de contrôle. Pour les tester, nous avons pris les pondérations $k_1 = 1$, $k_2 = 1$, $k_3 = 0$, $k_4 = 0$ et $k_5 = 1$ (voir fig. 5) ; c'est-à-dire :

$$Objfct = T^{Sw} + T^{Hw} + A^{Hw} \quad (9)$$

Il est à noter que nous avons subdivisé à dessein la métrique du temps d'exécution en temps d'exécution du matériel et temps d'exécution du logiciel dans le but d'introduire une certaine flexibilité chez le concepteur : s'il souhaite favoriser l'implémentation du logiciel ou du matériel en prenant en charge la pondération de chaque type de mise en œuvre de module. Pour un DAG = 10, les trois algorithmes donnent le même résultat (configuration= « 1111101001 » de fitness=811, c'est-à-dire trois modules seront réalisés en logiciel, et les sept autres modules seront implémentés en matériel, la seule différence réside dans le temps de recherche. Le tableau 2 affiche des détails sur le déroulement des 3 algorithmes.

Tableau 2 : Résultats du partitionnement pour 10 modules

Méthodes Itérations	LAHC		AG		Algorithme Hybride	
	Solution	Fitness	Solution	Fitness	Solution	Fitness
Solution Initiale	1010101010	1248	1010101010	1248	1010101010	1248
Iteration1	1110101000	1073	1101101000	930	1111101001	811
Iteration2	1111101000	908	1111101011	814	1111101001	811
Iteration3	1111101001	811	1111101011	814	1111101001	811
Iteration4	1111101001	811	1111101001	811	1111101001	811
Iteration5	1111101001	811	1111101001	811	1111101001	811
Iteration6	1111101001	811	1111101001	811	1111101001	811
Iteration7	1111101001	811	1111101001	811	1111101001	811

La colonne de LAHC montre l'évolution des solutions insérées dans le vecteur d'adaptation. Par contre, pour les Algorithmes AG et Hybride, leurs colonnes respectives affichent la meilleure solution pour chaque nouvelle génération. Ainsi, les trois algorithmes sont initialisés avec la même solution initiale $X_0 = \langle 1010101010 \rangle$ générée aléatoirement (fitness = 1248), et nous sommes limités seulement à la 7ème itération car les 3 algorithmes ont atteint la solution optimale citée précédemment. Nous signalons que cette solution est le résultat optimal (parmi les 1024 configurations possibles) obtenu par la méthode exacte que nous avons aussi développé pour comparer ces résultats. LAHC, après deux itérations, trouve la solution. Trois générations ont suffi pour AG pour qu'il trouve la même solution. Tandis que pour l'algorithme hybride, la solution est déjà trouvée par LAHC, donc, elle fait partie de la population initiale P_0 de AG, c'est pourquoi, la convergence est directe vers cette solution.

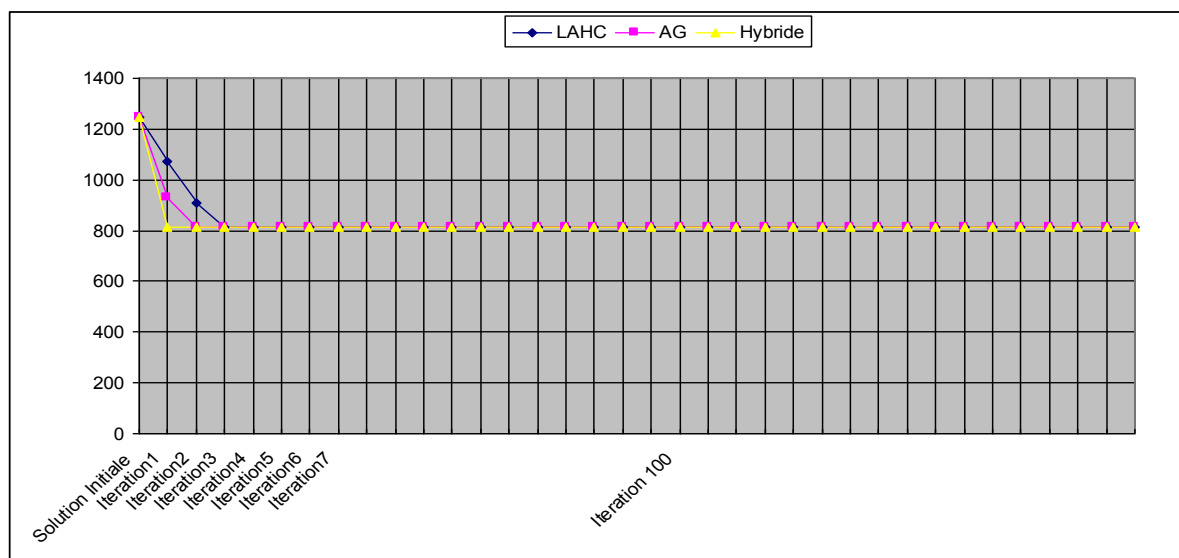


Figure 6 : Convergence des 3 algorithmes vers la même configuration

La figure 6 montre clairement la convergence rapide de l'algorithme hybride pour le cas de 10 modules. Nous généralisons l'expérimentation à des nombres de modules quelconques inclus dans [10,200]. Le tableau 3 synthétise les résultats générés par les trois algorithmes. D'après le tableau 3 et la figure 7, nous pouvons déduire que la fiabilité de notre algorithme combiné LAHC-GA est supérieure aux algorithmes GA et LAHC pris séparément.

Tableau 3 : Résultats de partitionnement M/L

Modules	LAHC	AG	LAHC-AG
10	811	811	811
20	1458	1458	1458
30	2159	2159	2159
40	3081	3083	3081

50	3940	3946	3940
60	4995	5041	4995
70	5852	5860	5813
80	6411	6542	6394
90	7920	7813	7658
100	9420	9152	8926
120	11092	11209	10920
150	14050	14171	13987
180	18490	17435	17068
200	20836	20263	19418

Lorsque la taille de la population est supérieure à 70, il est possible de noter que le LAHC-GA était légèrement supérieur à l'AG et LAHC séparément (les meilleures solutions sont en gras dans le tableau 3). C'est un résultat intéressant, puisque LAHC est un nouveau méta heuristique et c'est la première fois qu'elle est combinée avec l'algorithme GA, du moins à notre connaissance. L'algorithme combiné a fourni une solution améliorée et presque optimale.

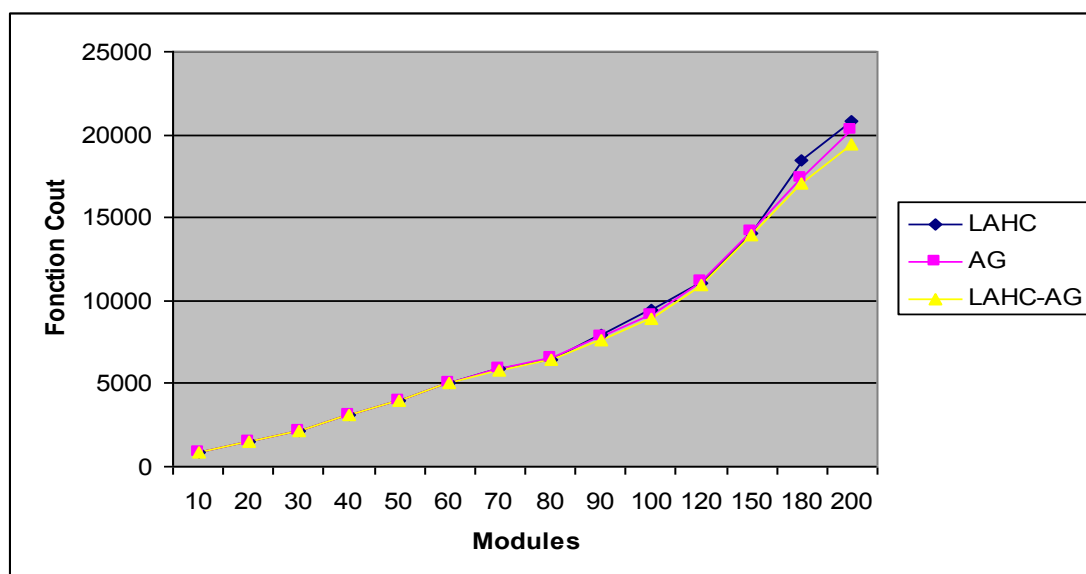


Figure 7 : Comparaison des 3 algorithmes

6. CONCLUSION

De nombreuses méthodes et algorithmes ont abordé le problème du partitionnement M/L sans fournir de solutions satisfaisantes ; ceci est dû à plusieurs facteurs : l'évolution de la conception, les caractéristiques des composants et la complexité des applications et des architectures. Dans ce contexte, nous avons proposé un algorithme de partitionnement M/L combiné basé sur LAHC-AG pour déterminer le partitionnement optimal. L'algorithme LAHC-AG combine la capacité de recherche globale de l'algorithme génétique et la capacité de recherche partielle de l'algorithme LAHC. Par rapport au LAHC et à l'AG pris séparément, l'algorithme proposé fournit de meilleurs résultats. Au mieux de nos connaissances, la combinaison LAHC-AG est nouvelle et relance l'optimisation du problème de partitionnement M/L, pierre angulaire du développement embarqué.

REFERENCES

- [1] S. Ha, J. Teich, C. Haubelt, M. Glaß, T. Mitra, R. Dömer, P. Eles, A. Shrivastava, A. Gerstlauer, and S. S. Bhattachary, 2017, Introduction to Hardware/Software Co design, Springer Science+Business Media, S. Ha, J. Teich (eds.), Handbook of Hardware/Software Codesign.
- [2] G. Bosman, 2005, A Survey of Co-Design Ideas and Methodologies, Master's Thesis. Vrije University, Amsterdam.
- [3] I. Mhadhbi, S. Ben Othman, and S. Ben Saoud, 2016, An Efficient Technique for Hardware/Software Partitioning Process in Co design, Hindawi Publishing Corporation Scientific Programming, Article ID 682765.

- [4] S. H. Baranga and A. Szekeres, 2009, Software/Hardware Partitioner, Roedunet International Conference, pp. 252-257 (ISBN 978-1-4244-7335-9)
- [5] W. Jigang, T. Srikanthan, and G. Chen, 2010, Algorithmic aspects of hardware/software partitioning: 1D search algorithms, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Transactions. on Computers, vol. 59, no. 4, pp. 532-544.
- [6] E. K. Burke and Y. Bykov, 2012, The late acceptance hill-climbing heuristic, Technical Report CSM-192, University of Stirling.
- [7] M. Riabi, Y. Manai, and J. Haggege, 2015, Hardware/Software partitioning approach for embedded system design based on genetic algorithm, International Journal of Scientific Research & Engineering Technology, vol. 3, issue 3, pp. 20-25.
- [8] S. Edwards, L. Lavagno, E. A. Lee, and A. Sangiovanni-Vincentelli, 1997, Design of embedded systems: Formal models, validation, and synthesis, Proceeding of the institute of Electrical and Electronics Engineers, vol. 85, n3, pp. 366-390.
- [9] B. Mei, P. Schaumont, and S. Vernalde, 2000, A hardware-software partitioning and scheduling algorithm for dynamically reconfigurable embedded systems, In Proceedings of ProRISC, Citeseer, pp. 405-411.
- [10] J. Wu, T. Srikanthan, and C. Yan, 2008, Algorithmic aspects for power-efficient hardware/software partitioning, Math Comput Simul 79(4), pp. 1204-1215
- [11] C. Blum, J. Puchinger, G. Raidl, and A. Roli, 2011, Hybrid metaheuristics in combinatorial optimization: A survey, Applied Soft Computing, vol: 11, pp. 4135-4151.
- [12] W. Jigang, B. Chang, and T. Srikanthan, 2009, A hybrid branch and- bound strategy for hardware/software partitioning, In Proceedings of the 8th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS '09), pp. 641-644.
- [13] S. Banerjee, E. Bozorgzadeh, and N. D. Dutt, 2006, Integration physical constraints in hw-sw partitioning for architectures with partial dynamic reconfiguration, IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, vol. 14, no. 11, pp. 1189 -1202.
- [14] J. Wu and T. Srikanthan, 2006, Low-complex dynamic programming algorithm for hardware/software partitioning, Information Processing Letters, vol. 98, no. 2, pp. 41-46.
- [15] S. Dimassi, M. Jemai, B. Ouni and A. Mtibaa, 2015, Meta-heuristics: for the problem of partitioning Hardware/Software, Conference Paper, DOI : 10.1109/WSWAN.2015.7210339
- [16] W. Shi, J. Wu, S.K. Lam, and T. Srikanthan, 2016, Algorithms for bi-objective multiple-choice hardware/software partitioning, Computers and Electrical Engineering, pp. 1 -16.
- [17] I. Boussaïd, J. Lepagnot, and P. Siarry, 2013, A Survey on Optimization Metaheuristics, Information Sciences, Vol.237, pp.82-117.
- [18] E.-G.Talbi, 2009, Metaheuristics : From Design to Implementation, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [19] M. Jemai , S. Dimassi, B. Ouni, and A. Mtibaa, 2017, A Metaheuristic based on the tabu search for hardware-software partitioning, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, <http://journals.tubitak.gov.tr/elektrik/>
- [20] R. Ernst, J. Henkel, and T. Benner, 2002, Hardware-software cosynthesis for microcontrollers, IEEE Design and Test of Computers, vol. 10, no. 4, pp. 425-449.
- [21] J. Dai, H. Han, Q. Hu, and M. Liu, 2016, Discrete particle swarm optimization approach for cost sensitive attribute reduction, Knowledge Based System, vol.102. pp.116-126
- [22] G. Raidl, 2015, Decomposition based hybrid Metaheuristics, European Journal of Operational Research, vol. 244. pp. 66-76
- [23] I. Dumitrescu and T. Stützle, 2003, Combinations of local search and exact algorithms, In EvoWorkshops 2003, pages 211223.
- [24] X. Zhao, H. Zhang, Y. Jiang, S. Song, X. Jiao, and M. Gu, 2013, An Effective Heuristic-Based Approach for Partitioning, Journal of Applied Mathematics, Volume 2013, Article ID 138037, 8 pages
- [25] W. Li, L. Li, J. Sun, Z. Lv and F. Guan, 2014, Hardware/software partitioning of combination of clustering algorithm and genetic algorithm, International journal of control and automation, vol. 7, no. 1, pp. 347-356, <http://dx.doi.org/10.14257/ijca.2014.7.1.31>
- [26] M. Jemai, S. Dimassi, B. Ouni, and A. Mtibaa, 2015, Combined Partitioning Hardware-Software Algorithms, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 119 – No.4.
- [27] Y. Peng, M. Lin, and J. Yang, 2005, Hardware-software partitioning research based on resource constraint, Journal of Circuits and Systems, vol. 10, no. 3, pp. 80-84, Chinese.
- [28] N. Govil, and S. R. Chowdhury, 2015, A High Speed Metaheuristic Algorithmic Approach to Hardware Software Partitioning for Low-cost SoCs, International Symposium on Rapid System Prototyping (RSP).
- [29] K. Yahyaoui, 2017, Partitioning And Scheduling Resolution Problems By Bees Mating Strategy In Dres' Systems, International Journal of Computing, 16(2), pp. 97-105.

Elaboration of AlSi13 Casting Alloys modified using Directional Solidification Processing

Elaboration de l'alliage AlSi13 modifié et solidifié unidirectionnellement

Khadouja Ghedjati^{1,4*}, Eric Fleury³, Ouanassa Guellati^{2,4} & Youcef Samih³

⁽¹⁾ *Laboratoire des Systèmes et des Matériaux Avancés (LASMA), Université Annaba, Fac. Sci, Dept. Physiue, 23000, BP 12, Annaba, Algérie.*

⁽²⁾ *Laboratoire d'Etude et de Recherche des Etats Condensés (LEREC), Université Annaba, Fac. Sci, Dept. Physiq, 23000, BP 12, Annaba, Algérie*

⁽³⁾ *Laboratoire d'Etude des Microstructures et Mécanique des Matériaux (LEM3), CNRS, Université de Lorraine-Metz ile de Saulcy, 57000Metz, France.*

⁽⁴⁾ *Université Me Cherif Mesaadia, Souk Ahras, 41000, Souk Ahras, Algerie.*

Soumis le : 02/10/2017

Révisé le : 13/06/2018

Accepté le : 24/06/2018

ملخص

لتحسين الخصائص إن الخصائص الميكانيكية لسبائك AlSi13 ترتبط بالأبعاد والشكل وتوزيع Si eutectique وكذلك بكمية Si الأولى الموجودة في البنية الداخلية للمادة. عدة معالجات وطرق مقترحة كالتغيير. في هذا العمل قمنا بدراسة مفعول التغيير بنسبة 1% و 2% من المعدل المركب من 40% NaCl+45%NaF+15%KCl مدموج بالترسيخ السريع لسبائك AlSi13 بتقنية بريدج مان. وبذلك لاحظنا انخفاض المسافة بين القغصن (شجيري ثانوي) وهذا خاصة بالنسبة 2% من المعدل عند سرعة السحب المنخفضة. كما لوحظت أن اتجاهات القغصنات تفضل اتجاه السحب عندما تكون السرعات منخفضة أما الصلادة HB ومقاومة الهشاشة فهي أحسن.

الكلمات المفتاحية: AlSi13 - Si eutectique -تقنية بريدج مان -السليوم الأكتينيكي

Abstract

In order to improve the mechanical properties of Al-Si13 alloys various treatments and procedures are recommended such as modification treatment of the molten alloy.

In this work, the effects of the modification of the alloy composition owing to the addition of 1 wt.% and 2 wt.% modifier composed of 40 wt.% NaCl and 45 wt.% NaF and 15 wt.% KCl, combined with the application of unidirectional solidification by means of the Bridgman type were studied on the Al-Si13alloy. Microstructural analyses revealed a decrease in the interdendritic spacing(SDAS), in particular owing 2% of the modifier prepared with a reduced pulling traction. The dendrites were preferably oriented along the pulling velocity for fairly low pulling velocity (500 μm/s). These microstructural modifications enabled an increase of both the hardness (HB) values and the impact toughness.

Key words: AlSi13 alloy, Modification treatment, Directionally solidification, Bridgman technique, Silicon eutectic.

Résumé

Afin d'améliorer les propriétés mécaniques des alliages AlSi13 divers traitements et procédures sont préconisés tels que la modification.

Dans ce travail, les effets de la modification avec 1 wt.% et 2 wt.% d'un modificateur composé de 40% NaCl, 45% NaF et 15% KCl combiné à une solidification unidirectionnelle de type Bridgman sur un alliage AlSi13 ont été étudiés. L'analyse microstructurale a révélé une diminution de la distance interdendritique (SDAS) notamment avec 2 wt.% du modificateur et une vitesse réduite du tir (500 μm/s). Les dendrites sont orientées préférentiellement le long de la direction de tir pour des vitesses de traction assez faibles. Par contre, les valeurs de dureté (HB) et de résilience des échantillons solidifiés se sont accrues.

Mot clé: AlSi13, Modification, solidification unidirectionnelle, technique de Bridgman, silicium eutectique.

* corresponding author ghedjati@ymail.com

1. Introduction

Aluminum and its various alloys, particularly those containing silicon as a major constituent element, are currently experiencing considerable growth, which has resulted in a high degree of reliability in a wide range of applications, in particular in the fields of aerospace and transportation. Thanks to their excellent weight-to-resistance ratio, their ease of shaping and their good resistance to corrosion, aluminum-silicon (Al-Si) alloys constitute an important class of materials used for the manufacture of engine parts and cylinder heads [1-2]. Despite these advantages, numerous studies have shown that these alloys when elaborated by casting process are sensitive to defects, which strongly affect the metallurgical quality of the product and consequently the mechanical behavior especially the resistance to fatigue [3-4]. These defects of various natures, which depend to a large extent upon the chemical composition (alloying elements) but also on the elaboration conditions (melting, liquid temperature treatment, modification) and solidification, have a direct impact on the microstructure. Particularly, the spacing of the secondary dendrite arms (SDAS), the porosity, the presence of oxide films, the size and morphology of Si phase in the eutectic, and the shape as well as the distribution of intermetallic compounds and micro-segregations, which are among the most important factors that must be controlled in order to deliver sound parts conforming to the required quality [5-6].

In order to optimize the mechanical characteristics of the parts, various treatments and casting techniques are currently used such as modification treatment of the molten alloy and directional solidification [7-9]. On one hand, these modifications enable a reshaping of the eutectic silicon from acicular to fibrous by adding of elements such as sodium, strontium, etc., to suppress the polyhedral plates of the primary silicon and also to reduce the macro-shrinkage into micro-shrinkage that is less harmful from the mechanical property standpoint [8]. On the other hand, the size of the grains, the volume fraction of micro porosities, the inclusions and the formation of the various intermetallic phases are directly related to the cooling rates that influence the morphology of intermetallics, too. It is now acknowledged that the interdendritic spacing, size of silicon phase and eutectic morphology have positive effects on the properties of the alloy while the volume fraction of porosities and intermetallics, P-AlFeSi phase have deleterious effects [10-12].

This study was undertaken to examine these questions, and this article presents the results of two combined effects of modification treatment of the molten alloy by addition of a salt and processing condition on the microstructure and mechanical properties of a unidirectionally solidified Al-Si 13 alloy. The modification of the Al-Si13 alloy composition was examined by addition of Na element in the introduced in the form of salt introduced into the melt at different concentrations (1 and 2%). The processing condition was the pulling traction velocity during solidification by using the Bridgman technique and particularly the spacing of the secondary dendritic arms (SDAS).

2. Experimental Procedure

We used as starting materials standard ingots of the eutectic Al-Si13 alloy obtained from the National Company for Industrial Vehicles (NSIVGroup) in Algeria. The chemical composition of this alloy according to NFA57-702 is given in Table 1.

The ingots were elaborated in an electric furnace with a removable graphite crucible resistor. The alloy was first modified by means of addition of different concentrations (1% and 2%) of a salt in the form of flux (40% NaCl, 45% NaF and 15% KCl) [11]. The salt was prepared and dried in an oven then introduced at the surface of the bath at a temperature of 730 °C. After 10 minutes, a scrubbing operation was carried out and the metal, whose temperature was controlled thoroughly by a thermocouple, was poured at a temperature of 720 °C. The ingots obtained are 120 mm in length and 180 mm in diameter.

The alloys were then re-melted and unidirectionally solidified. For that purpose, the specimens (180 mm in diameter and 120 mm in length) were sealed in quartz tubes and placed in the furnace of a vertical Bridgman directional solidification apparatus [12] The samples were heated for 15 min at 850 °C before being moved downward at a constant traction rate of either 500 or 4000 $\mu\text{m/s}$ into the cooled water reservoir. A fine Pt-Pt10%Rh thermocouple protected by alumina sheaths embedded in the furnace was used to measure the temperature gradient, which was varied from 10 to 14 °C/min.

For microstructural analyses, the longitudinal sections of the samples were polished and etched with a 2.5% HCl–1.5% HNO₃–1% HF reagent for 10 to 30 s [5]. The specimens were deep etched by suspending the polished area in an ultrasonic bath with the etchant for 10 min. Values for the SDAS

were obtained from averaging a minimum of 10 observations by means of a JEOL 5800LV secondary electron microscope. Brinell hardness (HB) measurements were carried out on selected areas of the longitudinal sections using a hardness tester and the values were averaged on a minimum of 10 measurements. Charpy tests were performed 10.8 x 8.2 mm² samples for evaluation of the fracture energy.

3. Results and Discussion

3.1. Influence of the modification on the microstructure of AlSi13

The microstructures of the sections of the as-cast and un-modified alloys prepared in sand and metal molds are shown in Figure 1, while those of the modified and directional solidified alloys are shown in Figures 2 and 3. Figure 1 reveals optical micrographs showing longitudinal section of Al-Si13 alloy: (a) without modification cast in sand mold, (b) cast in metal mold, (c) Al-Si13 alloy modified with addition of 1% (NaCl+NaF+KCl) in sand mold and (d) Al-Si13 modified with addition of 2% (NaCl+NaF+KCl) in sand mold. Figure 2 reveals SEM micrographs showing the structural refinement obtained by modification depending to the salt percentage: (a) 1% salt with $v = 500 \mu\text{m/s}$; (b) and (c) 2% salt with $v = 500 \mu\text{m/s}$. Figure 3 shows optical micrographs of longitudinal section of Al-Si13 alloy without modification obtained after unidirectional solidification: (a) $v = 500 \mu\text{m/s}$, (b) $v = 4000 \mu\text{m/s}$.

These micrographics reveal for all conditions the usual structure of the Al-Si13 alloy consisting of the solid solution $\alpha\text{-Al}$, an acicular, lamellar or globular ($\alpha_{\text{Al}}+\beta_{\text{Si}}$) eutectic depending on whether the alloys have been modified or not cast in a metal or sand mold, and polyhedral crystals of the primary silicon phase characteristic of the silicon containing alloys.

In fact, the four structures shown in Figure 1 exhibited an acicular structure containing dendrites of the solid solution α aluminum, ($\alpha_{\text{Al}}+\beta_{\text{Si}}$) in the form of rather large lamellae and platelets of primary Si, which is commonly observed for raw Al-Si alloy prepared by sand casting method when the alloy has not undergone any treatment either in the liquid (refining or modifying) or solid state. This type of microstructure is very unfavorable on a mechanical properties because it tends to result in hard and brittle alloys that are difficult to machine. For this reason, this kind of microstructure must undergo a modification treatment intended to refine the grains and/or to transform the morphology of the eutectic from granular to fibrous, and in addition aimed at suppressing the polyhedral plates of the primary silicon phase. In the Figure 1b, which shows the microstructure of an as-cast alloy obtained in a metal mold, the same constituents are noted, though much finer, but always containing smaller primary silicon grains due to an increase in the number of germs during crystallization resulting from a very rapid cooling, which limits the growth rate of dendrites and lamellae. Figures 1c and 1d show the structures of the alloy modified with respectively 1 and 2% addition of salt in the form of flux.

The examination of these structures revealed a significant morphological change in the eutectic silicon resulting from the salt addition in the molten Al-Si13 alloy. The initially squared silicon phase in the eutectic appeared in the form of fibers and finer than that of the metal mold casting as illustrated by the micrographs of the electron microscope in Figure 2. Thus, the structure 1c of the 1% modified alloy reveals a completely modified eutectic and the total absence of the polyhedral grains of the primary silicon phase. This phenomenon is in principle due to the poisoning of the sites used for the growth of this phase by owing to the covering by a (Na_2Si) during solidification, which makes it difficult to appear [13-14]. In Figure 1d, on the other hand, for the 2% modified alloy, we notice a structure that is always modified but with the presence of lines of sur-modification and defects (inclusions and porosities) characteristics of a sur-modified state. The appearance of this aspect in the microstructure is rather harmful because it greatly affects the metallurgical quality of the alloy by the reduction in particular of the sealing (gassing phenomenon) of the parts and the reduction of the values of the mechanical characteristics.

Figures 3a and 3b shows the structures of the alloy directionally solidified at, respectively, two pulling velocities of 500 and 4000 $\mu\text{m/s}$ in the absence of modifier. The acicular structure consists of the AlSi eutectic preferably oriented along the pulling direction that develops along the heat flow under low pulling velocities (i.e., around 500 $\mu\text{m/s}$). For larger velocities (i.e., $v = 4000 \mu\text{m/s}$), the volume fraction of eutectic increased and was found to be finer.

Figure 4 reveals optical micrographs of longitudinal section of Al-Si13 alloy modified and obtained after unidirectional solidification: (a) Al-Si13 modified with 1% salt & $v = 500 \mu\text{m/s}$, (b) Al-Si13 modified with 1% salt & $v = 4000 \mu\text{m/s}$, (c) Al-Si13 modified with 2% salt & $v = 500 \mu\text{m/s}$ and (d) Al-Si13 modified with 2% salt & $v = 4000 \mu\text{m/s}$.

Figures 4c, 4d, 4e and 4f show the microstructures of the alloy containing 1% and 2% modifier produced by directionally solidification. Even during such processing condition, the microstructure of the alloys prepared with both pulling velocities of 500 and 4000 $\mu\text{m/s}$ preserved the modification of the microstructure characterized by the presence of a fibrous eutectic fibrous. For both alloys containing 1% and 2% modifier, the condition corresponding to the low pulling velocities provided a better orientation of the dendrites of the αAl phase, with the growth of the dendrites preferably oriented. For larger velocities, i.e., $v = 4000 \mu\text{m/s}$, the $\alpha\text{-Al}$ dendrites grew parallel to the cooling direction. The refinement of the microstructure can be illustrated by the interdendritic arm spacing.

Figure 5 reveals Influence of the % of modifier and the traction velocity on the SDAS. This Figure indicates that the measurements of the spacing between the secondary dendrites (SDAS) decreased as a function of the pulling velocity and that a finer microstructure can be achieved particularly in alloys containing 2% modifier. As the pulling velocities increased from 500 $\mu\text{m/s}$ to 4000 $\mu\text{m/s}$, the value of SDAS was respectively decreased from $28.32 \pm 0.72 \mu\text{m}$ to $27 \pm 1.6 \mu\text{m}$, for 1% salt, and from $16.42 \pm 0.25 \mu\text{m}$ to $8.92 \pm 0.81 \mu\text{m}$, for 2% salt. Apart from the dendrites described above, the microstructures of the alloy studied reveal the presence of the fibrous eutectic ($\alpha\text{Al} + \beta\text{Si}$) distributed between the dendrites of the αAl phase, which confirms the persistence of the modification effect even after reheating owing to the addition of a sodium-based modifier.

The micrographs also indicate the absence of primary silicon particles in the microstructure, which is confirmed by the X-ray diffraction analyses shown in figure 6. Figure 6 reveals the elementary chemical analysis by spectrometry. The decrease in the volume fraction occupied by the silicon phase before and after the addition of the modifier is also indicated.

3.2. Mechanical properties

3.2.1. Influence of the salt addition on the hardness

HB measurements were carried out on different regions along the longitudinal sections of the modified and unmodified samples (Fig.7). Figure 7 indicates the influence of the rate of modifier on the hardness. For alloys prepared by conventional casting in sand mold, the results revealed an increase in the hardness values for the alloy modified with 1 and 2% salt in comparison to the unmodified Al-Si13 alloy. The addition of the 1% NaCl+NaF+KCl salt resulted in a mark increase of the hardness, though further addition till 2% indicated a slight decrease. It is known that unmodified alloys exhibit a structure with an undesirable acicular morphology due to its fragility. It acts as a stress concentrator, which acts as a notch by reducing resistance, ductility and fatigue resistance. On the other hand, a well-modified structure in which the silicon phase becomes globular gives better properties. However, the presence of lines under modification and especially surmodification is detrimental to the mechanical behavior of the alloy due to the presence of defects (cavities) and inclusions in the grain boundary affects the metallurgical quality of these alloys [15,16].

3.2.2. Influence of the pulling rate on the hardness

The results show that the variation of the hardness with the pulling velocity is not straightforward. In 1% modified alloy, the hardness is the largest when the alloy is prepared without pulling traction (i.e., $v = 0 \mu\text{m/s}$). As the pulling traction increased ($v = 500 \mu\text{m/s}$), the hardness first decreased by about 12 % to increased till value of about $63.1 \pm 0.2 \text{ HB}$ for $v = 4000 \mu\text{m/s}$. For alloy modified with 2% salt, the variations are of a reduced range however the alloy prepared without pulling traction is the harder while the one prepared with $v = 4000 \mu\text{m/s}$ has an intermediate value. This increase as seen in

Figure 8 indicates the variation of the HB hardness for the un-modified and modified Al-Si13 alloy with the pulling rate. This figure is related not only to the modifying effect which gives fibrous morphology as mentioned above and in other works [17,18,19,20], but also at the applied cooling rates (pulling velocity), whose influence on the size of the grains, their morphology and those of the intermetallic phases and porosities is considerable [21]. This observation has been explained by the

microstructures presented (Fig. 1, 2), where the increase in the cooling rate has favored in particular the reduction of the interdendritic spacing and the reduction in the particle size of the eutectic.

3.2.3. Toughness

Charpy tests were carried out on various samples of Al-Si 13 alloy modified at 1% and 2% of salt. Figure 9 indicated that the Al-Si13 containing 1% salt displayed better toughness property than the alloy containing 2%. In addition, the highest value of the toughness was obtained for the alloy modified at 1% salt unidirectionally solidified at a pulling rate of 4000 $\mu\text{m/s}$. This demonstrates once again the beneficial impact of the refinement of the structure on the mechanical characteristics of these alloys.

4. Conclusion

Al-Si13 alloys were modified with addition of 1% and 2% salt composed of 40% NaCl, 45% NaF and 15% KCl. Samples were prepared by conventional cast methods in sand and steel mold as well as by directionally solidified solidification technique using two different pulling velocities, i.e., 500 and 4000 $\mu\text{m/s}$. The results of this investigation can be summarized as follow:

- 1 – The addition of NaCl-NaF-KCl salt induced a reduction of the interdendritic spacing distance (SDAS), in particular owing to 2% addition prepared under high pulling traction rate.
- 2 - The dendrites were found to be preferentially oriented along the pulling direction at low pulling velocities (500 $\mu\text{m/s}$).
- 3 – The preparation of the Al-Si13 alloys by unidirectionally solidification enabled a mark increase of the microhardness.
- 4 – The Al-Si13 alloys modified with 1% salt and prepared under unidirectionally solidification with the pulling velocity of 4000 $\mu\text{m/s}$ displayed a best combination of mechanical property in terms of hardness and toughness. These properties were explained by the beneficial impact of the operations of modifying the directed solidification of the modification on the refinement of the structure these Al-Si13 alloys.

Acknowledgements

The present work is financially supported by the doctoral scholarship grant of the Algerian-MHESR. The authors would like to acknowledge members of the LEM3 laboratory, especially Auriane Mandrelli, Jérôme Slowensky and Olivier Perroud for assistance in performing, optical microscopy, SEM analyses and XRD, respectively.

References

- [1] Kaufman G. J, 2000: Introduction to Aluminum Alloys and Tempers, ASM International.
- [2] Kaufman G.J., E.L. Rooy, 2004, Aluminum Alloy Castings; Properties, Processes and Applications, ASM International.
- [3] Kubo K., R.D. Pehlke, 1986, Porosity formation in solidifying castings, AFS Trans. 94 753–756.
- [4] Linder J., M. Axelsson, H. Nilsson, 2006, The influence of porosity on the fatigue life for sand and permanent mould cast aluminium, Int. J. Fatigue 28(12) 1752–1758.
- [5] Dahle A.K., Nogita K., McDonald S.D., Dinnis C., Lu L., 2005, Eutectic modification and microstructure development in Al-Si Alloys, Mat. Sci. and Eng. A. 413-414 243-248.
- [6] Ammar H.R., Samuel A.M., Samuel F.H., 2008, Effect of casting imperfections on the fatigue life of 319-F and A356-T6 Al-Si casting alloys, Mater. Sci. Eng. A. 473 (1–2) 65–75.
- [7] Wang Y., Liao H., Wu Y., Yang J., 2014, Effect of Si content on microstructure and mechanical properties of Al-Si-Mg alloys, Materials and Design 53 634–638
- [8] Hegde S., Prabhu K.N., 2008, Modification of eutectic silicon in Al-Si alloys, J. Mater. Sci. 243 3009-3027.
- [9] Pacz A., U.S. Patent No. 1,387,900 (February 13, 1920); A. Pacz, British Patent No. 158,827 (January 26, 1921).
- [10] Smith R.W., in: R.W. Smith (Eds.), 1967, Modification of Aluminum-Silicon Alloys, Proceedings of the Conference on 'The Solidification of Metals', Iron and Steel Institute, London, Brighton, December, , pp. 224–236.
- [11] R. Irrman, 1957, La fonderie d'Aluminium en sable et en coquille. Edition Dunod. PP 87-97
- [12] Ghedjati K., Fleury E., Hamani M.S., Benchiheb M., Bouacha K., Bolle B., 2015, Elaboration of AlSi10Mg casting alloys using directional solidification processing, Inter. J. of min. metal. and mat. 22 509-515.

- [13] Dahle, A. K.; Nogita, K., McDonald, S. D.; Dinnis C.; Lu L. 2005, Eutectic modification and microstructure development in Al-Si Alloys, *Materials Science and Engineering A* 413-414, , p. 243-248.
- [14] Liao H., Sun G.X., 2003, Mutual poisoning effect between Sr and B in Al-Si casting alloys, *Scripta Mater.* 48 1035–1039.
- [15] Lee C.D., 2007, Effects of microporosity on tensile properties of A356 aluminum alloy, *Mater. Sci. Eng. A.* 464 249–254.
- [16] Wang Q.G., Apelian D., Lados DA., 2001 ,Fatigue behavior of A356-T6 aluminum cast alloys. Part I. Effect of casting defects, *J. Light Met.* 1 73–84.
- [17] Wang Q.G., 2003, Microstructural effects on the tensile and fracture behavior of aluminum casting alloys A356/357, *Metall. Mater. Trans. A.* 34 2887–2899.
- [18] Shabestari S.G., Shahri F., 2004 Influence of modification, solidification conditions and heat treatment on the microstructure and mechanical properties of A356 aluminum alloy, *J. Mater. Sci.* 39 2023–2032.
- [19] Wang Q.G., Cáceres C.H., 1998 , The fracture mode in Al-Si-Mg casting alloys, *Mater. Sci. Eng. A.* 241(1–2) 72–82.
- [20] Ogris E., Wahlen A., Luchinger H., Uggowitzer P.J., 2002, On the silicon spheroidization in Al-Si alloys, *J. Light Met.* 2 263–269.
- [21] Granger D.A., Elliott R., 1988, Solidification of eutectic alloys: aluminum-silicon alloys. In: *Metals handbook* (9th Eds.) vol. 15. Warrendale (PA): ASM International, , pp. 159–181.

Table 1. Chemical composition of the Al-Si13 alloy (wt.%)

Fe	Si	Cu	Mg	Mn	Ni	Zn	Sn	Pb	Ti
≤ 0.07	11-13.5	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.3	≤ 0.05	≤ 0.15	≤ 0.05	≤ 0.1	≤ 0.15

Table 2. Results of quantification phases by DRX of the Al-Si12 alloy (wt.%) without salt, and with 1% and 2% salt addition.

Echantillon	Volume Al (at.%)	Volume Si (at.%)	Al (wt.%)	Si (wt.%)
AlSi_0% salt	79	21	81,5	18,5
AlSi13_1% salt	81	19	83	17
AlSi13_2% salt	84	16	86	14

Error of the order of + 5%

Integration in psi from 0 ° to 50 °

Figure captions

Figure. 1: Optical micrographs showing longitudinal section of Al-Si13 alloy: (a) without modification cast in sand mold, (b) cast in metal mold, (c) Al-Si13 alloy modified with addition of 1% (NaCl+NaF+KCl) in sand mold and (d) Al-Si13 modified with addition of 2% (NaCl+NaF+KCl) in sand mold.

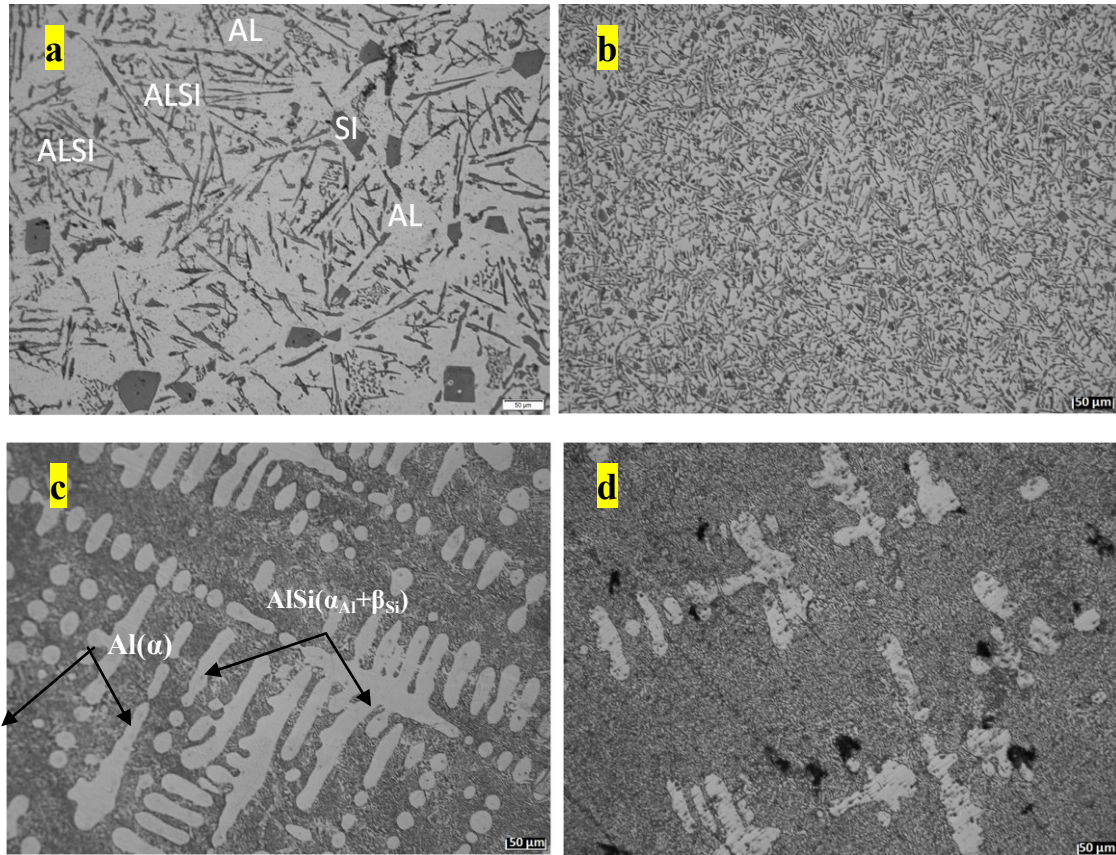


Figure. 2: SEM micrographs showing the structural refinement obtained by modification depending to the salt percentage: (a) 1% salt with $v = 500 \mu\text{m/s}$; (b) and(c) 2% salt with $v = 500 \mu\text{m/s}$.

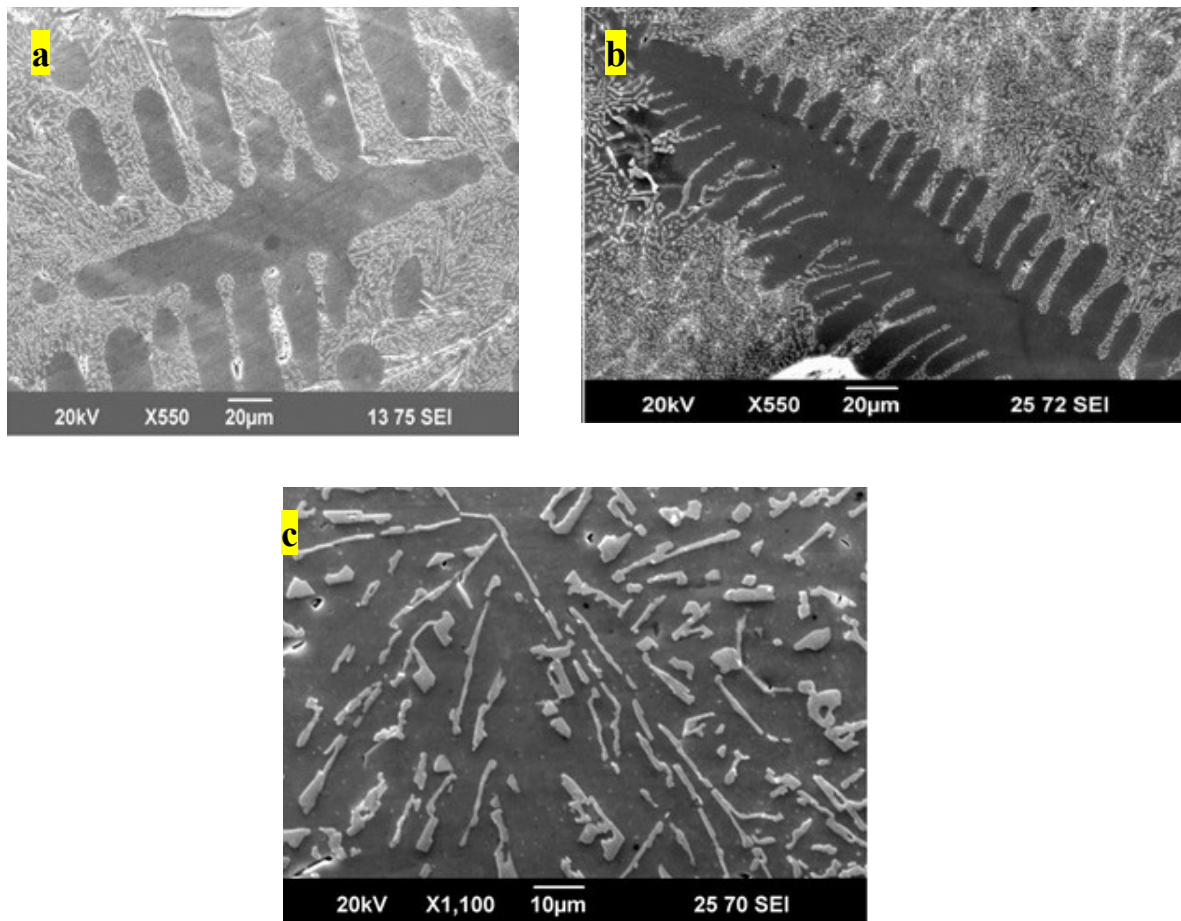


Figure. 3: Optical micrographs of longitudinal section of Al-Si13 alloy without modification obtained after unidirectional solidification: (a) $v = 500 \mu\text{m/s}$, (b) $v = 4000 \mu\text{m/s}$.

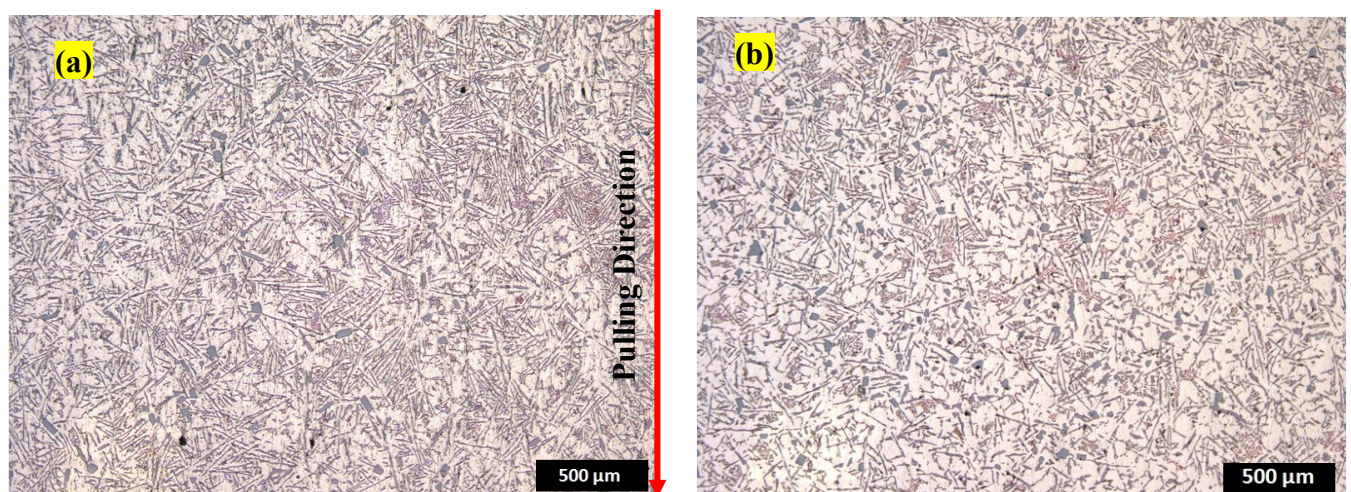


Figure. 4: Optical micrographs of longitudinal section of Al-Si13 alloy modified and obtained after unidirectional solidification: (a) Al-Si13 modified with 1% salt & $v = 500 \mu\text{m/s}$, (b) Al-Si13 modified with 1% salt & $v = 4000 \mu\text{m/s}$, (c) Al-Si13 modified with 2% salt & $v = 500 \mu\text{m/s}$ and (d) Al-Si13 modified with 2% salt & $v = 4000 \mu\text{m/s}$.

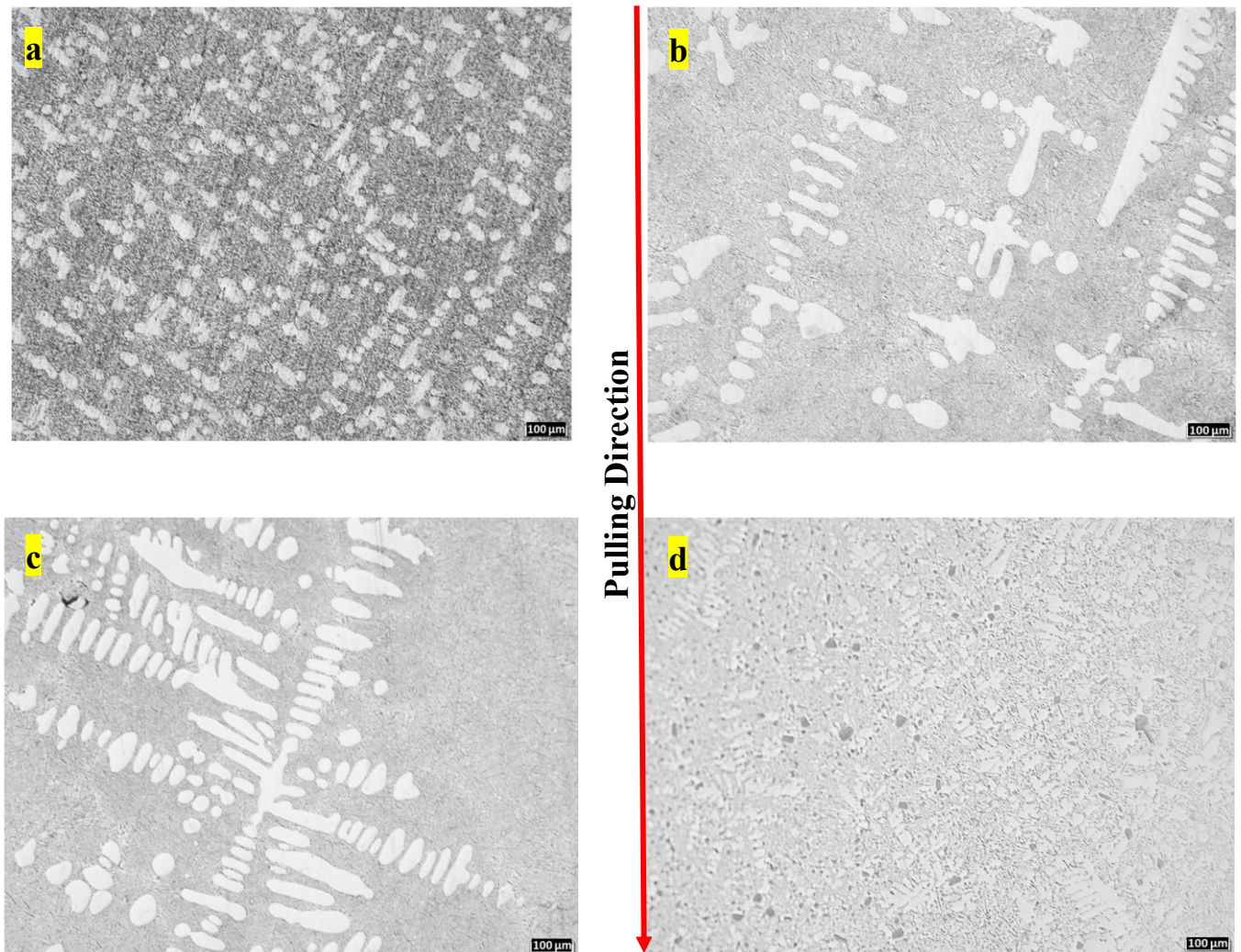


Figure 5: Influence of the % of modifier and the traction velocity on the SDAS.

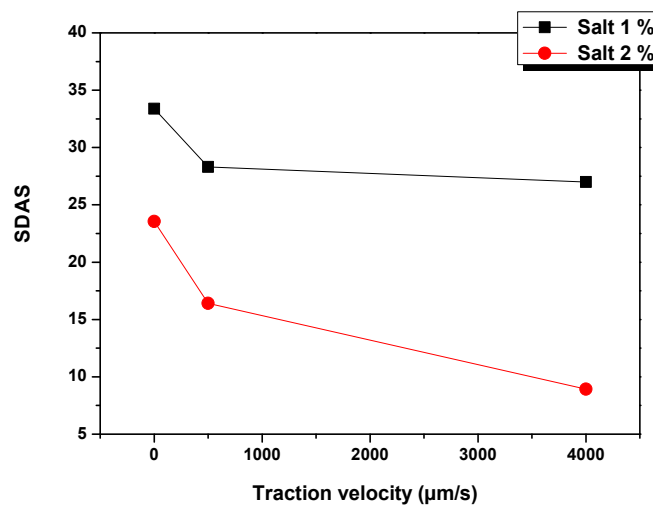


Figure 6: Elementary chemical analysis by spectrometry.

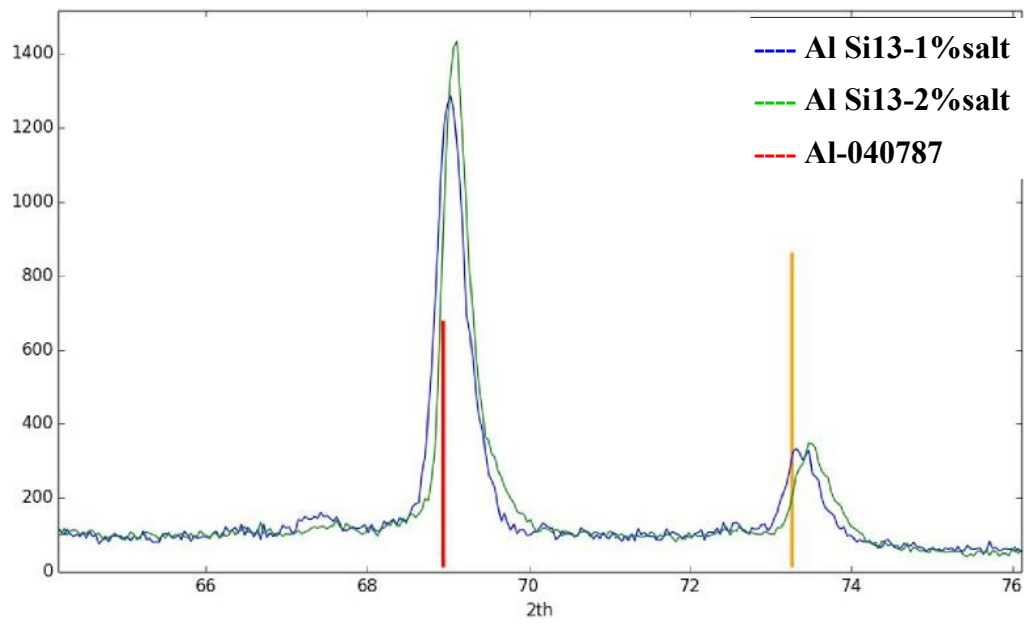


Figure 7: Influence of the rate of modifier on the hardness.

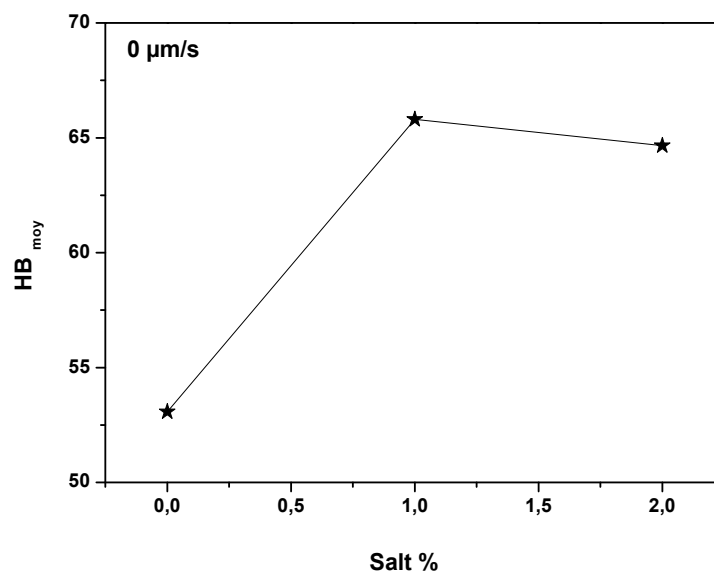


Figure 8: Variation of the HB hardness for the un-modified and modified Al-Si13 alloy with the pulling rate.

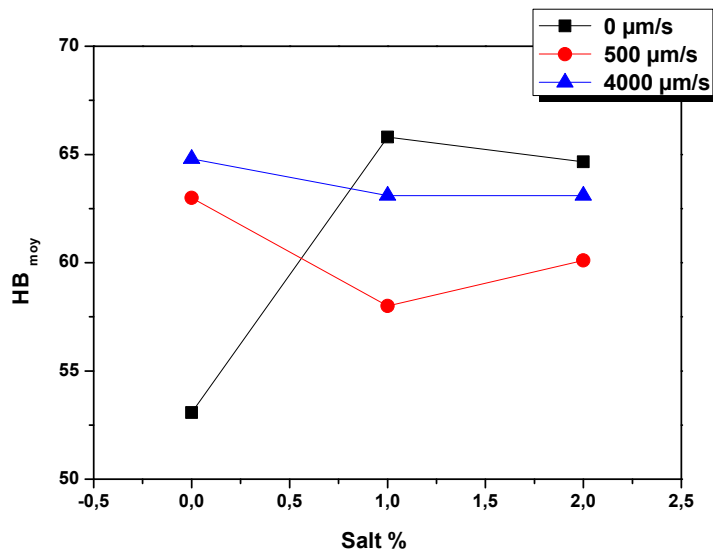
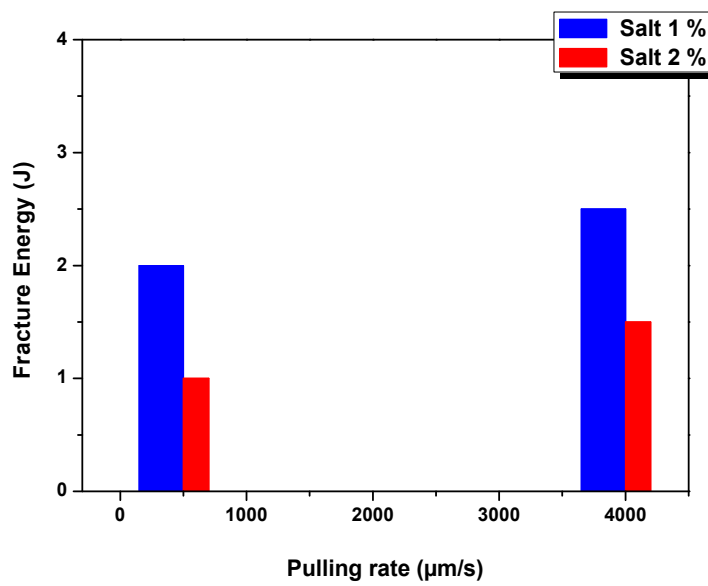


Figure. 9: Variation of the fracture energy measured by Charpy tests with the pulling rate for alloys prepared with different salt addition.



Réseau sur puce sans buffer pour les applications de codage vidéo : étude de cas H.264/AVC

Buffer-less Network-on-Chip for video encoding applications: case study H.264/AVC

Hichem Mayache^{*1,3}, Salah Toumi¹, El Bey Bourennane² & Atef Benhaoues¹

¹ LERICA Laboratory, University of Badji-Mokhtar, Po Box 12, Annaba, 23000, Algeria.

² LE2I Laboratory, University of Bourgogne, Dijon – France.

³ LABGET Laboratory, University of Larbi Tebessi, Tebessa, 12000, Algeria.

Soumis le : 14/12/2017

Révisé le : 09 /06/2018

Accepté le : 11/06/2018

ملخص:

برزت الشبكات على الرقاقة كحل للربط على رقاقة جديد قابل للتطوير، مرن وقابل لإعادة الاستخدام لتطبيقات النظام على رقاقة. مستوحاة من شبكات الكمبيوتر، فهي توفر حلا وسطا جيدا بين التكلفة والأداء. في هذا العمل، نقدم شبكة على رقاقة دون مخزن مؤقت لتطبيقات تشفير الفيديو. يستفيد العمل المقترح من المرونة وقابلية التوسع من أجل اقتراح حل اتصال أفضل لمشفرات الفيديو. الفكرة الرئيسية هي استخدام شبكة على رقاقة دون مخزن مؤقت لربط مكونات مشفر الفيديو H.264/AVC. يتم وصف الهندسة التركيبية المقترحة باستخدام لغة وصف الأجهزة على منصة FPGA فيرتكس-7-XC7V2000T. بعد ذلك، تتم مقارنة النتائج مع أعمال مماثلة باستخدام حلول الربط البيئي الأخرى ويظهر التنفيذ أن الهندسة التركيبية المقترحة تقدم أقصى تردد تشغيل أعلى بتكلفة مكونات منطقية أقل.

الكلمات المفتاحية: شبكة على رقاقة - النظام على رقاقة - تطبيق تشفير الفيديو - مشفر الفيديو - H.264 / AVC - لغة وصف الأجهزة.

Résumé :

Les réseaux sur puce ont émergé comme une solution d'interconnexion évolutive, flexible et réutilisable pour les applications des systèmes sur puce. Inspirés des réseaux informatiques, ils offrent un bon compromis entre le coût et la performance. Dans ce travail, nous présentons un réseau sur puce sans buffer pour les applications de codage vidéo. L'idée principale est d'utiliser un réseau sur puce sans buffer pour connecter les IPs composant l'encodeur vidéo H.264/AVC. L'architecture proposée est décrite en utilisant le langage de description matérielle sur une plateforme FPGA Virtex-7 XC7V2000T. Les résultats sont comparés à des travaux similaires utilisant d'autres solutions d'interconnexion et l'implémentation montre que l'architecture proposée offre une fréquence de fonctionnement maximale plus élevée avec une consommation en ressources logiques plus faible.

Mots clés : Réseaux sur puce – systèmes sur puce – application de codage vidéo – encodeur H.264/AVC.

Abstract:

Networks on chip have emerged as new scalable, flexible and reusable On-Chip Interconnect solution for System-on-Chip applications. Inspired from computer networks, they offer a good compromise between cost and performance. In this work, we present a Buffer-less Network-on-Chip for video encoding applications. The main idea is to use a buffer-less NoC to interconnect the IPs composing the H.264/AVC video encoder. The proposed architecture is described using Hardware Description Language onto Virtex-7 XC7V2000T FPGA platform. Thereafter, results are compared to similar works using other interconnect solutions and the implementation shows that the proposed architecture offers a higher maximum frequency operating with a lower logic cost.

Keywords: NoC, SoC, Video Encoder Application, H.264/AVC encoder.

* corresponding author : h.mayache@live.fr,

1. Introduction

The design process of digital systems has evolved drastically with the emergence of new technologies such as FPGA (Field Programmable Logic Array) to take a prominent place in the conception of embedded systems. These technologies offer hardware architectures as versatile as software, which is a good compromise between utilization flexibility and processing power. Such a compromise is even more suitable for embedded systems intended for different applications in various areas. Within this background, FPGA technology will make it possible to design and upgrade real-time computing systems, while optimizing hardware resources. Alongside, technological progress continues to increase the integration density of transistors in integrated circuits (ICs) owing to the growing complexity of applications and functionalities. This requires the development of high performance embedded systems that can satisfy recent computing requirements [1]. Furthermore, the desire to reduce the time-to-market puts more pressure on the designers to achieve new competitive products. Manifestly, shared-bus-based architectures have been considered for a long as the most attractive solution because of their low logic cost and implementation simplicity [2]. However, this solution failed to provide high performances with a large number of connected IPs (Intellectual Properties). The bandwidth of a bus is shared by all the connected IPs that makes it insufficient. Moreover, to connect a large number of IP cores, length of the bus should be important which implies significant power consumption. In addition, for such an architecture it is possible to make only one reading (or writing) operation at a time. All these limitations have led designers to provide alternatives. Out of this, Network-on-Chip (NoC) has emerged as a promising solution to overcome some of the bus-based architectures limitations [3] [4]. It solves integration complexity problems by providing scalable, reusable, robust and low power consumption on-chip communication solution with a larger bandwidth [5].

Similarly, the Network on Chip is composed of network links and routers (R). These latter are connected to processing elements (PEs) via a network interface (NIC). Each router has five ports for the four directions (east, west, south, and north) and the local PE. In traditional NoCs, each router is composed of Buffer, crossbar and arbiter, which leads to significant area, power and latency overheads. Obviously, the need of a high performance On-Chip communication system resides in the complexity of signal processing applications such as video compression standards: MPEG 2, MPEG 4, H.264 and many others [6] [7]. These standards have to satisfy requirements of real-time and very high definition systems, which make them more and more sophisticated. H.264/Advanced Video Coding is a video compression standard motion-compensation-based block-oriented used for video content: recording, compression, and distribution. Up to now, several H.264/AVC hardware implementation solutions have been proposed even they are not always well adapted for optimizing the functioning [8]. Some works [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] focused on different goals such as: power consumption, maximum frequency operating, data pipelining, parallelism etc... by proposing intra-coding and inter-coding blocks. These implementations often use a cascade interconnection, which is a real disadvantage for data parallelism, as some modules must be duplicated. Some authors have exploited similarity points between redundant blocks to reduce the FPGA cost by connecting the H.264/AVC cores through a network on chip [15]. Although such a solution turned out faster with equivalent cost, there remains an optimization margin in terms of logical resources. Moreover, the use of buffer-based network on chip to interconnect the H.264/AVC modules is not as effective as it might sound, because video coding systems require an on-chip interconnection that guarantees Quality of Service (QoS) and provide communication system well suited for video applications.

In this paper, we propose a new solution based on NoC architecture for video applications offering bandwidth guarantees such as point-to-point connection, but also the flexibility and the scalability of a network on chip. The main originality of our work is to adapt a network on chip through a circuit switching mechanism in order to reduce latency. In addition, this approach aims to ensure high operating frequency, optimize FPGA area utilization and reduce power consumption by removing the router buffers.

The remainder of the paper is structured as follows. Section 2 introduces briefly the fundamentals of networks on chip. In section 3, we will detail the principles of a video encoder and more precisely the case of the H.264/AVC standard. Subsequently we will examine the different hardware implementation approaches of the H.264/AVC. Section 4 presents the proposed buffer-less NoC adapted for video applications while detailing the contribution of this approach compared to other existing solutions. Synthesis results of the implementation on Xilinx Virtex-7 FPGA prototyping

platform are exposed and discussed in section 5. A comparison and an analysis between the proposed and previous works are also performed in this section. Finally, section 6 reviews the proposed work, gives the conclusion and future works.

2. Network on Chip

During the last decades, the integrated circuits development has been based on the principle of the reuse of previously designed intellectual property (IP) cores [16] [17]. This concept was intended to design higher performance systems-on-chip, with shorter time to market. Bus-based architecture has been considered for a long time as the most adapted interconnection solution for SoCs [18]. Unfortunately, this solution loses its usefulness with the increase of the connected IPs, which makes it unable to deal with the requirements of recent applications.

Performance, power consumption, latency and real-time constraints have forced designers to propose a new efficient on-chip interconnect solution. Therefore in the 2000s some authors developed a new paradigm baptized Network on Chip [3][4], inspired from computer network principles. Furthermore, it has been demonstrated by other works that for an important number of connected cores and large data flow, network-on-chip based systems achieve better performances compared to bus-based systems [19].

Network on chip is a non-centralized on-chip interconnection model made of: set of elements called nodes (routers) and wires to make the physical connection between the router and the intellectual properties (IPs) [20]. As IP cores are different and may be memories, processor elements (PEs) or CPUs they will have different communication protocols and the access to the network will be made through a block named network interface (NI). Network interface constitutes the boundary between calculation and communication; it enables to get the best of the reuse concept by standardizing flowing packets on the network (Fig. 1).

Since they emerged, networks on chip stand out by their wealth of configuration starting with the topology, which is the placement of routers on the network. Routers may be the same on the entire network when mapped on regular topology such as mesh 2D, mesh 3D, tree topology or may have differences in their ports if the topology used is irregular [21].

Globally, in generic architectures found in literatures, the elementary part of a NoC is the router. It is an entity having a number of input and output ports, with a crossbar that allows the route of incoming packets to reach their destination, and a specific port to connect the IP core. However, in more detail routers must perform several functionalities: routing, arbitration, switching, buffering and the flow control [21].

Originally, packets must travel on the network in a well-defined way; such functionality is known as the switching mechanism. Primarily, each packet is segmented in three main parts: the header, the payload and the tail. Header part includes destination and control information, the payload part composed of data to send to the destination IP core, and finally the tail part points the end of the packet. When performance guarantees are required for the connection, the necessary communication resources along the way are reserved from source to destination; this mechanism is called the circuit switching. On the other hand, the connection takes longer to be established. An alternative approach consists of sending the whole packet once the header flit is transmitted through storage and transmission variants: store and forward strategy, virtual cut through strategy and wormhole strategy [22] [23].

Otherwise, packets (or flits) displacement is defined by the flow control policy in a way to avoid deadlock situations or to optimize the communication by minimizing logic cost or reducing the latency. The flow control is usually distributed where decisions are taken at router level. It deals with choosing the right compromise when designing the NoC to foster one criterion among a set of performance metrics: resources management, low power consumption, high operating frequency etc.... defined as quality-of-service (QoS). Certainly, the flow control has been revolutionized by the virtual channel concept that led to overcome the deadlock. The originality of VCs can be summarized in sharing a physical channel by multiple channels with dedicated buffers separated logically [21] [23].

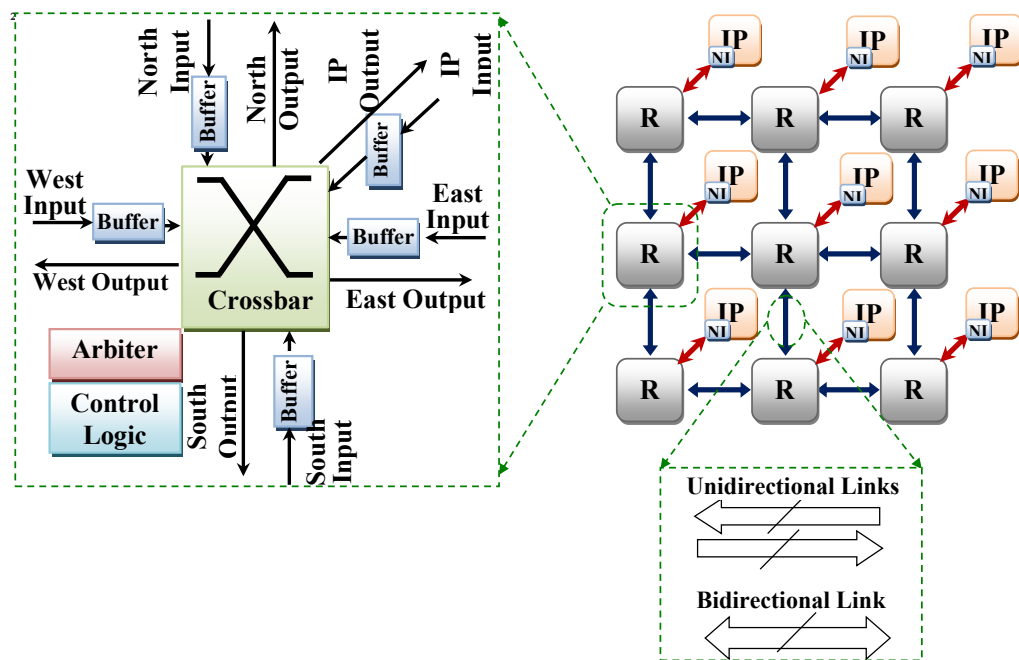


Figure 1: Architecture of Standard Mesh (3x3) Network on Chip

Packets on the network are often confronted to congestion, which imposes buffers in the router architecture to store data temporarily. Furthermore, the placement, the size and the number of buffers in the router affect the performance and the cost of the entire network. Storage policies are different amongst: a common buffer for all the ports to minimize the logic cost at the expense of operating speed, buffers for each input port which is the most usual solution or a less effective which dedicates buffer for each output port [21] [23].

The routing algorithm is the logic functionality that selects the optimal output port corresponding to the destination address located in the header for each incoming packet. Similarly, to computer networks, there is a wide variety of routing algorithms classified into adaptive or deterministic routing. XY and source routing are the most known and used in the deterministic routing class where the packets having the same destination follow identical track. On the other hand, there is an adaptive variant of XY routing and many other routing where the taken path for an identical destination is not necessarily the same [23][24].

Once the routing unit calculates the output port, multiple inputs may request the same output port concurrently; here fore, there is great need for arbitration feature to regulate the assignment of output ports. Many arbitration possibilities are available: centralized arbitration or distributed arbitration [23] [25].

In practical, the evaluation of NoC-based system performances is often known after hardware implementation as it shows how well the communication can be predictable providing service guarantees. For instance, video applications operating in real time need more performance guaranties rather than a prediction about the behavior of the on-chip interconnection. Therefore, the type of networks utilized in such applications is guaranteed service (GS NoCs). For other applications whether there is no constraints and just the accomplishment of the communication is required a best effort network (BE NoC) makes the deal [25].

3. Video coding applications

Nowadays video coding application is one of the areas requiring high performance on-chip communication system with a very high bit rate, especially that such applications may operate in: ultra-high definition television (UHDTV), digital video broadcasting including all its approaches (DVB-T, ©UBMA - 2018

DVB-C, and DVB-HS etc.), high definition video surveillance or high definition video-gaming [26] [27]. To meet these requirements, researchers and engineers have presented solutions to implement codec's or to optimize the various processing modules in codec's [28]. Compression begins by the intra-coding to remove spatial redundancy and/or the inter-coding to remove temporal redundancy, followed by a transformation and quantification to concentrate the video signal energy in defined regions, and ends with the entropy encoding [29].

Given the high frame rate in high definition video, motion estimation aims to exploit the similarity between two consecutive frames in order to reduce temporal redundancy. Previous video coding standards were based on Fixed Block-Size Motion Estimation (FBSME), which had the disadvantage of spending the same effort to estimate the motion of static or dynamic objects. Furthermore, such an approach gives poor performances in the case of two objects moving in two different directions in a block. On the other hand, H.264/AVC encoder is based on Variable Block-Size Motion Estimation (VBSME), which enables to have higher efficiency by using larger bloc size for static objects and smaller bloc size for the moving ones. H.264/AVC variable block size motion estimation is performed by: Integer Motion Estimation (IME) and Frame Motion Estimation (FME). Firstly, IME calculates the Motion Vector Predictor (MVP) in the current MB by performing the mean of MVs of the left, the top, and the right-top (or left-top) MBs. The center point of the search window is pointed by MVP. Thereafter, a motion search is carried out within the search window to find Integer Motion Vector (IMV) for each of the 41 blocks. Afterwards, FME interpolates half-pixels by six-tap filter and then quarter-pixels by two-tap filter, then carries out motion search around the refinement center and further refines IMVs into Fractional Motion Vectors (FMVs) of quarter-pixel precision. Fractional Motion Estimation reduces the bit-rate while improving the video quality. However, motion estimation complexity makes it costly in computing time, hence the need to use a hardware accelerator for FME [27]. After IME and FME, Motion Compensation constitutes the next stage in H.264/AVC inter-frame prediction. Motion compensation also stands out by high computational complexity. Recent designs for motion compensation try to get around that and focus on increasing performance while reducing memory traffic.

The reverse chain contains three inverse modules (the entropy decoding, the inverse transformation and quantification and the decoding module). Each standard utilize different tools compared to the previous standards to obtain improved compression performance [30].

The video coding recommendation H.264 of ITU-T (also known as MPEG-4 part 10 of ISO/IEC [31]) is one of the latest complete coding standards [32]. The H.264/AVC achieves a significant improvement in coding efficiency when compared to other coding methods. It can save as much as 25% to 45% and 50% to 70% of bitrate when compared to MPEG-4 and MPEG-2 respectively [33]. As shown in figure 2, the encoding system is composed of the forward path (encoding) and the inverse path (decoding). The forward path predicts each macro block using intra-prediction or inter-prediction; it also transforms and quantizes (TQ) the residual, then it forwards the result to the entropy encoder module. Finally, it generates the output packets in the NAL module. The inverse path involves the reconstruction of the macro block from the previously transformed data by utilizing the inverse transform and quantization (ITQ), the reconstruction module and the deblocking filter [34].

The intra-coding chain contains several elementary modules: first, the intra-prediction module calculates the residual block following two strategies (Intra4×4 and Intra16×16), these residuals are further processed by the forward transform, quantization, inverse quantization, inverse transform, and finally reconstructed as a reference for the processing of next macro blocks [8]. Based on figure 2, many modules are connected using a point-to-point link. The deblocking filter used in H.264/AVC is more complex than other filter used in previous video compression standards [35]. First, this filter is highly adaptive and applied to each edge of all the 4x4 luma and the 2x2chroma blocks in a 16x16 macro block of pixels. Second, it can update three pixels in each direction in which the filtering takes place. Third, in order to decide whether the DBF will be applied to an edge, the related pixels in the current and neighboring blocks must be read from memory and processed [36].

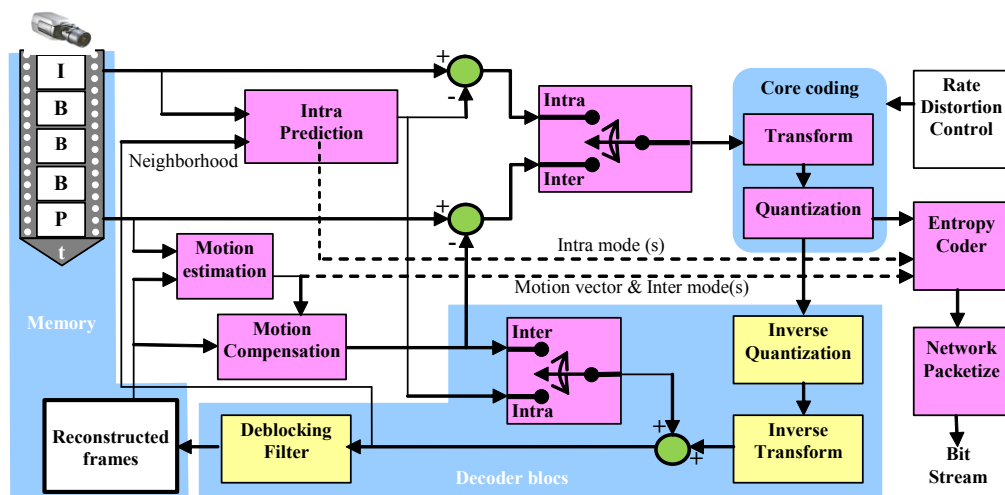


Figure 2: Basic coding architecture for H.264 encoder [31]

4. The proposed buffer-less NoC for Video applications

4.1. State of art

The evolution of video applications gave rise to new real-time systems, more complex but also with more requirements that have prompted researchers to propose solutions based on hardware implementations either partial or total of H.264/AVC codec. In recent years, several hardware implementations (hardware IPs) have been proposed for the H.264/AVC modules [8] [33] [34] [36] [37]. Different communication strategies have been used to implement these IPs on FPGA devices in order to ensure real-time processing. Generally, point-to-point solution has been for a long the most adopted interconnection approach [8][28]. The shared buses are also used for connecting IPs [29] with an embedded processor. The processor is used generally for task management.

In the H.264 encoder, we note that the elementary IPs are organized into distinguished groups. IP cores in the same group often communicate with each other but do not communicate with other groups IPs, except through a single IP. In this sense, a NoC can be used for the intra-coding chain IPs and another NoC for the deblocking filter IPs. In some recent studies, several authors have demonstrated the utility of using NoC structure in many applications [4] [38] [39].

In [40] the authors have proposed hardware architecture for the intra-coding module used in the H.264 encoder. Using a data bus (32-bits bus size), a data-Parallelism based hardware architectures are proposed for the intra-prediction, the integer transform, the quantization, the inverse integer transform, the inverse quantization, and the mode decision modules. In [8] the authors have reproduced these architectures using a 128-bits bus size in order to ensure good memory management. As mentioned in figure 3 [8], the intra-prediction module is decomposed in two modules (the Intra4×4 and the Intra16×16) using both the same chain of modules (the integer transform, the quantization, the inverse integer transform and the inverse quantization). In [8] and [40], the authors use a point-to-point interconnection with multiplexers/de-multiplexers in multi-input/output cases. Some IPs ($T/Q/Q^{-1}$ and T^{-1}) are used several times to ensure rapid processing and to avoid the use of multiplexers/de-multiplexers. Duplicating the H264/AVC IP modules increases significantly the used FPGA resources. To overcome the shared-bus limitations, and block duplication, another approach exploiting networks on chip has been implemented [41]. The idea behind this solution is to get the best of IP reuse principle. This approach allows the exploitation of similarities between the intra-coding chain and the inter-coding chain by removing the redundant blocs in order to reduce the FPGA resources.

Thereby, this solution is not that efficient and the resources optimization is not important because the used NoC in this work is buffer-based. More precisely, the use of buffers in the router increases

logical cost and decreases the operating frequency, which constitutes the major drawback of this approach.

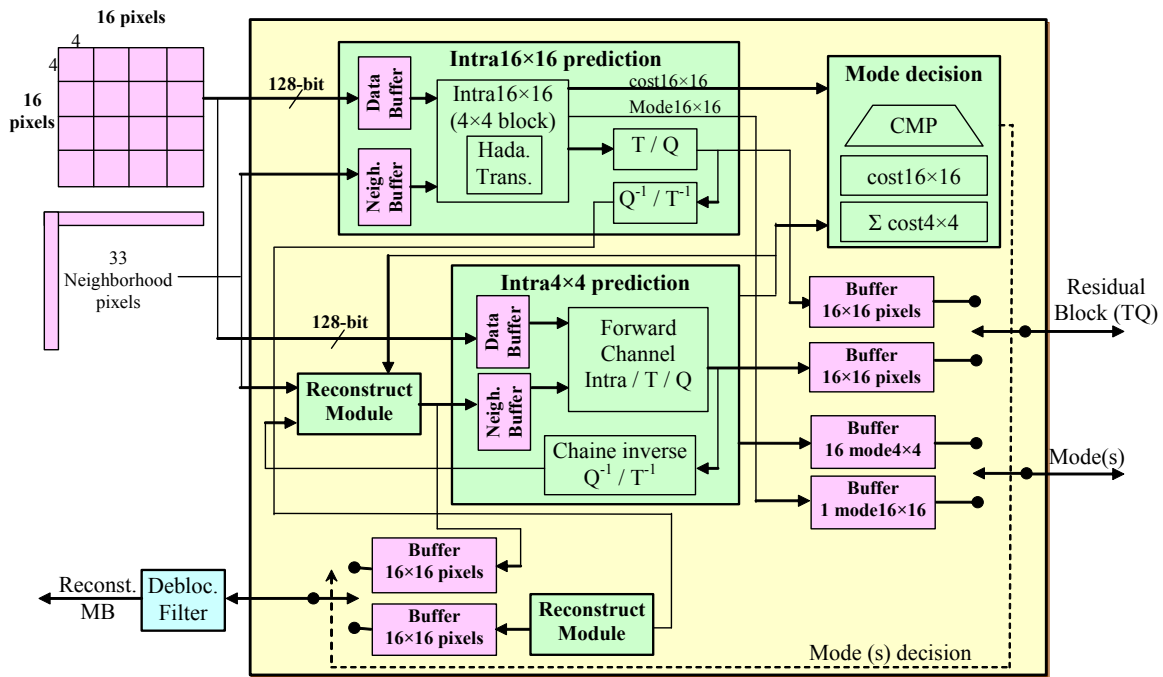


Figure 3: Hardware architecture for the Intra-coding module proposed in [8].

In this paper, we propose to use a buffer-less network-on-chip adapted for video coding applications. The main originality of the proposed work is to use a specific router that combines the strengths of a switch and a generic router. In what follows we will go into further detail on our proposed architecture.

4.2. The proposed architecture

Traditionally, networks on chip have often been designed using router architectures containing buffers in order to store data flowing on the NoC, especially when these architectures have been enhanced by the advent of virtual channel concept. This concept has allowed a better management of congestions while overcoming deadlock problem. In fact, NoC bandwidth efficiency is improved by these buffers because they minimize the rate of lost or crushed packets in the network.

Conceptually, removing buffers may seem like a bold choice as we expect a higher latency with a lower bandwidth. However, these buffers also have significant drawbacks in terms of FPGA resources cost, static and dynamic power consumption and design complexity. Accordingly, some authors have tried to reduce their impact by working on the concept of low-cost router [1] [42] [43], when other works explored how to remove totally buffers in router architectures [44] [45] [46]. Furthermore, it has been shown that a 60% buffers reduction may save 40% of power consumption in the best cases without a significative alteration of the system performance and buffer elimination leads to considerable latency reduction [44]. For these reasons, we chose to adapt this approach to video encoder (case study: H.264/AVC) in order to provide more efficient on-chip interconnection system. Figure 4 shows the proposed network on chip architecture based on buffer-less router (BLR). As presented in the figure 4, we made the choice of a 2D Mesh architecture for the NoC based interconnection solution. Such an architecture is characterized by its regularity and ease of implementation. Our proposed buffer-less router (BLR) constitutes the basic element of the network (Fig. 4). It is simply composed of crossbar and table of commutation. The role of the switching table is to assign the output port of each packet according to its label. The particularity of our proposed buffer-

less routing is the use of a switching technique instead of using conventional XY routing algorithm. More precisely, the commutation mechanism relies on labels added in the header packet. This label is used by each buffer-less router (BLR) to send the packets to their destination address.

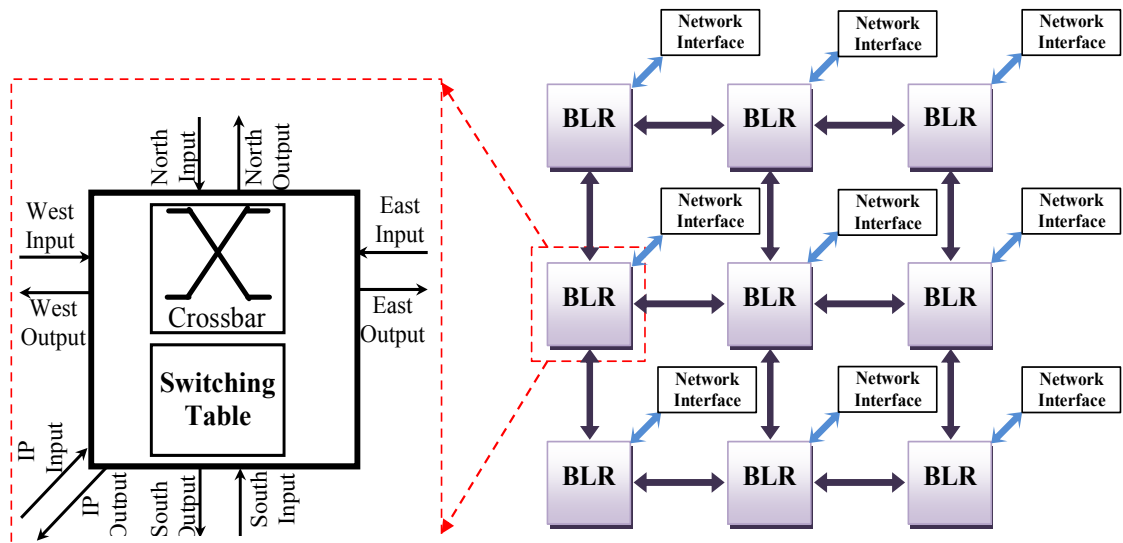


Figure 4: The Buffer-less Network on Chip proposed architecture

Given that the On-Chip interconnection may constitute a bottleneck for the system performance, our work has been focused on the On-Chip interconnect solution for video encoding application, H.264/AVC encoder in our case. The originality of our proposed is to take advantage of the strengths of Networks-on-Chip while removing the buffer drawback. Thereby, we have considered H.264/AVC as a system on which we have not acted, and we simply proposed an improvement the interconnection between its different blocks.

Our proposed architecture enables to interconnect the H.264/AVC modules through network interface as shown in figure 5. Let us take as an example the case of the entire intra-coding chain. Firstly, a microprocessor performs the initial setup of the network by loading the switching tables of each router according to the different scenarios. Secondly, the packets enter the network intended to the intra-coding bloc, through the network interface (NI) which assigns a first label. Once the treatment is performed, the processed data are returned with a new label, which will allow the access to the DCT and quantification bloc. This label change is managed by the network interface, and the connected router will check its switching table and select the corresponding output port.

Similarly, the packets will continue to travel on the network until the end of the processing intra chain. It should be noted that the first label awarded at the beginning refers to the performed scenario. Such an approach presents a performance advantage because of the considerable gain in processing time consequently to the elimination of writing and reading times on the buffers and the switching table speed. Furthermore, deleting buffers releases much more resources and makes the solution more interesting.

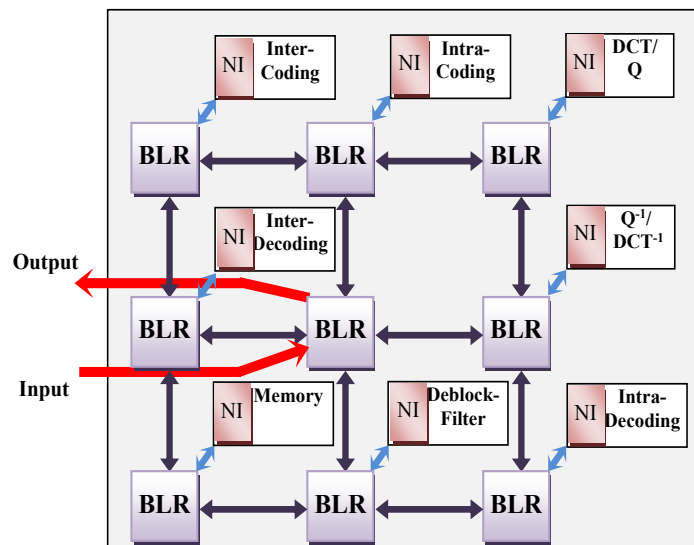


Figure 5. H264/AVC Intra Coding Chain mapping using the proposed Buffer-less NoC

5. Simulation results and discussion

The hardware implementation of H264/AVC components and the buffer-less network on chip dedicated for video application has been described in hardware description language (VHDL). We use Xilinx ISE 14.1 Design Suite software tool to: synthesize the architectures, perform the timing analysis and visualize RTL schematics. Multi-language HDL simulation environment Model Sim 9.2 has been used for simulation and debugging. The design of the whole architecture of the H264/AVC elements interconnected by the proposed buffer-less NoC has been achieved with the embedded development kit EDK Design tool. In sum, the entire system has been implemented on Virtex-7 XC7V2000T FPGA platform.

The evaluation of our implemented buffer-less NoC for video applications is carried out after generating the synthesis report for 3x3 mesh topology, store and forward switching, handshake signal for the flow control, XY routing and round robin arbitration. The performance analysis in terms of slice LUTs, slice registers and maximum operating frequency is summarized in table 1 for different network dimensions. By focusing on these results, it seems clear that the proposed solution is easy to implement by the relatively low logic cost. Furthermore, it appears from these results that this solution is quite effective especially for high performance applications such as video encoding (or decoding) through its fairly high frequency. Thus, we can notice easily that a good balance between the low logic cost and the operating frequency is reached. In addition, it is also transparent from the comparison realized with the synthesis results of [41] (Tab. 1) that our proposed has reduced LUTs consumption by around 70% for the three NoC dimensions implemented. Likewise, our buffer-less NoC solution operates at 429.70 MHz, 427.56 MHz and 422.08 MHz for 2x2, 3x3 and 4x4 mesh NoC dimensions, which is a much higher maximum frequency with respect to the frequencies reaches by buffer-based NoC [41]. Indeed, our approach seems quite superior since it operates at a faster clock frequency this is mainly due to the suppression of buffers. The latter have an important logical cost and slow down the entire communication system frequency during writing (or reading or deleting) data.

Table 1. Implementation results on Virtex-7 XC7V2000T FPGA and comparison between the proposed buffer-less NoC with conventional NoC [41]

Performance metrics Dimension the of mesh NoC	Proposed Buffer-less NoC			Conventional NoC [41]		
	Number of slice registers	Number of slice LUTs	Maximum Frequency	Number of slice registers	Number of slice LUTs	Maximum Frequency
NoC2×2	78/2,443,200	285/1,221,600	429.70MHz	67/2,443,200	972/1,221,600	174.932MHz
NoC3×3	191/2,443,200	603/1,221,600	427.56MHz	127/2,443,200	2,154/1,221,600	172.828MHz
NoC4×4	296/2,443,200	1,127/1,221,600	422.08MHz	240/2,443,200	3,645/1,221,600	171.725MHz

In order to evaluate more objectively our buffer-less NoC we perform a comparison with previous work that has achieved a similar architecture but with a conventional network on chip (buffer-based NoC) [41]. To this end, we have ensured to implement the same intra-coding chain using the same IPs used by [41] then we lined up on the same metrics i.e. maximum operating frequency, logic cost and same packet size for the purpose to have common benchmarks. As in the work of [41], we decomposed the intra-prediction module into 4x4 and 16x16 intra prediction modules and in each submodule we included: direct DCT module, direct quantization module, inverse quantization and inverse DCT modules as detailed in figure 5. Thereafter, we compared synthesis results of our implemented chain connected using the buffer-less NoC with those of the author [41]; this comparison is summarized in table 2. The examination of these implementation results of the intra-chain shows a slight optimization in FPGA resources up to 8.50 % with a significant improvement in the operating speed from 165.78 MHz to 197.61 MHz (19.20 %) which demonstrates the efficiency of our proposed.

Table 2: Comparison between synthesis results of H.264/AVC IPs connected: using a 3x3 Mesh conventional NoC on XUPV5 FPGA platform [41] and the proposed 3x3 Mesh buffer-less NoC on XC7V2000T FPGA platform

		Number of slice registers	Number of slice LUTs	fully used LUT Slices %	Maximum Operating Frequency
Synthesis result of H.264/AVC IPs connected by 3×3 mesh conventional NoC [41]	3×3 mesh conventional NoC	127	2,154	5.89%	172.83MHz
	Intra4×4 prediction	1,477	1,703	38.02%	278.43MHz
	Intra16×16 prediction	2,650	2,180	49.33%	282.03MHz
	DCT & Quantization	1,821	1,603	59.49%	594.11MHz
	Inverse Quantization & Inverse DCT	1,865	1,712	38.70%	394.06MHz
	Deblocking filter	6.702	8.890	29.20%	188.64MHz
	Implementation results of the IPs of the chain connected by a conventional 3x3 mesh NoC	14,642	18,242	37.10%	165.78MHz
Synthesis result of H.264/AVC IPs connected by the proposed 3×3 mesh NoC	3×3 mesh buffer-less NoC	191	603	57.53%	427.56MHz
	Intra4×4 prediction	1,477	1,703	44.51%	295.84MHz
	Intra16×16 prediction	2,650	2,180	54.69%	305.36MHz
	DCT & Quantization	1,821	1,603	63.21%	620.46MHz
	Inverse Quantization & Inverse DCT	1,865	1,712	42.18%	418.67MHz
	Deblocking filter	6.702	8.890	31.98%	207.94MHz
	Implementation results of the IPs of the chain connected by a buffer-less 3×3 mesh NoC	14,706	16,691	49.01%	197.61MHz

The last result table (Tab. 3) presents synthesis results of the based-Microblaze entire System implemented using the three different approaches:

- The H.264/AVC IPs are cascaded [41],
- The H.264/AVC IPs are connected by a conventional NoC [41],
- The proposed approach with H.264/AVC IPs cores connected by a buffer-less NoC.

It appears from these synthesis results (Tab. 3) that our approach is as effective as or better than the two other approaches [41] in terms of logical cost. However, it is understand able through the operating frequency that the proposed buffer-less on-chip interconnection is faster of about 27.49 % than the cascaded approach and about 19.20 % than the buffer-based NoC [41] with respect to these two other approaches. In addition, with such a reduction in FPGA resources and the abolition of buffers we expect a significant decrease of power consumption.

Table 3. Synthesis results of the based-Micro blaze System implemented for the H.264/AVC IPs using three different approaches

	Number of slice registers used	Number of slice LUTs used	Maximum Frequency
SoC for H.264/AVC IPs connected in cascade [41]	23,589	25,092	155MHz
SoC for H.264/AVC IPs using 3x3 Mesh conventional NoC [41]	21,768	23,112	165.78MHz
SoC for H.264/AVC IPs using the proposed 3x3 Mesh buffer-less NoC	21,835	22,559	197.61MHz

6. Conclusion

This paper has proposed a new buffer-less network on chip adapted for video applications. The main originality of our proposed solution is to take advantage of this new on-chip communication aradigm, which is Networks-on-Chip, while adapting it to the field of video applications. Video encoding (decoding) applications is one of the high-performance applications, which make the NoC solution obvious especially as it has proven itself and has emerged by its performances. The idea was to eliminate buffers from the router architecture to gain in FPGA area, but also in maximum operating frequency.

In order to prove the efficiency of our solution, we implemented the3x3 mesh buffer-less NoC as well as the H.264/AVC elementary modules on Xilinx Virtex7 platform FPGA in hardware description language VHDL. Afterward, the set has been connected to the Micro Blaze hardware platform. An initial comparison between the proposed buffer-less NoC and exiting works was carried out and it gave encouraging results. Indeed the synthesis results demonstrated the improvement, compared to buffer-based NoC solution, by reducing the logic cost by more than 65 %, while increasing also the operating speed from 175 MHz to 430 MHz (in the best case). Finally, our approach demonstrated its adaptation to video applications that makes it able to be improved before applying it for newest standards such as HEVC standard.

References

- [1] C. A. Nicopoulos, D. Park, J. Kim, N. Vijaykrishnan, M. S. Yousif, C. R. Das:ViChaR: A Dynamic Virtual Channel Regulator for Network-on-Chip Routers. The 39th Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture 2006 (MICRO'06), December 9-13, 2006, Orlando, Florida, USA.
- [2] T. C. Xu, P. Liljeberg, H. Tenhunen : A Study of Through Silicon Via Impact to 3D Network-on- Chip Design, International Conference on Electronics and Information Engineering (ICEIE 2010), 1-3 August 2010, Kyoto, JAPAN.
- [3] W. J. Dally and B. Towles :Route packets, not wires: On-chip interconnection networks. In Proceedings of the 38th Conference on Design Automation, June 22, 2001, Las Vegas, NV, USA, pp. 684–689.
- [4] L. Benini and G. De Micheli :Networks on chips : a new SoC paradigm. Computer, vol. 35, n°1, 2002, pp.70–78.
- [5] P. P. Pande, C. Grecu, M. Jones, A. Ivanov, and R. Saleh : Performance evaluation and design trade-offs for network-on-chip interconnect architectures. IEEE Transaction on Computers, vol.54, n°8, 2005,pp. 1025–1040.

- [6] T. Sikora :The MPEG-4 video standard verification model. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 7, n° 1, 1997,pp. 19-31.
- [7] I. Richardson :Real-time implementation of H.264 Video Coding. IEEE SOC Conference, September 17-20, 2008, Newport Beach, CA, USA.
- [8] K. Messaoudi, E. B. Bourenane, S. Toumi, M. Touiza : Data-Parallelism Based Hardware Architecture for the Intra-Coding Module in the H.264 Encoder, Springer, The Arabian Journal for Science and Engineering, vol.39, n°5, 2014, pp. 3781-3797.
- [9] S. Saponara, M. Martinab, M. Casulaa, L. Fanucci, G. Masera : Motion estimation and CABAC VLSI co-processors for real-time high-quality H.264/AVC video coding, Microprocessors and Microsystems, vol.34, n° 7–8, 2010, pp. 316–328.
- [10] Y. W. Huang, B. Y. Hsieh, T. C. Chen, L. G. Chen : Analysis, Fast Algorithm, and VLSI Architecture Design for H.264/AVC Intra Frame Coder, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Tech, vol. 15, n° 3, 2005, pp. 378-401.
- [11] B. A. Ringnyu, A. Tangel. E. Karabulut : Implementation of different architectures of forward 4×4 integer DCT for H.264/AVC encoder, The 10thInternational Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), November 30 – December 2, 2017, Bursa, Turkey.
- [12] C. W. Ku, C. C. Cheng, G. S. Yu, M. C. Tsai, T. S. Chang : A High-Definition H.264/AVC Intra-Frame Codec IP for Digital Video and Still Camera Applications, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Tech., vol. 16, n° 8, 2006, pp. 917-928.
- [13] B. G. Kim, J. H. Kim, C. S. Cho : A Fast Intra Skip Detection Algorithm for H.264/AVC Video Encoding, ETRI Journal vol. 28, n° 6, 2006, pp. 721-731.
- [14] R. Mukherjee, A. Banerjee, I. Chakrabarti, P. K. Dutta, A. K. Ray :An efficient FPGA based implementation of forward integer transform and quantization algorithm of H.264. IEEE Distributed Computing, VLSI, Electrical Circuits and Robotics (DISCOVER), August 13-14, 2016, Mangalore, India.
- [15] I. J. Barge, C. Ababei:H.264 video decoder implemented on FPGAs using 3×3 and 2×2 networks-on-chip. The International Conference on ReConfigurable Computing and FPGAs, December 6-7, 2017, Cancun, Mexico.
- [16] L. A. Barroso, K. Gharachorloo, R. McNamara, A. Nowatzyk, S. Qadeer, B. Sano, S. Smith, R. Stets, and B. Verghese : Piranha: a scalable architecture based on single-chip multiprocessing. In Proceedings of the 27thInternational Symposium on Computer Architecture, June 10-14, 2000, Vancouver, BC, Canada, pp. 282–293.
- [17] K. Olukotun, B. A. Nayfeh, L. Hammond, K. Wilson, and K. Y. Chang : The case for a single-chip multiprocessor. In Proceedings of the 7th International Symposium on Architectural Support for Parallel Languages and Operating Systems, Cambridge, MA, October 01-04, 1996, USA, pp. 2–11.
- [18] C. M. Lien, Y. S. Chen, C. S. Shih :On-Chip Bus Architecture Optimization for Multi-core SoC Systems. In Proceedings of 5th IFIP WG 10.2 International Workshop on Software Technologies for Future Embedded and Ubiquitous Systems, SEUS May 7-8, 2007, Santorini Island, Greece, pp 301-310.
- [19] C. A. Zeferino, M. E. Kreutz, L. Carro, Altamiro A. Susin :A Study on Communication Issues for Systems-on-Chip. The 15thSymposium on Integrated Circuits and Systems Design (IEEE - SBCCI'02), September 14, 2002, Porto Alegre, Brazil.
- [20] W. J. Dally and B. Towles : Route packets, not wires: On-chip interconnection networks. In Proceedings of the 38th Conference on Design Automation, June 22, 2001, Las Vegas, NV, USA, pp. 684–689.
- [21] S. Pasricha, N. Dutt : On-chip communication architectures: system on chip interconnect, Morgan Kaufmann, vol. 1, 2008.
- [22] S. Kumar, A. Jantsch, J. P. Soininen, M. Forsell, M. Millberg, J. Oberg, K. Tiensyrja and A. Hemani : A Network on Chip Architecture and Design Methodology. Proceedings of the IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI (IEEE - ISVLSI'02), April, 25-26 2002, Pittsburgh, PA, USA.

- [23] G. De Micheli, L. Benini: Networks on Chips, Morgan Kaufmann 2006.
- [24] M. Dehyadgari, M. Nickray, A. Afzali-kusha, Z. Navabi : Evaluation of Pseudo Adaptive XY Routing Using an Object Oriented Model for NOC. The 17th International Conference on Microelectronics, December 13-15, 2005, Islamabad, Pakistan.
- [25] W.J. Dally, B. Towles: Principles and Practices of Interconnection Networks. Morgan Kaufmann, 2004.
- [26] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6, H.264/14496-10 AVC Reference Software Manual, Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG, 2009.
- [27] Y. Song, A. Akoglu: An Adaptive Motion Estimation Architecture for H.264/AVC, Journal of Signal Processing Systems, vol. 73, n°2, 2013, pp. 161–179.
- [28] K. Messaoudi, E. B. Bourennane, S. Toumi : Reconfigurable Hardware Intelligent Memory Controller for H.264/AVC Encoders, International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS), vol.8 n° 9, 2010, pp. 8-16.
- [29] K. Messaoudi, M. Touiza, E.B. Bourennane, S. Toumi, Hardware/Software Co-Design with MicroBlaze Soft-Core Processor for the Integer Transform Algorithm Used in the H.264 Encoder, International Review on Computers and Software (I.Re.Co.S), vol. 5 n° 3, 2010, pp. 348-354.
- [30] I. J. Barge, C. Ababei : A Network-on-Chip Based H.264 Video Decoder Prototype Implemented on FPGAs, IEEE The 25th Annual International Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines (FCCM), April 30 - May 2, 2017, Napa, CA, USA.
- [31] ITU-T and ISO/IEC JTC 1, Advanced Video Coding for generic audio-visual services, ITU T Rec. H.264 and ISO/IEC 14496-10 (AVC), May 2003 (and subsequent editions). (Last consultation: 01/11/2017)
- [32] J. Ostermann, J. Bormans, P. List, D. Marpe, M. Narroschke, F. Pereira, T. Stockhammer, and T. Wedi : Video coding with H.264/AVC: Tools, Performance, and Complexity, IEEE Circuits and Systems Magazine, vol. 4, n° 1, 2004, pp.7-28.
- [33] T. C. Chen, C. Lian, and L. Chen : Hardware Architecture Design of an H.264/AVC Video Codec, Asia and South Pacific Conference on Design Automation, 24-27 January 2006, Yokohama, Japan.
- [34] K. Babionitakis, G. Doumenis, G. Georgakarakos, G. Lentaris, K. Nakos, D. Reisis, I. Sifnaios, N. Vlassopoulos: A real-time H.264/AVC VLSI encoder architecture, Springer –Journal of Real-Time Image Processing, vol. 3, n° 1-2, 2008, pp. 43–59.
- [35] P. List, A. Joch, J. Lainema, G. Bjøntegaard, M. Karczewicz : Adaptive Deblocking Filter, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 13, n° 7, 2003, pp. 614-619.
- [36] K. Messaoudi, E. Bourennane, S. Toumi and G. Ochoa : Performance Comparison of Two Hardware Implementations of the Deblocking Filter Used in H.264 by Changing the Utilized Data Width, IEEE, The 7th International Workshop on Systems, Signal Processing and their Applications, 9-11 May 2011, Tipaza-Algeria.
- [37] K. Messaoudi, E. Bourennane, S. Toumi, M. Touiza, A. Yahi : A Highly Parallel Hardware Implementation of the Deblocking Filter Used in H.264/AVC CODECs, In proceedings of the International Conference on Software Engineering and New Technologies, ICSSENT'12, pp. 26-38, December 15-17, 2012, Hammamet, Tunisia.
- [38] G. Schelle and D. Grunwald : Onchip interconnect exploration for multicore processors utilizing FPGAs, The 2nd Workshop on Architecture Research using FPGA Platforms (WARFP-2006), February 12, 2006, Austin, Texas, USA.
- [39] K. Motamedi, N. Ioannides, M. H. Rummeli, I. Schagaev : Reconfigurable Network on Chip Architecture for Aerospace Applications, 30th IFAC Workshop on Real-Time Programming and 4th International Workshop on Real-Time Software, PP. 131-136, October 12–14, 2009, Mragowo, Poland.
- [40] <http://hardh264.sourceforge.net/H264-encoder-manual.html>. (Last consultation: 01/11/2017)
- [41] K. Messaoudi, H. Mayache, A. Benhaoues, E. Bourennane, S. Toumi : Connection of H.264/AVC hardware IPs using a specific Networks-on-Chip. Microprocessors and Microsystems, vol. 39, n° 8, 2015, pp. 609-620.

- [42] J. Kim :Low-cost router microarchitecture for on-chip networks. The 42nd Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture (MICRO-42), December 12-16, 2009, New York, NY, USA.pp. 255-266.
- [43] A.Kodi, A. Sarathy, and A. Louri :iDEAL. Inter-router dual-function energy and area-efficient links for network-on-chip (NoC) architectures, The 35thInternational Symposium on Computer Architecture (ISCA-35), June 21-25, 2008, Beijing, China.
- [44] T. Moscibroda and O. Mutlu :A case for bufferless routing in on-chip networks. In Proceedings of the 36th Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA-36), June 20-24, 2009, Austin, USA. pp. 196-207.
- [45] M. Hayenga, N. Jerger, and M. Lipasti :SCARAB: A single cycle adaptive routing and bufferless network. In proceedings ofthe 42nd Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture (MICRO-42), December 12-16, 2009, New York, NY, USA.pp.244-254.
- [46] C. Gómez, M. E. Gómez, P. López, J. Duato :Reducing packet dropping in a bufferless NoC. In proceedings of the 14th International European Conference on Parallel Processing (Euro-Par'08), 26-29 August, 2008, Las Palmas de Gran Canaria, Spain.

Effets du compost de filao (*Casuarina equisetifolia*) enrichi sur les rendements des cultures maraichères dans la zone des Niayes au Sénégal

Effects of enriched Filao compost (*Casuarina equisetifolia*) on the vegetables farming in the Niayes area of Senegal

Mamoudou Abdoul Touré^{*1}, Saliou Ngom¹, Elhadji Faye², Diaminatou Sanogo¹ & Malaïny Diatta¹

¹Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA)- B.P : 3120 Dakar, Route des hydrocarbures, Bel Air, Sénégal.

²Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale (ISFAR)- B.P : 54 Bambey – Sénégal.

Soumis le : 29/06/2017

Révisé le : 29 /06/2018

Accepté le : 01 /07/2018

المخلص:

على الأرض بسمائة كبيرة تحد من التجدد الطبيعي . في إطار تقييم هذه المحفة ، هناك طريقة تسميد تم استعمالها مع تجارب زراعية قصد تقييم مزايا هذا السماد المحصول في زراعة الخضر (خس ، بصل ، لفت) . لقد تمت تجربة أربعة مقادير من السماد (م 1 = 10 أطنان من الهكتارات ، م 2 = 20 طنًا من الهكتارات ، م 3 = 30 طنًا من الهكتارات) ومقارنتها بالإنتاج الذي لم يتعرض للتسميد . وعليه ، فإن جودة السماد المحصول كانت مقبولة جدا مع يتراوح ما بين 63,6 و 76,7 ، و حاصل كربون / أزوت ما بين 18,89 و 22,69 ودرجات من الفوسفور ما بين 11,0 و 24,0 % . انطلاقا من م 2 فإن الإنتاج المحصول مع السماد كان عموما أكثر من الإنتاج بدون السماد مع كل التوقعات . كما أظهر السماد نتائج زراعية مؤكدة قد يمثل بديلا مناسبيا عن استعمال الأسمدة الكيميائية في منطقة " نياي " .
الكلمات الرئيسية: السماد ، المحفة ، شجرة فيلاو، منطقة نياي، السنغال

Résumé

Une technique de compostage de la litière de filao a été mise au point et des essais agronomiques pour évaluer les performances du compost obtenu sur des cultures maraichères (laitue, oignon et navet) ont été menés. Quatre doses de compost (D1=10 tonnes à l'hectare, D2 = 20 tonnes à l'hectare, D3 = 30 tonnes à l'hectare) ont été testées et comparées avec un témoin. La qualité du compost obtenu a été appréciable avec un pH variable entre 6,63 et 7,76, un rapport carbone/azote compris entre 18,89 et 22,69 et des teneurs en phosphore comprises entre 0,11 et 0,24 %. A partir de D2, les rendements obtenus avec le compost ont été tous significativement supérieurs aux témoins pour toutes les spéculations. Le compost a montré des performances agronomiques avérées et pourrait constituer une alternative crédible à l'utilisation des engrais chimiques dans la zone des Niayes.

Mots clés: Compos-Litière de filao-Valeur agronomique-Horticulture-Niayes-Sénégal.

Abstract

As part the valorization of the filao litter in the Niayes area, a composting technique was developed and agronomic tests were conducted to evaluate the performance of the compost on vegetable crops (lettuce, onion and turnip). Four compost doses (D1 = 10 t / ha, D2 = 20 t / ha, D3 = 30 t / ha) were tested and compared with a control (D0 = 75 t / ha horse manure) as an experimental device Completely Random Block randomized design with three repetitions. The quality of the compost is highly appreciated with a variable pH between 6.63 and 7.76, a carbon/nitrogen ratio between 18.89 and 22.69 and phosphorus contents between 0.11 and 0.24%. From D2, results showed that the yields with the compost were all significantly higher than the control for all the speculations. Compost showed good agronomic performances and could be a credible alternative for using chemical fertilizers in the Niayes area.

Keywords: Compost - Filao litter - Agronomic value - Horticulture - Niayes area – Senegal

* Auteur Correspondant moustoure@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

Au cours des dernières décennies en Afrique, la dégradation des écosystèmes sahéliens et soudaniens a connu une accélération sans précédent. Une grande partie des terres cultivables a été affectée par les processus de dégradation [1] qui se manifestent par l'appauvrissement des sols en éléments nutritifs, la pollution des nappes phréatiques [2 ; 3] et la salinisation [4]. Cette dégradation des ressources naturelles a réduit considérablement les revenus des populations et surtout ceux du monde rural qui devient de plus en plus vulnérable [5].

Le Sénégal, à l'instar de la plupart des pays sahéliens, n'est pas épargné par ce phénomène. En effet, près de la moitié des sols (47 %) sont médiocres ou inaptes à l'agriculture et 36 % sont pauvres et offrent de faibles rendements [6]. La zone des Niayes où se concentre l'essentiel des activités horticoles du pays, avec environ 80 % de la production maraîchère [7], est l'un des écosystèmes les plus exposés à ces contraintes de production. Selon beaucoup d'auteurs, elle est confrontée à une forte dégradation de ses ressources naturelles : baisse significative de la fertilité des sols, degré de salinité élevé [8], ensablement des cuvettes maraîchères et pollution chimique des sols [9 ; 10 ; 11 ; 12]. Ces contraintes ont eu pour conséquence la chute de la production qui a entraîné des conséquences socioéconomiques : paupérisation des populations locales, menace sur la sécurité alimentaire. Dans ce contexte, la problématique de la fertilité des sols constitue une préoccupation majeure des acteurs de la filière horticole de la zone des Niayes. Pour inverser ces tendances, il est nécessaire de promouvoir des itinéraires techniques appropriés pour une agriculture plus productive et respectueuse de l'environnement. A cet effet, il semble intéressant de valoriser la grande masse de litière de filao estimée à 7,2 t. ha⁻¹.an⁻¹ [13] sous forme de compost enrichi pour contribuer à l'amélioration de la fertilité des sols et augmenter la productivité des cuvettes maraîchères. Cette présente étude qui s'inscrit dans cette dynamique a pour objectif de contribuer à la valorisation de la litière de filao par une technique de compostage associant de la matière organique et du phosphogypse, déchet minéral facilement accessible dans la zone des Niayes.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation de la zone d'étude

La zone des Niayes est localisée administrativement dans les quatre régions bordant la frange côtière maritime du Nord du Sénégal qui est située à 12° 8' et 16° 41' de latitude nord et 11° 21' et 17° 32' de longitude ouest à savoir Dakar, Thiès, Louga et Saint-Louis (Fig. 1). Elle s'étend sur 180 km de long et 5 à 30 km de large à l'intérieur des terres. Elle est limitée dans sa partie intérieure par la route nationale Dakar-Saint-Louis. Cette zone s'étend sur plus de 2 700 km² (Cissé, 2003) [12]. L'étude a été effectuée au niveau de cinq (5) sites dans la zone des Niayes (Beunoba, Mboro, Keur Malal, Lompoul et Sag) où les matériaux compostés sont facilement accessibles aux petits producteurs.

Les conditions climatiques et économiques favorables ont permis à la zone des Niayes de polariser une importante population estimée à 150 000 habitants [14] et donnent également à la région toute sa vocation agricole. Elle constitue la deuxième zone agricole après le bassin arachidier, avec un taux d'utilisation des terres de 65 % [15]. Son climat, de type sahélien caractérisé par une longue saison sèche et une courte saison pluvieuse, est marqué par une variante sub-canarienne. La zone des Niayes bénéficie d'un microclimat assez particulier par rapport aux autres régions du pays du fait des températures modérées influencées par la circulation des alizés maritimes soufflés par les courants froids des Açores. Les températures moyennes mensuelles les plus élevées oscillent entre 27,5°C et 28,1°C et surviennent pendant la saison des pluies [16]. Les précipitations annuelles sont faibles et comprises entre 300 et 500 mm [17]. Mais compte tenu du taux d'humidité élevé et de l'affleurement superficiel de la nappe phréatique, l'agriculture pluviale a cédé partiellement la place aux cultures maraîchères. Le relief est caractérisé par une succession de dunes et de dépressions qui abrite le maraichage. Cependant, ces différents vents entraînent une forte mobilité des systèmes dunaires avec son corollaire l'ensablement des cuvettes maraîchères affectées par une dégradation de ses ressources agricoles surexploitées. Pour fixer les dunes blanches et protéger les cuvettes maraîchères, le filao (*Casuarina equisetifolia*) a été planté le long de la côte. C'est une plante fixatrice d'azote qui produit des quantités importantes de biomasse dont la valorisation optimale dans l'amendement des sols pourrait améliorer les productions horticoles.

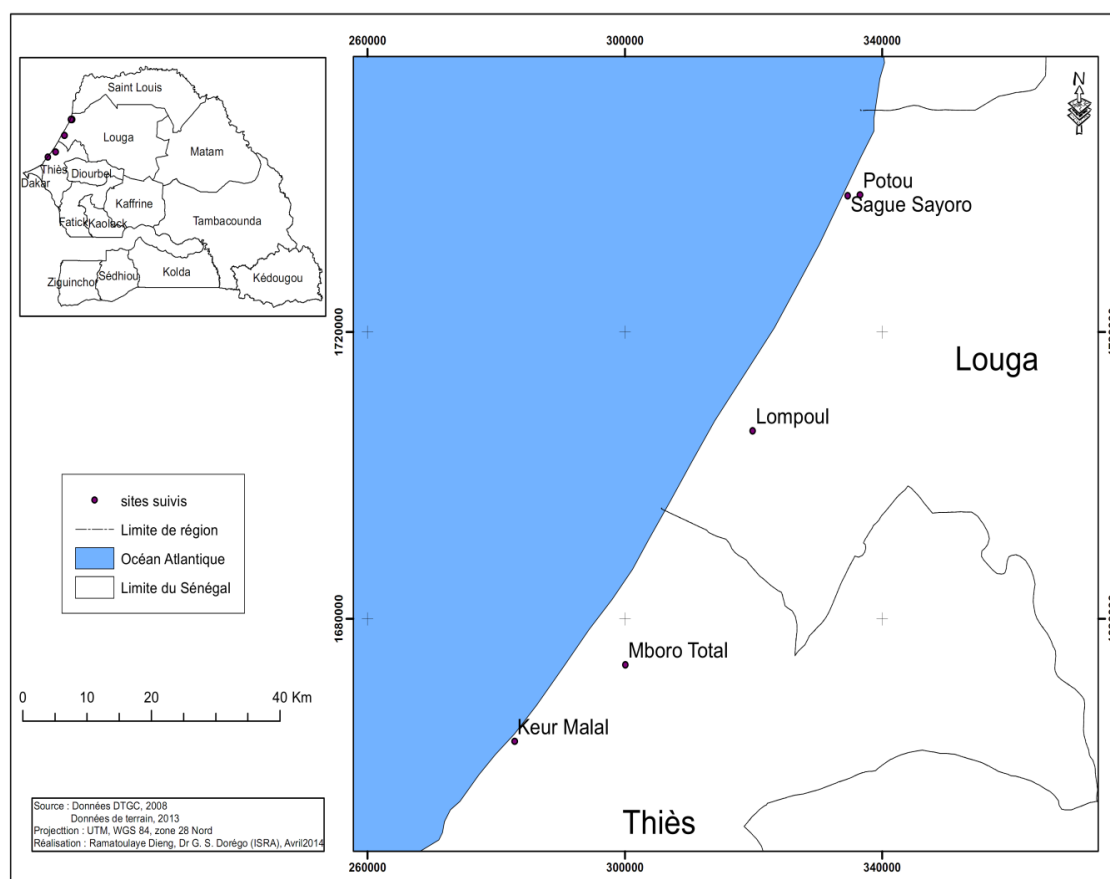


Figure 1: Situation de la zone d'études des Niayes

2.2. Mise en place du compost à base de la litière de filao

Le dispositif de compostage a nécessité d'abord la construction d'une dalle en ciment de 8 m² (4 m x 2 m). Le compost utilisé a été fabriqué à base de la litière de filao associée avec de la fiente de volaille, de l'urée et du phosphogypse. Le processus de fabrication du compost consiste à poser sur une partie de la dalle (soit 4 m² = 2 m x 2 m) une couche (20 cm de hauteur) de litière de filao, suivi de l'épandage respectivement d'une couche de 0,5 kg d'urée, 0,5 kg de phosphogypse et 5 kg de fiente de volaille. Ce processus a été répété six fois. Le tas de compostage renferme donc au total six (6) couches. Le dispositif a été arrosé chaque trois (3) jours. Chaque quinze (15) jours le dispositif est retourné sur la deuxième partie de la dalle (soit les 4 m² non encore utilisées) pour maintenir l'humidité et l'aération qui sont des facteurs indispensables pour la décomposition de la matière organique. Ce dispositif de compostage a été mis en place à Beunoba, Lompoul, Mboro, Sag et Keur Malal. A la fin de l'expérience, dans chaque site, deux (2) kg de compost ont été prélevés et acheminés au laboratoire pour analyse.

2.3. Analyse chimique du compost

Les différents constituants chimiques du compost ont été déterminés selon les méthodes approuvées par l'AOAC [18]. La matière sèche a été obtenue par dessiccation à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures (MS) et la teneur en cendres totales (MM) par calcination au four à 550 °C. Le carbone et l'azote ainsi que le rapport C/N a été déterminé simultanément par un autoanalyseur de type LecoTruSpec. Le phosphore total et le potassium total ont été déterminés à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption à flamme, après minéralisation.

2.4. Etude des effets du compost à base de filao sur les cultures

Pour étudier l'effet du compost de filao sur les cultures, trois (3) essais indépendants ont été menés. Le premier a porté sur la laitue, le deuxième sur l'oignon et le troisième sur le navet. Pour chaque culture

un Dispositif en Blocs Complètement Randomisés (DBCR) à un facteur (fertilisation) avec quatre (4) niveaux (D0, D1, D2, D3) correspondant aux doses de compost de filao appliquées a été utilisé :

- D0 = témoin ;
- D1= 10 t.ha⁻¹ ;
- D2 = 20 t.ha⁻¹ ;
- D3 = 30 t.ha⁻¹.

Quatre traitements ont été utilisés et chaque traitement a été répété 3 fois. Chaque traitement a été appliqué sur une planche de 2 m² (2 m x 1 m) ou parcelle élémentaire. Le témoin (D0 ; pratique paysanne) est composé de bouse de cheval avec la laitue (essai 1). Il a été apporté en deux temps, six (6) kg comme fumure de fonds avant le repiquage et sept (7) kg deux semaines après le repiquage. Pour l'oignon (essai 2) le témoin (D0) était également composé de bouse de cheval apporté une seule fois (30 tonnes à l'hectare). Pour le navet (essai 3), le témoin Do est absolu (sans bouse de cheval donc pas amendement).

Chaque dose de compost a été apportée une seule fois durant tout l'essai pour chaque culture.

Les variétés utilisées (oignon, navet et laitue) dans cette étude ont été choisies parce qu'elles sont parmi les plus prisées par les producteurs au Sénégal. En effet, pour la laitue (*Lactuca sativa*), la variété Eden utilisée a été fournie par Antoine Ndongue le propriétaire de la parcelle de Pate d'oie à Dakar. Dans chacune des planches (2 m²), quarante cinq (45) poquets de laitue ont été repiqués (15 février 2014) avec des écartements entre les lignes de 20 cm et entre les poquets 22 cm. Au total 540 plants de laitue ont été utilisés pour tout le dispositif expérimental. L'écartement entre les blocs de répétition est de 0,5 m. Quarante (40) litres d'eau ont été apportés par planche et par jour. Le nombre de feuilles par poquet a été compté trois (3) semaines après le repiquage pour tous les traitements.

Pour l'oignon (*Allium cepa*) une variété à cycle court VDG (Violet de Galmi/CDH) a été utilisée. Pour le repiquage de l'oignon (16 février 2014), chaque plant a été coupé au milieu pour donner plus de vigueur à la plantule. L'écartement entre les blocs de répétition a été de 0,5 m. Au total 1582 plants d'oignons ont été repiqués. Au sein de chaque planche de 2 m², un écartement 20 cm entre les lignes et 22 cm entre les poquets a été retenu. Chaque jour les planches ont été arrosées à la dose de 40 litres par planche de 2 m². Un apport d'eau de 960 litres par jour a été effectué durant le premier mois de l'essai. A partir du second mois les parcelles ont reçu un apport d'eau de 60 litres par planche de 2 m² soit 720 litres par jour. Dix (10) jours avant la récolte les parcelles n'ont reçu aucun apport d'eau afin de favoriser l'assèchement des bulbes d'oignons. La récolte de l'oignon a été effectuée après 75 jours. Pour le navet (*Brassica rapa*), la variété chinoise super Longo a été utilisée. Elle a été fournie par Ibrahima Sow, propriétaire de la parcelle à Sag dans la zone de Potou, région de Louga. Le navet a été semé directement (17 février 2014), l'écartement entre les blocs était de 0,5 m. Au sein de chaque planche de 2 m² un écartement de 20 cm entre les lignes et entre poquets a été retenu. L'arrosage a eu lieu tous les jours avec un volume d'eau de 40 l.jour⁻¹ pour chaque planche (1440 litres par jour pour tout le dispositif). La récolte du navet a été effectuée après soixante-cinq (65) jours de culture.

Les variétés utilisée (oignon, navet et laitue) dans cette ont été choisies parce qu'elles sont les plus prisées par les producteurs au Sénégal

2.5. Traitement et analyse des données

Les données recueillies ont été saisies sur Excel et exploitées à l'aide de deux logiciels statistiques (Statistix 8.1 et XLSTAT 2010). Pour chaque paramètre, l'analyse de variance (ANOVA) a été effectuée ainsi que la comparaison des moyennes à l'aide du test de Newman Keuls. Le niveau de significativité a été fixé à 5%.

3. RESULTATS

3.1. Propriétés physicochimiques du compost de filao

Le tableau 1 représente les caractéristiques physicochimiques des différents types de composts fabriqués au niveau des sites de l'étude. Les composts obtenus à partir des différents tas de compostage réalisés ont montré un taux de matières minérales variables entre 20,19 et 43,37 %. Par contre, les teneurs en azote (N) et en phosphore (P) sont importantes et peu variables. Les teneurs en azote sont comprises entre 2,00 et 2,27 % et celles du phosphore entre 0,11 et 0,24 % à l'exception du

compost obtenu à Keur Malal qui a présenté des valeurs moyennes respectives de 1,81 et 0,08 %. Les valeurs obtenues pour le pH des composts sont toutes proches de la neutralité et comprises entre 6,63 et 7,76.

Tableau 1: Propriétés physico-chimique des composts

	Unité	Compost Beunoba	Composte Mboro	Compost KeurMalal	Compost Lompoul	Compost F Sag
Matières sèches	%	75,66	77,51	87,24	88,57	81,95
Matières minérales	%	33,39	20,19	43,37	42,27	31,55
Calcium (Ca ²⁺)	%	0,71	0,95	0,53	1,06	0,95
P ₂ O ₅	%	0,42	0,34	0,18	0,55	0,25
Azote (N)	%	2,00	2,11	1,81	2,22	2,27
pH	-	7,02	7,27	6,63	7,76	7,38
Salinité (NaCl)	%	0,06	0,08	0,026	0,052	0,090
Carbone total (C)	%	45,39	44,54	38,67	44,07	42,89
Conductivité	mS.cm ⁻¹	1,09	1,45	0,48	0,92	1,69
Rapport Carbone/Azote	-	22,69	21,10	21,36	19,85	18,89

Le rapport carbone azote (C/N) des composts varie de 18,89 à 22,69. Le compost de Sag a la plus faible valeur (18,89) suivi de celui de Lompoul (19,85) et de Mboro (21,10). Par contre, les composts de Beunoba et de Keur Malal ont montré des C/N légèrement plus élevés avec des valeurs moyennes respectives de 22,69 et 21,36. Ces rapports C/N élevés s'expliquent par le fait que la minéralisation de la matière organique n'a pas été complète. En d'autres termes les composts obtenus ne sont pas matures.

3.2. Effet du compost de filao sur les cultures

3.2.1. Influence de la dose de compost de filao sur le nombre de feuille de la laitue

Le nombre de feuilles a fortement été influencé par la dose de fertilisant ($P < 0,0001$). Le nombre de feuilles le plus important a été obtenu avec D2 ($9,9 \pm 1,65$ feuilles) suivi de D3 ($9,3 \pm 1,65$ feuilles). Par contre, le nombre de feuilles le plus faible a été obtenu avec D0 et D1 (en moyenne $8,27 \pm 1,09$ feuilles ; Fig. 2). Deux groupes distincts de moyennes séparées formés par D0 et D1 d'une part et D2 d'autre part ont été observés à côté du groupe intermédiaire composé de D3 (Fig. 2).

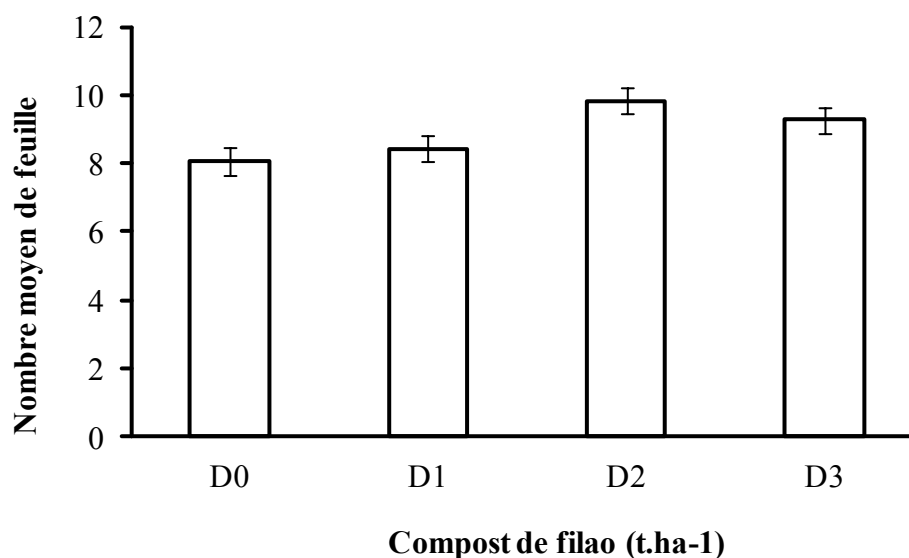


Figure 2: influence de la dose (D0, D1, D2 et D3) de compost de filao sur le nombre de feuilles de la laitue ($P < 0,0001$)

3.2.2. Influence de la dose de compost de filao sur le rendement moyen de la laitue

Le rendement moyen de la laitue a été fonction de la dose de fertilisant ($P < 0,0001$). Le rendement moyen le plus important a été obtenu avec D2 ($46 \pm 3,3$ t/ha), suivi de D3 avec $39,91 \pm 0,62$ t/ha. Par contre, le rendement le plus faible a été obtenu avec D0 et D1 (en moyenne $33,04 \pm 1,10$ t/ha ; Fig. 3). Les mêmes groupes de moyennes ont été observés au niveau du rendement de la laitue que pour le nombre de feuilles.

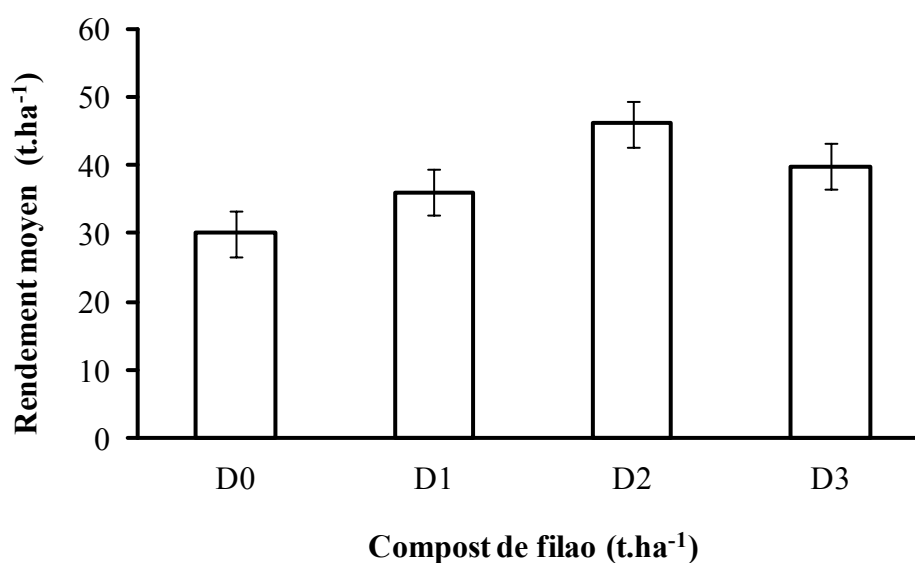


Figure 3: influence de la dose (D0, D1, D2 et D3) de compost de filao sur le rendement moyen par tonne et par hectare de la laitue

3.2.3. Influence de la dose de compost de filao sur le rendement de l'oignon

Le rendement en oignon a été fonction de la dose de compost de filao ($P < 0,0003$). Le meilleur rendement a été obtenu avec la dose D3 et D2 (en moyenne $50,41 \pm 2,60$ tonnes à l'hectare). Par contre le rendement le plus faible a été obtenu avec la dose D0 et D1 (en moyenne $39,58 \pm 1,44$ tonnes à l'hectare ; Fig. 4).

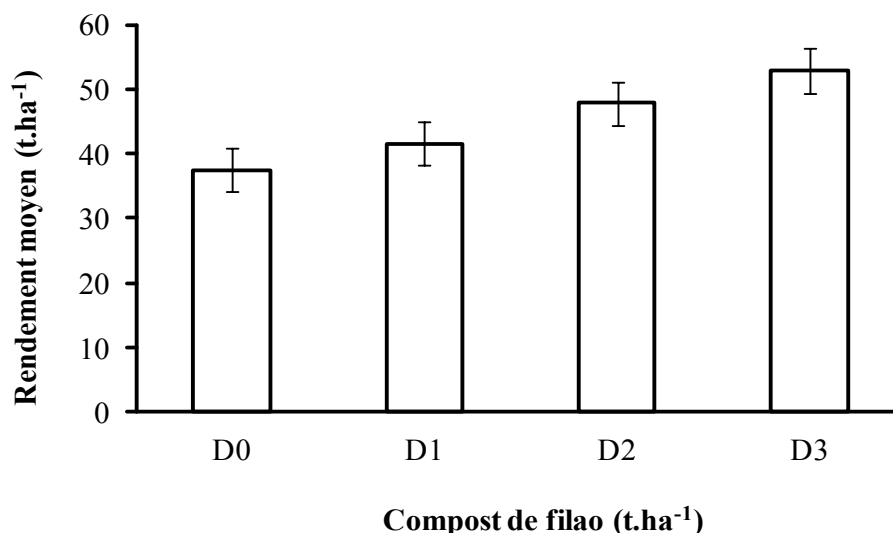


Figure 4: influence des doses de fertilisant (D0, D1, D2 et D3) sur le rendement moyen en tonne par hectare de l'oignon ($P < 0,0003$).

3.2.4. Influence de la dose de compost de filao sur le rendement du navet

A l'image des autres spéculations le rendement du navet a été fonction de la dose de fertilisant ($P < 0,0001$). Le rendement moyen le plus important a été obtenu avec D3 ($80 \pm 2,88 \text{ t.ha}^{-1}$), suivi de la dose D2 ($63 \pm 2,88 \text{ t.ha}^{-1}$). Par ailleurs, le rendement le plus faible a été obtenu avec les doses D0 et D1 avec en moyenne ($36 \pm 6 \text{ t.ha}^{-1}$; Fig. 5).

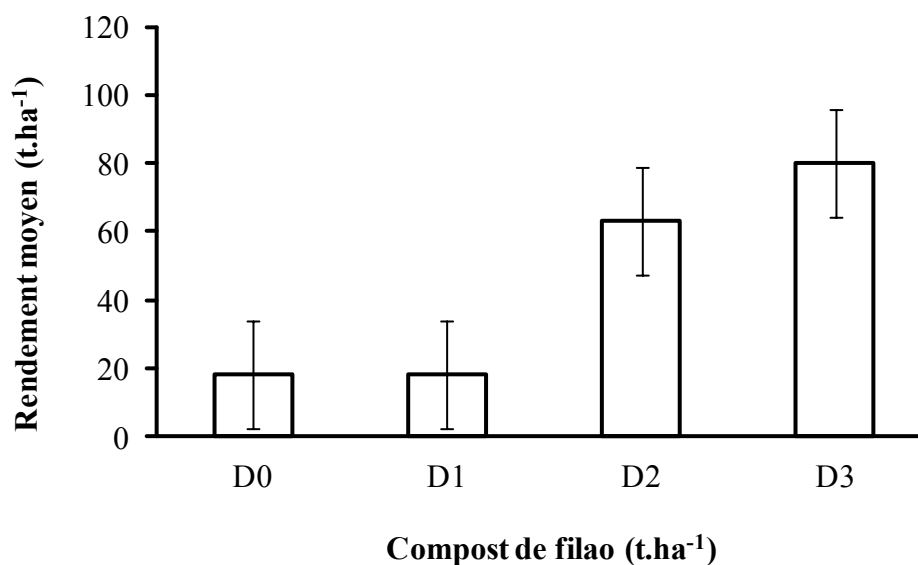


Figure 5: influence de la dose de fertilisant sur le rendement moyen (t/ha) du navet

4. DISCUSSION

4.1. Analyse chimique du compost de filao

Les résultats de l'analyse chimique ont montré que les teneurs en azote (2,60 %) et phosphore ou P_2O_5 (0,44 %) dans les différents composts obtenus sont acceptables, comparées à celles de la plupart des valeurs collectées dans la littérature. Le compost fabriqué à base de la biomasse du neem (*Azadirachta indica*) et d'anacardier (*Anacardium occidentale*) a donné un taux d'azote de 0,87 % [19]. Selon [20], les composts de déchets urbains contiennent des valeurs en azote qui varient entre 0,4

et 0,5%. Les teneurs en phosphore des composts produits sont largement supérieures à celles obtenues par [21] qui sont de l'ordre 0,09 %. Le taux élevé de l'azote et du phosphore s'explique respectivement par les apports de l'urée et du phosphogypse. Le rapport C/N est également élevé, comparé à la valeur retenue pour un compost mature compris entre 10 et 20 [22] et à celles signalées par certains auteurs dont [23]. Ces rapports C/N élevés présentent un avantage agronomique dans la mesure où dans la zone des Niayes, existe des sols sableux pauvres en matière organique. L'épandage de tels composts favorise la capacité de rétention du sol en eau et en éléments nutritifs nécessaires au développement des plants. Selon [24], les matières organiques au rapport carbone/azote élevé permettent une amélioration de la qualité physico-chimique du sol en activant la microfaune qui s'y trouve comme les termites. Le rapport C/N élevé permet également une décomposition plus lente de la matière organique [25] et par conséquent une libération progressive de l'azote profitable aux cultures à cycle relativement long comme l'oignon et le navet.

4.2. Effet du compost de filao sur les cultures

Pour la laitue, le meilleur rendement a été obtenu avec la dose D2 (20 tonnes à l'hectare) largement supérieure au témoin. Ainsi, pour les feuilles ($P < 0,0001$; Fig. 2), le nombre le plus important était de $9,9 \pm 1,65$ feuilles et le rendement moyen était de $46 \pm 3,31$ tonnes à l'hectare ($P < 0,0001$; Fig. 3). Selon [26] et [27], l'excédent de fumure organique immobilise l'azote dans le sol. Par rapport à la relation entre la dose de compost et le nombre de feuilles de la plante, [28] ont publié des résultats similaires aux nôtres. Ils ont obtenu 15 feuilles par pied avec l'utilisation du compost de déchets ménagers sur la laitue avec à la dose de 75%. [29] a montré aussi que l'apport du compost fabriqué à partir de déchets de thé a eu des effets positifs sur la biomasse végétative et le nombre de fruits par rapport aux témoins. Par ailleurs, d'autres études ont montré une croissance de la laitue de l'ordre de 2 à 3 fois plus importante avec l'apport du compost par rapport aux témoins au bout de 6 semaines d'expérience [30 ; 31].

Pour l'oignon, le meilleur rendement a été obtenu avec la dose D3 (30 tonnes à l'hectare) et D2 (20 tonnes à l'hectare), en moyenne $50,41 \pm 2,60$ tonnes à l'hectare contre $39,58 \pm 1,44$ tonnes à l'hectare pour le témoin (Fig. 4). Pour le navet, le rendement moyen le plus important a été obtenu avec D3 ($80 \pm 2,88$ t/ha) contre 36 ± 6 t/ha en moyenne pour le témoin (Fig 5). Ces résultats sont comparables à ceux publiés par beaucoup d'auteurs [32 ; 33 ; 34 ; 35]. Selon certains auteurs, la baisse du rendement à 30 tonnes à l'hectare pourrait s'expliquer par la décomposition incomplète de la matière organique. En conséquence, des effets dépressifs des fumures organiques mal décomposées sur les rendements des cultures sont remarqués [36]. La fumure organique avec un rapport C/N supérieur à 20 peut entraîner un risque de « faim d'azote » pour les plantes, car les microorganismes du sol utiliseront l'azote du sol disponible pour la minéralisation du produit en question [37].

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Reij C., Scoones, I. et Toulmin C., 1994. Technique traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique. Karthala-CDCS-CTA. Paris, 355p.
- [2] Tabi M., Tarif L. Carrier D., Laflamme G., Rompre M., 1990. Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec. Rapport Synthèse. Entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement agro-alimentaire. 133p.
- [3] Nyiraneza J., Chantigny M. H., N'Dayegamiye A., Laverdière M.R., 2009. Dairy callte manure improve soil productivity in low residue rotation systems. *Agronomy Journal*, 101 : 207-214 .
- [4] ANSTS (Académie Nationale des Sciences et Technique du Sénégal), 2011. Rapport Atelier international tenu à Dakar sur la Récupération et Valorisation des Terres Salées en Afrique. Consulté le 03 Janvier 2015 et disponible sur <http://hdl.handle.net/10625/48558>. 20p.
- [5] CSE, 2011. Portait d'information sur l'état de la terre et des ressources en eau et nutrition des plantes Sénégal. Consulté le 20 Mars 2016 et disponible sur <http://www.Cse.Sn/fao/ptsnevalg>. Htm.
- [6] PNAT, 1994. Plan National d'Aménagement du Territoire, Sénégal, 31p.
- [7] Wade I., David-Benz H., Egg J., 2004. Information et régulation des filières maraîchères au Sénégal. *Cahiers Agricultures*, 13:148-57
- [8] Tester M., Davenport R. J., 2003. Na⁺ transport and Na⁺ tolerance in higher plants. *Annals of Botany*, 91 : 503-27.
- [9] Ngom S., Bocar M. T., Traoré H. E., Cissé I., et Diop M., 2013. Bilan de l'Azote et du phosphore dans les exploitations agricoles de la région de Thiès au Sénégal. *International Journal of Biologicaland Chemical Sciences* 7 (4): 1545-1554.

- [10] Ngom S., Manga, A., Diop, M., Thiam, M.B., Rousseau, J., Cissé, I., & Traoré, S. (2013a). Étude de l'évolution des résidus de pesticides dans les produits horticoles de grande consommation au Sénégal. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 21 : 31-44.
- [11] Fall A., 2013. Etude de la contribution du phosphogypse associé au biogène à l'amélioration de la qualité et de la diversité de la flore dans la cuvette maraîchère de Wouta (département de Tivaouane, Sénégal). Mémoire de master II en Gestion des ressources naturelles et développement durable (GERENAD), Dakar, Sénégal. 46p.
- [12] Cissé I., Tandia A. A., Fall S. T., Diop E. S., 2003. Usage incontrôlé des pesticides en agriculture urbaine et périurbaine : cas de la zone des Niayes au Sénégal. *Cahiers Agricultures* 12 :181-6.
- [13] CNRF (Centre National de Recherche Forestière), 2012. Projet « Régénération et valorisation des sous produits de filao dans la zone des Niayes » fonds d'appui des Niayes phase II (FAN II), Canada – Sénégal. Rapport sur l'état d'exécution des activités du Projet N°: A-034895 - FAN II, 22p.
- [14] CECI (Centre canadien d'Etudes et de Coopération Internationale), 1998. Projet d'appui à l'entrepreneuriat paysan de la région des Niayes au Sénégal : plan de gestion du projet, 99p.
- [15] PAFS, 1996. Rapport annuel du Programme d'Action Forestier du Sénégal 120p.
- [16] Diagne A.B., 2008. La problématique du maraîchage dans la communauté rurale de Sangalkam, département de Rufisque. Mémoire de DEA, Département de géographie Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), Sénégal. 100p.
- [17] Faye E., 2009. Diagnostic partiel de la flore et de la végétation des Niayes et du Bassin arachidier au Sénégal : application de méthodes floristiques, phytosociologique, ethnologique et cartographique Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles. 266p.
- [18] AOAC, 1990. Official Methods Analysis, 15th Ed. AOAC. Washington, DC, USA. 69 - 88.
- [19] Sonko, 2012. Evaluation de l'impact d'un bio-compost combiné à un bio-fertilisant/bio-pesticides à base d'EM1 (effectives micro-organisms) sur la productivité agricole dans les Niayes de Mboro. Mémoire de Diplôme de Master II en Gestion Durable des Agro Ecosystèmes Horticoles-GEDAH. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 31p.
- [20] Compaoré et L.S Nanéma., 2010. Compostage et qualité du compost de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina faso. *Tropiculture*, 28, 4 : 232-237.
- [21] Eric C. et Vigneux J., 2005. Stabilisation par compostage de solides de lisiers de porcs provenant d'un séparateur centrifuge mobile. GSI Environnement, Sherbrooke (Québec), 12p.
- [22] Nanéma S.L., 2007. Compostage et évaluation de l'efficacité agronomique du compost de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso. Mémoire d'ingénieur, IPR/IFRA, Katiébougou (Mali), 67p.
- [23] Temgoua E, Ngnikam E., Dameni H., Kouedou Kameni G.S., 2014. Valorisation des ordures ménagères par compostage dans la ville de Dschang, Cameroun. *Tropicultura*, 32 (1): 28-36.
- [24] Mando A., Miedema, 1997. Termite-induced change in soil structure after mulching degraded (crusted) soils in the Sahel. *Applied Soil Ecology*, 6 : 241-249.
- [25] Weill A., Duval J., 2009. Les amendements organiques : fumiers et composts. In Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique et diversifiée. Consulté le 20 avril 2016 et disponible sur http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/MARAI_Chapitre_12Amendements.pdf
- [26] Bressoud F., Parès L., Lecompte F., 2003. Tomate d'abri froid. Fertilisation et restriction en azote : le standard actuel inadapté au sol. *Réussir Fruits et Légumes*, 220 : 30-31.
- [27] Awono J.P.M., Boukong A., Mainam F., Yombo G., Tchoutang G.N. & Beyegue D. H., 2002. Fertilisation des sols dans les monts Mandara à l'Extrême-Nord du Cameroun: du diagnostic aux recommandations. Colloque, Savanes africaines: des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis (27-31 mai 2002), Garoua, Cameroun.
- [28] Mrabet L., D. Belghyti, A. Loukili, Attarassi B., 2013. Etude de l'effet du compost des déchets ménagers sur l'amélioration du rendement de Mais et Laitue. Page consultée le 07/ 02/ 2013 ; disponible sur : <http://www.afrique-science.info>. ISSN 1813-548
- [29] El hanafi K. S., 2006. Compost tea effects on soil fertility and plant growth of organic tomato of *Solanum lycopersicum* Mill) in organic farming. IAMB Mediterranean Agronomic Institute of Bari. Published in collection Master of science IAMB-CIHEAM (International centre for advanced Mediterranean Agronomic Studies) n° 405.
- [30] Lee J. J., Park R. D., 2004. Effect of food waste compost on microbial population, soil enzyme activity and lettuce growth. *Bioresource Technology* 93 (1) : 21-28.
- [31] Sérémé A., Mey. P., 2007. Valorisation agricole des ordures ménagères en zone soudano-sahélienne. Cas de la ville de Bobo Dioulasso. *Sciences et Médecine. CAMES. Série A*, 05 : 64-71.
- [32] Tchabi I. V., Azocli D., Biaou G. D., 2012. Effet de différentes doses de bouse de vache sur le rendement de la laitue (*Lactuca sativa* L.) à Tchatchou au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 6(6) : 5078-5084. <http://ajol.info/index.php/ijbes>.

- [33] Biaou O.D.B, 2010. Valorisation de l'agriculture biologique: Effet de différentes sources d'engrais organiques sur le rendement et la qualité de la laitue et de la carotte sur sol ferrallitique au Sud Bénin. Mémoire d'Ingénieur Agronome FA/UP, 81p.
- [34] Tittonell P.A., De Grazia J., Chiesa A., 2003. Nitrate and dry matter concentration in a leafy lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivar as affected by fertilization and plant population. *Agricultura Tropica*, 36: 82-87.
- [35] Dapoigny L., Fleury A., Robin P., 1997. Relation entre la vitesse relative de croissance et la teneur en azote dans la laitue (*Lactuca sativa* L.). Effets du rayonnement et de la température. *Agronomie*, 17: 35-41.
- [36] Pieri C., 1989. Fertilité des terres de savane : Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Paris, ministère de la coopération-Cirad-Irat, 444p.
- [37] Huber G., Schaub C., 2011. La fertilité des sols : L'importance de la matière organique. Service Environnement-Innovation.42p.

Technologies, qualité et importance socioéconomique du poisson séché en Afrique

Technologies, Quality and socioeconomic importance of dried fish in Africa

Hissein O. Abdoullahi^{1,2,3}, François Tapsoba³, Flibert Guira³, Cheikna Zongo³, Lawane Idriss Abakar³, Abdelsalam Tidjani² & Aly Savadogo^{*3}

¹Laboratoire de Recherche sur les Substances Naturelles (LaRSN), Faculté des Sciences Exactes et Appliquées (FSEA), Université de N'Djamena, BP 1117, Tchad.

²Laboratoire de Recherche en Sciences des Aliments et Nutrition (LaRSAN), Faculté des Sciences de la Santé Humaine (FSSH), Université de N'Djamena, BP 1117, Tchad.

³Laboratoire de Biochimie et Immunologie Appliquées (LaBIA/CRSBAN), Université Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Fasso.

Soumis le : 18/09/2017

Révisé le : 30 /05/2018

Accepté le : 04/06/2018

Résumé

Les pertes post-captures constituent un problème reconnu dans la sous-région. En Afrique subsaharienne, environ 25 % du poisson sont perdus par manque de moyens efficaces de conservation et de transformation. Les techniques traditionnelles (le salage, le séchage et le fumage) sont des moyens utilisés pour conserver et améliorer la disponibilité du poisson. Dans les pays en développement comme le Tchad, la majeure partie des produits transformés ne sont pas pris en compte par les différentes structures gouvernementales. En effet, les diverses régions productrices ne bénéficient pas d'assistance et de conseils. La production et la consommation des poissons fumés et séchés sont de plus en plus courantes dans la zone sahélienne. Certaines techniques de séchage et de fumage traditionnelles ne respectent pas les bonnes pratiques d'hygiène et de fabrication et affectent la qualité hygiénique ainsi que les caractéristiques texturales et organoleptiques du produit fini. L'utilisation de produits chimiques non homologués lors du séchage et du stockage constitue un sérieux problème de santé publique. Il est donc important de recenser les technologies de séchage pratiquées en Afrique. Cette présente revue montre que pour obtenir des produits de bonne qualité hygiénique et nutritionnelle, l'utilisation des séchoirs améliorés et la sensibilisation des producteurs sur le respect des bonnes pratiques d'hygiène et de fabrication sont importantes.

Mots clés : *Poissons séchés-diagrammes- technologies de séchage-Afrique*

Abstract

The losses post-captures constitute a problem recognized in the under-area. In sub-Saharan Africa, 25 % of fish are lost approximately for lack of effective means of conservation and transformation. The traditional techniques (salting, drying and the manuring) are means used to preserve and improve the fish availability. In the developing countries like Republic of Chad, the major part of the processed products are not taken into account by the various governmental structures. Indeed, the various producing areas don't have any assistance and councils. The production and the consumption of smoked and dried fish are increasingly in the sahelian zone. Certain techniques of traditional drying and manuring don't respect the good practices of hygiene and manufacture and affect hygienic quality as well as the organoleptic characteristics and of the finished product. The use of unauthorized chemicals during drying and storage constitutes a serious problem of public health. It is thus significant to draw up the technologies of drying used in Africa. This present review shows that to obtain products of good quality hygienic and nutritional, the use of the improved driers and the sensitizing of the producers on the respect of the good practices of hygiene and manufacture are important.

Key words: *Dried fish-diagrams-technologies of drying-Africa*

* Auteur correspondant: alysavadogo@gmail.com

1. INTRODUCTION

Les pêches de capture et l'aquaculture dans le monde ont fourni 167,2 millions de tonnes en 2014 dont 93,4 % sont produits par les pêches de capture et 73,8 % par l'aquaculture. Environ 143 millions de tonnes des poissons sont destinés à l'alimentation humaine. Selon ces mêmes données, la production halieutique du continent africain était estimée à plus de 9,7 millions de tonnes en 2012, soit près de 6 % de la production mondiale. Au cours de ces 50 dernières années, l'offre mondiale de poissons destinée à la consommation humaine a accru plus rapidement que la population. Sur la période 1961-2013, elle a progressé de 3,2 % en moyenne par an, soit le double de la croissance démographique, ce qui a abouti à une augmentation de la disponibilité moyenne par habitant [1].

Plus de 200 millions d'Africains consomment régulièrement du poisson soit à l'état frais, soit le plus souvent à l'état fumé ou séché [2]. En Afrique, on distingue la pêche artisanale et la pêche industrielle. En effet, la pêche artisanale contribue à la lutte contre la pauvreté et à la sécurité alimentaire et nutritionnelle. Elle s'intègre dans l'élaboration des directives d'application volontaire visant à assurer la sécurité alimentaire et de l'éradication de la pauvreté [3]. La pêche industrielle correspond sur le terrain à celle se déroulant à bord de bateaux plus ou moins moderne, par opposition aux pirogues qui caractérisent la pêche artisanale. Cette pêche est pratiquée dans les zones côtières du Sénégal, Mauritanie et la Gambie.

Le poisson constitue aujourd'hui une source importante accessible d'aliments nutritifs et une source de protéines animales pour une grande partie de la population mondiale [4]. Les produits de pêche sont très appréciés avec une consommation individuelle moyenne de 8,50 kg par an [5]. Cependant, la conservation du poisson dans les pays en développement est difficile en raison du manque d'infrastructures adéquates de conservation et des conditions climatiques et environnementales qui concourent à sa dégradation [6]. En Afrique subsaharienne, le poisson-chat nord-africain (*Clarias gariepinus*) a remplacé le tilapia, en tant que poisson d'exploitations aquacoles depuis 2004. La dominance progressive des espèces de poisson-chat dans l'aquaculture est particulièrement prononcée au Nigéria et en Ouganda. Le Nigéria est le premier producteur de poisson-chat [1]. Au Mali, le savoir-faire repose sur une tradition millénaire qui a permis aux pêcheurs du fleuve Niger d'étendre progressivement leurs compétences techniques bien au-delà des frontières nationales: le Burkina Faso, le Cameroun, la Côte d'Ivoire, la Guinée, le Niger, le Sénégal et le Tchad [7]. Le poisson frais est une denrée hautement périssable. Il doit être conservé rapidement, transporté dans de bonnes conditions et traité dans des installations performantes et/ou adaptées, puis stocké et conditionné avant d'être commercialisé [1].

La transformation du poisson devient un besoin impérieux en vue de sa conservation pour des utilisations ultérieures. Le séchage solaire est la méthode la plus simple et la plus économique de conservation du poisson. Cependant, le processus de séchage a une incidence sur la qualité protéique. Pendant le séchage, la surface du poisson sèche plus rapidement et se durcit, enfermant ainsi l'humidité à l'intérieur, ce qui favorise la dégradation des protéines et l'oxydation des acides gras [8]. Le non-respect des règles d'hygiène et des bonnes pratiques de production agit sur la qualité du poisson séché notamment sur la texture, le goût et les qualités organoleptiques. Cette revue fait le point sur les technologies et les diagrammes de séchage utilisés en Afrique en vue d'améliorer la qualité du poisson.

2. GÉNÉRALITÉS SUR LE POISSON SÉCHÉ

2.1. Importance et rôle du poisson séché dans l'alimentation humaine

Le poisson reste une source de protéines animales de haute valeur nutritive [9]. La teneur en protéines du poisson dépasse celle de la viande de bœufs, de porc et de volailles. Il est très digestible et contient des acides aminés essentiels tels que: la lysine, la leucine, la valine, l'arginine, la méthionine, le tryptophane et l'histidine. Il contient également des acides gras polyinsaturés de la série n-3, précurseurs de prostanoïdes ayant un effet antithrombotique [10]. Le poisson est une source importante de vitamine A, vitamine B6 ainsi que de sels minéraux tels que le calcium, l'iode et le potassium [11-12]. Les concentrations en nutriments varient selon l'espèce de poisson. Le poisson pourrait jouer un rôle important dans l'amélioration de la sécurité alimentaire et du statut nutritionnel

en Afrique, car plus de 200 millions d'africains le consomment régulièrement. Il est une source importante de protéines et de minéraux pour les communautés rurales sous toutes les formes de consommation : frais, séché ou réduit en poudre. Les produits de pêche sont riches en vitamines : le poisson a été pendant longtemps la seule source de vitamine D et demeure un appoint notable en vitamines du groupe B (B1, B2, B6, B12) pour beaucoup de communautés. Il contient la vitamine A stockée sous forme de rétinol dans le foie, les intestins, le pancréas et les reins. La répartition de la vitamine A entre le foie et les viscères varient considérablement d'une espèce à une autre. Les vitamines E et K sont présentes également dans la chair du poisson [13]. La consommation de poisson est particulièrement précieuse pendant la grossesse, puis pendant les deux premières années de l'enfant (les 1 000 premiers jours) [4]. Il est en outre plus pauvre en matières grasses sous cutanées qui sont des esters. En plus, ses graisses sont excellentes pour la santé car renferment des acides gras polyinsaturés ayant la propriété de favoriser la baisse du taux de cholestérol. Le poisson est donc

recommandé dans l'alimentation pour la prévention des maladies cardiovasculaires. Il recèle des taux intéressants de phosphore, de calcium, de magnésium et d'iode [14]. Les carences en micronutriments touchent des centaines de millions de personnes, en particulier les femmes et les enfants des pays en développement. Plus de 250 millions d'enfants dans le monde sont exposés à une carence en vitamine A, 200 millions de personnes sont atteintes de goitre (20 millions d'entre elles ont des difficultés d'apprentissage dues à un déficit en iode), 2 milliards (plus de 30 % de la population mondiale) manquent de fer et 800 000 décès d'enfants par an peuvent être attribués à une insuffisance en zinc. Le poisson et les produits de pêche jouent un rôle majeur dans la sécurité alimentaire et nutritionnelle, la lutte contre la pauvreté et le bien-être général, et devrait résoudre tous ces problèmes [4]. Le poisson transformé fait partie de l'alimentation de base dans de nombreux pays tropicaux [15]. Il sert souvent à des préparations culinaires spéciales, tels que les ragoûts et les soupes et aussi les feuilles et gombo frais et secs. Ainsi, l'emploi de ces produits est étroitement lié aux habitudes alimentaires du consommateur. L'homme a besoin d'environ 100 g de protides par jour pour son alimentation. Ces protides sont d'origine végétale ou animale. Les principales sources de protéines animales sont la viande et le poisson [4]. Pour des millions d'Africains, le poisson est ainsi une source directe de protéines et de micronutriments d'une importance essentielle. C'est également la forme de produit la plus accessible physiquement et financièrement pour les ménages pauvres en milieu urbain et péri-urbain. Il contribue à l'autosuffisance alimentaire nationale de par les échanges commerciaux et l'exportation. Le traitement artisanal du poisson reste la méthode de conservation du poisson la plus utilisée en Afrique, malgré plusieurs tentatives d'introduction de système de congélation dans ces zones [16]. Les méthodes traditionnelles de transformation du poisson destiné à la consommation directe par séchage, fumage ou fermentation se pratiquent toujours dans les pays en développement. La FAO estime que le poisson constitue 22 % de la ration protéinique en Afrique subsaharienne. Cependant, dans les pays les plus pauvres, ce taux serait supérieur à 50 %, en particulier lorsque les autres sources de protéines animales sont inaccessibles. Dans les pays côtiers de l'Afrique de l'Ouest, où le poisson occupe une place importante, la proportion de protéine animale provenant du poisson est extrêmement élevée : 47 % au Sénégal, 62 % en Gambie et 63 % en Sierra Léone et au Ghana. En l'absence d'autres protéines provenant de la production locale lorsque la population a acquis une préférence pour le poisson, l'apport calorique du poisson peut atteindre 180 calories par habitant et par jour [1]. L'importance du poisson et sa place vitale dans le régime alimentaire, en particulier pour les nourissons, les enfants en bas-âge et les femmes enceintes sont aujourd'hui largement reconnues [17]. Dans le tableau 1 sont présentés quelques pays d'Afrique ayant une disponibilité annuelle de poisson par habitant de plus de 20 kg (Tab. 1).

Le premier groupe de pays, dits grands consommateurs de poisson, dont la consommation par habitant par an dépasse 20 kg comprend la Sierra Léone (34,2 kg), le Gabon (33,9 kg), le Ghana (27,2 kg), la Gambie (26,6 kg), le Congo (26 kg), la Guinée équatoriale (25,9 kg), le Sénégal (23,5 kg) et l'Egypte (22,1 kg).

Pays	Disponibilité annuelle de poisson/habitant (en Kg)	Ratio protéines de poisson/protéines animales	Pays	Disponibilité annuelle de poisson/habitant (en Kg)	Ratio protéines de poisson/protéines animales
Angola	6,6	27,1	Guinée	22,5	63,2
Bénin	9,4	28,5	Guinée équatoriale	4,9	23,0
Burundi	3,2	29,6	Libéria	16,0	60,2
Cap-Vert	25,3	30,6	Malawi	5,7	37,7
Comores	20,2	61,8	Oman	24,1	21,5
Congo, République démocratique	5,7	31,0	Ouganda	21,4	61,5
Congo, République	25,3	48,8	Sao-Tomé-et-Principe	36,3	47,4
Côte-D'ivoire	11,1	36,9	Sénégal	13,4	63,0
Gabon	22,6	61,9	Sierra-Leone	10,3	33,6
Gambie	44,6	35,0	Tanzanie	17,3	50,2
Ghana	23,7	61,7	Togo	9,8	30,0

Tableau 1 : Pays d'Afrique ayant une disponibilité annuelle de plus 20 kg de poisson/habitant
Source : [18]

Le deuxième groupe englobe les pays dont les quantités de consommation du poisson correspondent sensiblement à la moyenne mondiale, soit entre 10 et 20 kg. Ce groupe comprend le Cameroun et la Côte d'ivoire (18,1 kg), le Nigéria (17,1 kg), l'Angola (14,2 kg), le Bénin et l'Ouganda (13,5 kg), la Libye (13,8 kg), le Maroc, la Tunisie et le Togo (12,5 kg), la Namibie (12 kg), la Mauritanie et la Guinée (10 kg), le Tchad (6,8 kg) et le Burkina Faso, 1,4 kg.

3. IMPORTANCE SOCIOÉCONOMIQUE DU POISSON DANS LE MONDE ET EN PARTICULIER AU TCHAD

3.1. Dans le monde

Le poisson et les produits halieutiques constituent l'un des segments du secteur alimentaire mondial où les échanges commerciaux sont les plus nombreux, puisque l'on estime que 78 % des produits comestibles de la mer font l'objet d'une concurrence commerciale internationale. Les exportations de poisson et de produits halieutiques sont essentielles pour l'économie de nombreux pays et de nombreuses régions côtières, fluviales, insulaires et continentales [2].

Le commerce mondial du poisson et des produits halieutiques a connu un essor considérable au cours des dernières décennies, les quantités échangées s'étant accrues de plus de 245 % en 1976 et en 2014 de 515 % si l'on prend en considération uniquement le commerce du poisson destiné à la consommation humaine [4]. Exprimé en valeur, le commerce mondial du poisson et des produits halieutiques a également beaucoup progressé, puisque la valeur des exportations est passée de 8 milliards de dollars USD en 1976 à 148 milliards de dollars USD en 2014, soit une croissance annuelle de 8,0 % en termes nominaux et de 4,6 % en termes réels.

De nombreux pays en développement ont connu une hausse de la demande et des importations en 2009. Les deux années suivantes, le commerce a fortement rebondi avec une croissance globale de 15 % en 2010 et de 17 % 2011, atteignant ainsi une valeur de 130 milliards de dollars USD. Les exportations mondiales de marchandises ont connu une forte croissance ces 20 dernières années, atteignant 18 000 milliards de dollars USD en 2014, soit près de quatre fois la valeur enregistrée en 1995 [1].

3.2. Au Tchad

Le Programme pour les Moyens d'Existence Durable dans la Pêche (PMEDP) est un programme régional financé par le Département pour le Développement International (DFID) du Royaume Uni. Il est exécuté par la FAO en partenariat avec 25 pays africains de l'Afrique de l'Ouest et de l'Afrique centrale dont le Tchad. Son objectif s'inscrit dans la lutte pour la réduction de la pauvreté par l'amélioration des moyens d'existence durables des personnes pauvres exerçant dans le sous-secteur de la pêche. Pour atteindre cet objectif, le PMEDP développe des projets parmi lesquels le Projet Pilote sur l'Evaluation des Pertes post capture [19]. Avant l'année 2003, l'économie tchadienne est dominée par le secteur agricole dont les principales productions sont les céréales, le coton, la gomme arabique, l'élevage et la pêche. Mais le secteur agricole, encore très peu modernisé, n'arrive pas à résorber le chômage des jeunes de plus en plus nombreux dans les centres urbains. Pour le secteur de la pêche, la valeur ajoutée à la production tourne autour de la moyenne de 21,564 milliards de francs CFA dont 4,607 milliards proviennent du poisson frais et les 16,956 milliards de francs CFA du poisson séché et fumé entre 2000 et 2005. La contribution de la pêche en valeur au PIB en moyenne sur les six ans tourne autour de 1,30 % au PIB selon les estimations de comptes nationaux.

4. DIAGRAMMES ET TECHNOLOGIES DES POISSONS SECHES

4.1. Pays de l'Afrique Centrale

L'augmentation des importations au fil du temps traduit le fait que la demande de l'Afrique centrale en matière de consommation de poisson n'est pas satisfaite par la production maritime et continentale. Le pic de production semble avoir été atteint au début des années 2000 avec près de 580 000 tonnes [20]. Les techniques de transformation en Afrique centrale souvent médiocres entraînent des pertes estimées à 20 %. La durée de conservation du poisson fumé varie en fonction de la saison, et va de 5 jours pendant la saison des pluies à 14 jours pendant la saison sèche. Le contrôle sanitaire s'applique systématiquement à tous les poissons importés de manière formelle. Pour le poisson fumé et séché vendu au Cameroun ou empruntant les filières d'exportation informelles vers les pays voisins, aucun contrôle sanitaire n'est réalisé. [21]. La qualité est souvent pourtant très passable. En Centrafrique le potentiel de production, corollaire aux variations climatiques, avoisine 20 000 à 50 000 tonnes [20]. Le bassin hydrographique du nord par exemple renferme une ichtyo-faune abondante et bien variée caractérisée par 195 espèces (*Clarias lazera*, *Oriochromis Niloticus*). Les captures consistent dans une large mesure en espèces de grande taille et de croissance rapide telles que le poisson-chat (*Claria*), le capitaine).

4.1.1. Au Cameroun

Selon les technologies de séchage traditionnel, la tête, les intestins, les écailles, les nageoires et l'arête centrale du poisson sont enlevés, puis tranché en deux. Après l'avoir lavé et entaillé, le poisson est salé suivant la méthode Kenchsur (une natte posée sur le sable) [22]. La quantité de sel représente 8 % du poids du poisson frais. Le poisson est recouvert à nouveau dans une deuxième natte pendant 12 h afin de retirer une bonne partie de l'eau contenue dans sa chair. Ensuite, on retire davantage d'eau en tapant du pied sur les nattes qui recouvrent le poisson. Enfin, il est suspendu pour le sécher soit au soleil ou à l'ombre pendant 5 à 12 jours en fonction de l'humidité et de la taille du poisson. Le produit fini est soit blanchâtre (poisson blanc) ou brun jaunâtre (poisson gras) [23].

4.1.2. Au Tchad

Pays continental en plein cœur de l'Afrique, le Tchad est l'un des pays sahéliens à disposer d'importantes pêcheries et un potentiel halieutique pouvant contribuer à la sécurité alimentaire et à l'accroissement de l'économie nationale. Les superficies totales des pêcheries varient de 24 000 à 70 000 km² suivant les années hydrologiques [24].

a. Technique de séchage

Le séchage est un processus physique par lequel le poisson est exposé à l'air et à la lumière naturelle directe. La durée du processus de séchage des produits halieutiques dépend de la nature du produit, de l'intensité du soleil et des surfaces de séchage utilisées. La forme de séchage la plus simple consiste à exposer le poisson à la chaleur solaire en posant les produits soit à même le sol, soit sur des nattes

étendues sur le sol ou sur des treillis. Le séchage solaire est la méthode la plus simple et la plus économique couramment utilisée. Le poisson est généralement séché au soleil pendant 3 à 10 jours mais la durée de séchage sur 1 à 3 jours est plus courante [22].

Pendant le séchage, la surface du poisson sèche plus rapidement et se durcit, enfermant ainsi l'humidité à l'intérieur. Cela ralentit le processus de séchage et favorise le pourrissement et l'oxydation des acides gras. La dégradation des protéines est accélérée quand les produits sont soumis à des températures élevées sur une durée prolongée. Comme le séchage solaire traditionnel est tributaire des conditions météorologiques, certaines pertes qualitatives en résultent si le séchage est inadéquat [3].

b. L'importance du séchage au Tchad

Le séchage du poisson dans l'Antenne de Bol chef-lieu du Lac Tchad se pratique sur 3 sites : à *Ortomochi*, dans l'île de Taffa, à *Mahada* au bord du Chari et à *Kinasserom*, dans une île du Lac Tchad. Les équipements adéquats de séchage disponibles sont différents d'un site à un autre, ce qui se traduit par des méthodes et des pratiques différentes. Le séchage se fait sur des litières de végétation « *Leptadenia pyrotechnica* » abondante dans la région, pour des raisons économiques ainsi que du caractère saisonnier la de pêche. La quantité transformée par les pêcheurs atteint 5 sacs de poisson séché, soit 60 kg de poisson par semaine. Ce qui correspond à 30 sacs par campagne de pêche de 6 mois, soit 1,8 tonne. En période de bonne pêche, on peut obtenir 1 tonne de poisson séché par campagne et 500 kg en saison faible. Le poisson est exposé au soleil, pendant 15 jours en saison sèche et 20 jours en saison pluvieuse. En saison pluvieuse, le séchage se pratique sur claies surélevées (Fig. 1) et la claie à poisson est couverte d'une feuille de polyéthylène [25]. On aménage une haie tout autour avec des branches de *Balanites aegyptiaca*.



Figure 1: Séchoir à claies inclinées Lac Fitri – Yao

c. Diagramme artisanal de poisson séché

Les poissons après débarquement, seront lavés 2 fois, puis étalés sur claie. On fait le retournement 1 à 3 fois par jour à l'aide d'une baguette ou par la main, les produits après séchage sont ramassés à la main ou en soulevant la natte. Cette méthode pourrait affecter la qualité du poisson séché car les bonnes pratiques d'hygiène et de fabrication ne sont pas respectées. Pour le diagramme impliquant un insecticide non homologué, les poissons seront lavés puis placés dans un bassin contenant la solution d'insecticide localement appelé *fia-fia* (Fig. 2). Les poissons sont traités par cette solution soit par immersion ou par aspersion puis étalés sur claie pour séchage. Par ailleurs, cette solution est ajoutée si les poissons sont gros afin de les protéger contre les rongeurs. Les poissons séchés sont stockés dans une sorte de grenier préalablement traité avec la même solution par aspersion à la main. Cela permet de conserver le poisson 2 à 3 mois en sécurité.

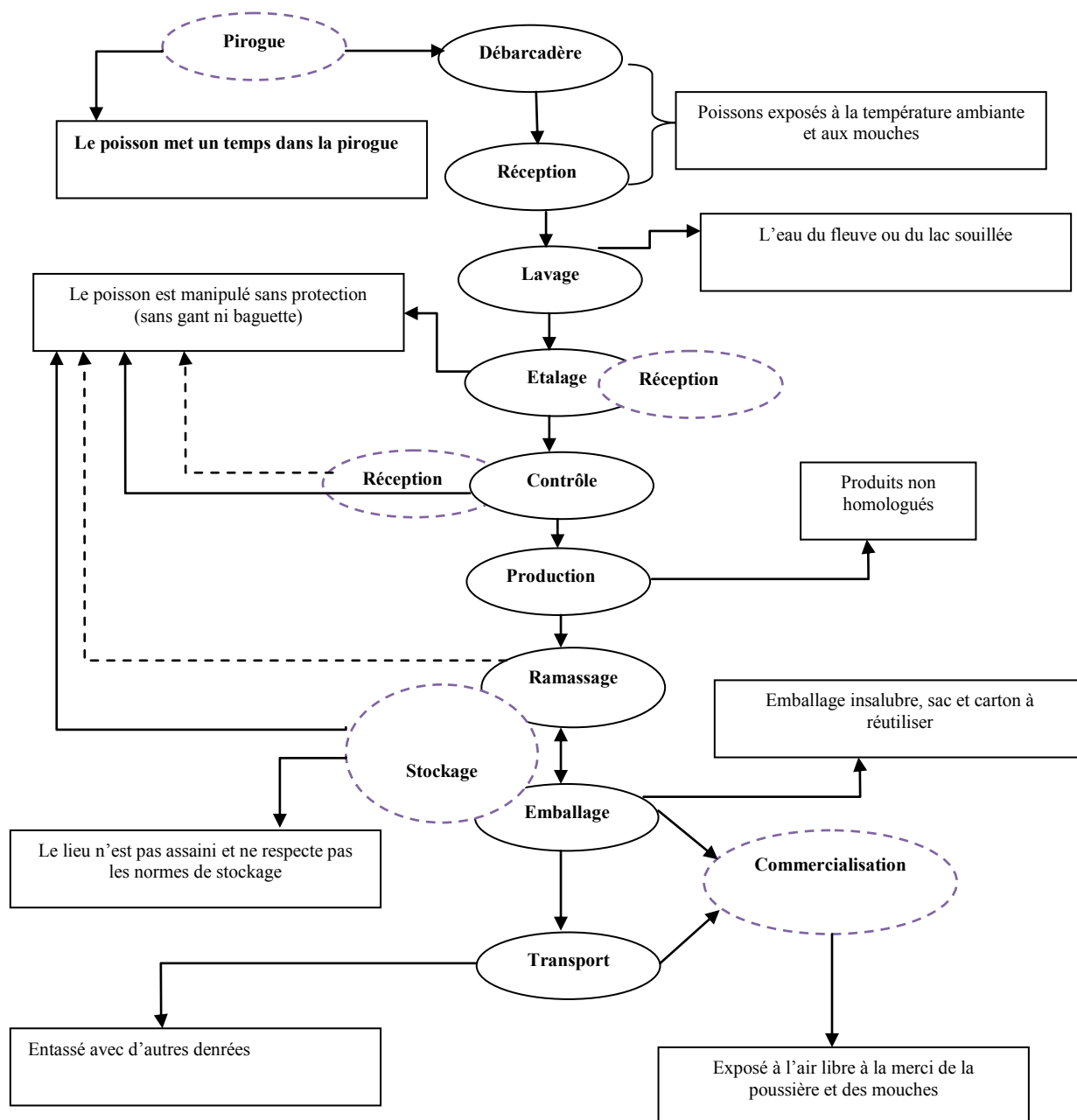


Figure 2: Diagramme de production artisanale du poisson séché - **Source :** [23]

-----> = processus est discuté et ne trouve pas l'adhésion de tout le monde
 —————> = processus consensuel

Dans ce diagramme, on constate que les poissons mettent du temps dans la pirogue, sont exposés aux mouches et manipulés sans protection et l'emballage est insalubre. Le lieu de stockage ne répond pas aux normes. Tous ces facteurs peuvent être à l'origine de contamination du produit fini (Fig. 2). Le «*fia-fia*» est l'un des produits chimiques non homologués provenant du Nigeria et couramment utilisé par les transformateurs de poisson dans l'Antenne de Bol (Lac Tchad). Le poisson ainsi traité est prêt à être séché à l'abri des mouches et autres insectes. L'utilisation de ce produit chimique non homologué peut affecter la qualité des poissons séchés. Il pourrait être toxique pour les consommateurs et il agit aussi sur la texture de la chair du produit fini et aussi sur le goût. Le séchage traditionnel dans le lac

Fitri se fait à même le sol (Fig. 3) et sur claie de séchage en bois ou claie traditionnelle (Fig. 4) et l'environnement de séchage est très sale, et mal assainie.



Figure 3 : Séchage du poisson au Lac Fitri



a. Claie traditionnelle, Lac Tchad



b. Claie en bois, Lac Fitri

Figure 4 : Différentes claies de séchage

Dans les îles, il n'y pas de latrine. Le système de stockage est inadéquat. Les commerçants grossistes utilisent lors de stockage des poissons séchés avec un produit chimique appelé *Sim* en langue arabe locale (c'est-à-dire poison) pour détruire les ravageurs et les insectes qui rongent la chair du poisson séché. Cependant, ce produit agit sur la qualité du produit fini et aussi sur la qualité organoleptique et pourrait causer de problèmes de santé pour les consommateurs [24].

Conditions de séchage

➤ **La température de l'air:** l'évaporation de l'eau produit un effet de refroidissement. Au début du séchage, la température du poisson est réduite en dessous de la température ambiante, après une brève période, elle parvient à une valeur stable. A cette valeur stable, l'énergie calorifique nécessaire pour l'évaporation est équilibrée par la chaleur fournie par l'air environnant. L'air chaud fournit davantage d'énergie calorifique et à condition que la vitesse de l'air et l'humidité relative permettent un taux élevé de renouvellement d'air, le taux de séchage sera assuré [25];

➤ **La surface du poisson :** plus cette superficie est grande plus s'accroît le taux de séchage. Si un poisson est ouvert, la superficie augmente en comparaison avec le poids et l'épaisseur, le temps de

séchage sera donc plus rapide. Si le poisson a une teneur élevée en matières grasses, cela retarde le séchage ; plus le poisson est épais et plus l'eau des couches médianes doit migrer pour parvenir à la surface ;

- **La température du poisson** : la diffusion de l'eau des couches les plus profondes jusqu'à la surface est plus grande à température élevée ;
- **La teneur en eau** : au fur et à mesure que la teneur en eau baisse le taux de mouvement vers les couches superficielles est réduit. Dans certaines conditions, lorsque le taux constant de séchage a été très rapide, la surface du poisson devient « cuirassée » et le mouvement d'humidité des couches les plus profondes vers la surface est empêché [25];
- **Humidité relative (HR)**: si l'air est pleinement saturé de vapeur d'eau (HR 100 %), il ne peut pas transporter une quantité quelconque d'eau supplémentaire et donc aucun séchage de poisson ne se produit; Si l'HR est inférieure à « 100 % », l'air a l'aptitude d'absorber de l'eau et le séchage se poursuit. Plus l'humidité relative est basse et plus l'air peut absorber d'eau et plus le rythme de séchage s'accélère ;
- **La vitesse de l'air** : plus la vitesse de l'air sur le poisson est grande, plus le taux de séchage est grand [25-26].

5. PAYS DE L'AFRIQUE DE L'OUEST

5.1. Au Burkina

La pêche artisanale au Burkina Faso se caractérise par sa faible productivité et la prédominance de modes d'exploitation rudimentaires. Cependant, depuis quelques années, un souci de production et de conservation des ressources halieutiques caractérise les systèmes de gestion en vigueur au Burkina Faso. Il se traduit par l'érection de grandes pêcheries (supérieures à 5 000 ha) en périmètres aquacoles d'intérêt économique [5]. En 2006, plus de 32 000 pêcheurs et leurs familles vivaient des produits de la pêche qui sont répartis comme suit: 8 500 pêcheurs, 3 500 employés à la transformation du poisson, 250 commerçants de poisson frais et 250 autres acteurs de la filière [18]. Le potentiel d'aquaculture intensive peut atteindre 20 000 tonnes par an pour une productivité moyenne de 100 kg/ha/an réalisable en apportant des aménagements adéquats. La consommation moyenne de poisson à l'échelle du pays était de 5 kg/pers/an pour l'année 2012 contre 7 kg au Mali, 12 kg au Sénégal et 15 kg en Côte d'Ivoire [27-28].

Les produits de la pêche sont utilisés sous deux formes, à savoir: à l'état frais ou transformé. En zone urbaine, le poisson est essentiellement mis sur le marché à l'état frais. En revanche, dans les villages et villes moyennes, le poisson transformé (surtout fumé) est le plus offert. On estime à 85 % la consommation à l'état frais et 15 %, celle à l'état transformé. Les poissons frais concernent essentiellement des poissons du groupe des perciformes (*Tilapia* et capitaine notamment) et dans une moindre mesure, les siluriformes (*Silures*, *Bagridae*), ceux-ci étant préférés fumés-séchés. Les poissons transformés essentiellement fumés-séchés (14 %) et salés-séchés ou fermentés-séchés (1 %), comprennent les perciformes (*Tilapia*, capitaines, *Alestes*, *Brycinus*, etc.), les siluriformes sont refusés par les mareyeurs comme (*Alestes*, *Brycinus* et *Synodontis*). La commercialisation du poisson est assurée par 3 000 mareyeurs, transformateurs et revendeurs qui s'approvisionnent sur les sites de production avec des moyens de transport souvent défectueux et des structures de conservation inadaptées [30]. Donc, il y a similitude de pratiques au Tchad et au Burkina Faso dans le traitement des poissons séchés et le diagramme de transformation artisanale, mais au Burkina, il n'y a pas d'utilisation de produits chimiques non homologués.

L'état burkinabé multiplie les systèmes d'aquaculture dans les zones de plaine comme les vallées de Sourou et de Bagré, ses zones ont de potentiels exceptionnels sur le plan de production des poissons tels que les carpes et autres espèces. Les objectifs généraux poursuivis par le Burkina Faso dans le domaine des ressources halieutiques sont d'accroître et de diversifier durablement la production halieutique et de contribuer à l'amélioration des revenus des communautés de pêcheurs [28].

5.2. Au Togo

La technique du séchage concerne généralement les petits poissons, les poissons de taille moyenne et les poissons plats (carpe et sardine). Le poisson est lavé, écaillé, éviscéré ou ouvert par le ventre avant d'être séché au soleil pendant quelques jours. Certaines espèces de poisson de petite ou très petite taille sont simplement lavées et séchées directement. Dans certains cas, le séchage est précédé d'une opération de saumure pendant 6 à 24 heures. Le poisson est ensuite lavé et séché au soleil. Le séchage est fait de manière traditionnelle, c'est-à-dire sur la paille, sur une bâche en plastique ou sur un sol dur (chape, roche, etc) [31].

5.3. Au Sénégal

Le Sénégal, deuxième grand producteur de poisson en Afrique de l'Ouest avec des captures annuelles avoisinant les 450 000 tonnes derrière le Nigéria (530 000 tonnes) et devant le Ghana (344 000 tonnes) [32]. Au Sénégal, la pêche et la transformation du poisson sont des activités anciennes qui ont une grande importance sur le plan économique, social et culturel, sachant que le poisson couvre plus de la moitié des besoins en protéines, surtout la sardinelle fumée, salée et séchée [33]. Dans le diagramme de séchage, les procédés de salage séchage au Sénégal comportent deux phases : la préparation du poisson avant salage et le salage et séchage. En ce qui concerne la préparation, après réception dans des bacs propres, le poisson est écaillé, étêté ou non, éviscéré soigneusement, ouvert sur le ventre en portefeuille, tranché de part et d'autre de la colonne vertébrale surtout pour les pièces épaisses, lavé, rincé et égoutté. Après préparation, le poisson peut être salé selon deux variantes en fonction de la teneur en graisse. Le salage à sec pour les espèces maigres et le salage en saumure pour les espèces grasses. Dans le cas du salage à sec, le poisson préparé est salé par alternance de couches de poissons et de sel, étalé sur une plateforme dallée propre ou de préférence dans une cuve fermée pourvue de palette sur le fond et au niveau des côtés de trous d'évacuation. La quantité de sel nécessaire est de 30 à 40 % du poids frais. La durée de salage est de 3 jours. Il est recommandé d'utiliser du sel fin et du sel en gros cristaux dans une proportion de 2/1. A la sortie de la cuve de salage, le poisson est rincé et le sel éliminé. Il est étalé ensuite sur des claies de séchage pendant 3 à 5 jours [34].

5.4. Au Mali

En 2003, le Mali a produit au total 101 008 tonnes de poissons ; ce qui fait de lui, un des premiers pays africains producteurs de poisson d'eau douce [35]. Grâce à cette forte production, le Mali est pratiquement auto-suffisant en poisson, du moins lors des années de crues moyennes ou bonnes (production supérieure à 100 000 tonnes). Le poisson constitue la première source de protéines animales de la population malienne. La consommation de poisson est d'environ 10,5 Kg/an/habitant, à comparer avec celle de la viande qui est de l'ordre 7,8 Kg /an/habitant [8]. Dans les États côtiers de l'Afrique de l'Ouest où le poisson occupe une place centrale dans l'économie locale depuis des siècles, la proportion de protéines animales provenant du poisson est extrêmement élevée : 47 % au Sénégal, 62 % en Gambie et 63 % en Sierra Léone et au Ghana. La contribution calorique du poisson est d'égale importance. En l'absence d'autres protéines provenant de la production locale et/ou lorsque la population a acquis une préférence pour le poisson, l'apport calorique du poisson peut atteindre 180 calories par habitant et par jour [3].

6. PAYS DE L'AFRIQUE DU NORD ET DU SUD

Les plus grands pays producteurs africains de ressources halieutiques, sur la période 2008-2012, sont respectivement l'Égypte (1,24 million de tonnes), le Maroc (1,08 million de tonnes), le Nigéria (0,82 million de tonnes), l'Afrique du Sud (0,61 million de tonnes) et l'Uganda (0,49 million de tonnes). Ces cinq premiers producteurs représentent à eux seuls, un total de production halieutique de 4,2 millions de tonnes, soit environ la moitié de la production halieutique africaine sur la même période [36]. Dans ces pays, les industries de séchage et fumage sont les plus rependues que le séchage traditionnel.

7. PROBLEMES DE SANTE LIES A LA CONSOMMATION DU POISSON SECHE EN RAPPORT AVEC LA TECHNOLOGIE UTILISEE

7.1. Qualité microbiologique et santé

Malgré le fait que le poisson soit une source vitale de protéines animales et de micronutriments dans un grand nombre de communautés rurales, il peut être également à l'origine de toxi-infections graves avec des conséquences sanitaires, politiques et économiques [37]. En effet, de par sa richesse en protéines et en nutriments, le poisson constitue également un terrain idéal pour la croissance microbienne. Selon les différentes technologies, on constate qu'une mauvaise manipulation et le non-respect des règles élémentaires d'hygiène par les transformateurs et les producteurs, pourraient provoquer une contamination et une croissance des germes pathogènes et ou indésirables [1].

7.2. Qualité physico-chimique et santé

Le poisson constitue une partie importante de l'alimentation humaine et il n'est donc pas surprenant que de nombreuses études aient été menées sur la pollution par les métaux (plomb, chrome, cadmium) chez les différentes espèces de poissons comestibles [38]. Ces contaminations proviennent généralement des activités humaines. Au Maroc par exemple, des cas de contamination par les métaux lourds dus aux activités des industries ont été signalées. Ces métaux sont dangereux pour la santé humaine et pourraient provoquer le cancer. A cela, s'ajoute l'effet des amines biogènes qui sont issus de la dégradation enzymatique du groupe acide (groupe carboxyle) des acides aminés dans le poisson séché. Cette altération du poisson qui génère des amines biogènes en particulier l'histamine ou scombrottoxine peuvent avoir des effets toxicologiques sur l'homme et constituent un sérieux problème de santé publique. Outre leur toxicité potentielle, les amines biogènes sont utilisées pour l'évaluation de la qualité hygiénique de différentes espèces marines et d'eau douce [39].

8. DIAGRAMME TECHNOLOGIQUE AMÉLIORÉ ET APPLICATION DE LA MÉTHODE HACCP ET D'UN PMS POUR UNE QUALITÉ SAINTE DU POISSON SÉCHÉ

L'utilisation par les producteurs de poisson séché du diagramme technologique amélioré (Fig. 5) [23], le respect de bonnes pratiques d'hygiène et de fabrication ainsi que l'application de la méthode HACCP (Système d'analyse des risques-points critiques pour leur maîtrise) et un plan de maîtrise sanitaire permet l'obtention de poisson séché de qualité saine et d'en assurer sa sécurité sanitaire.

Des mesures sanitaires adéquates doivent être prises car toute surface en contact avec les denrées alimentaires est une source potentielle de contamination microbienne. Ainsi, pour garantir l'hygiène et la qualité du poisson séché, une série de mesures doivent être entreprises.

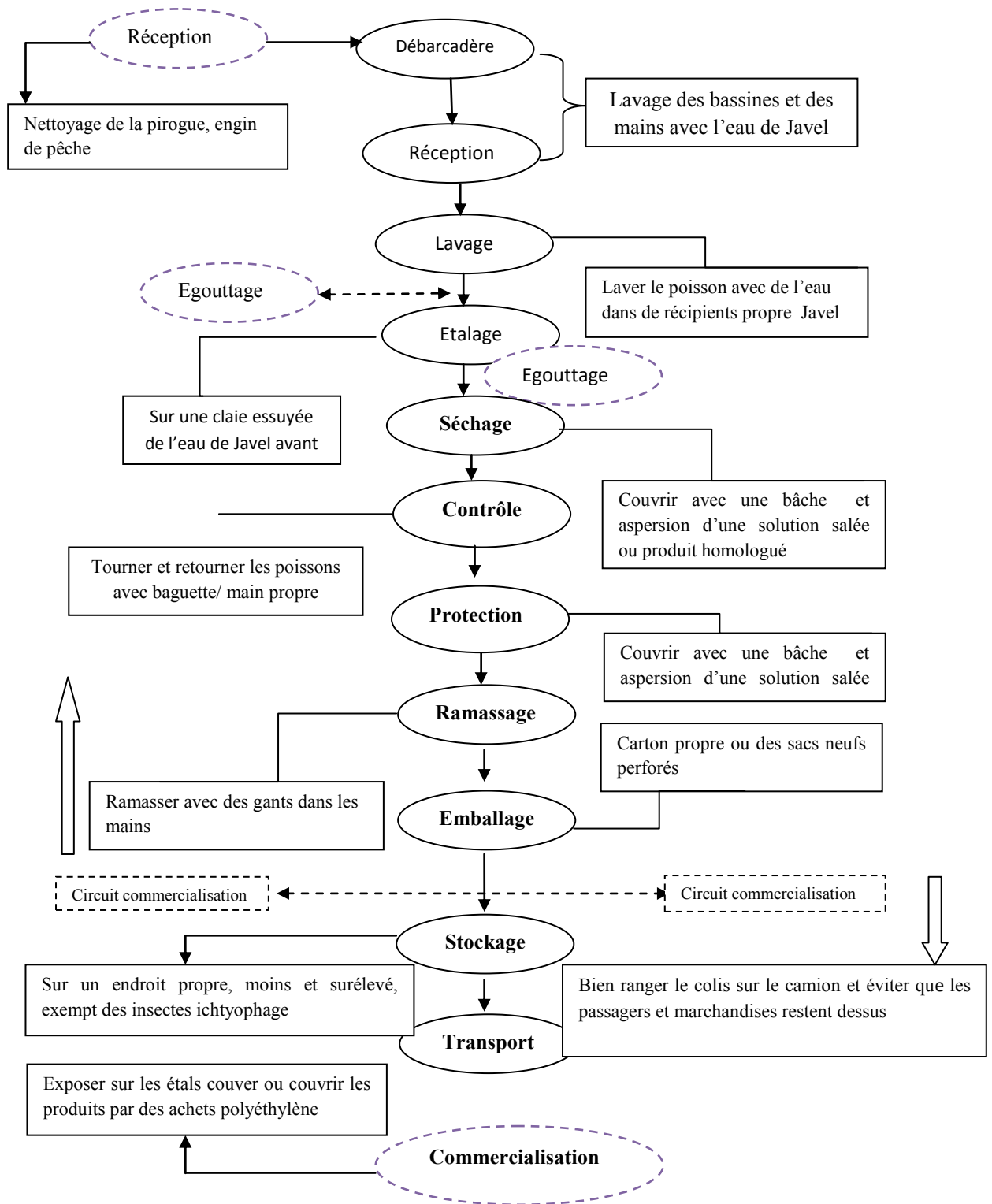


Figure 5 : Diagramme amélioré de production du poisson séché

Source : [23]

8.1. Hygiène des locaux, des installations et des équipements

- ✓ Les zones de production et les stations de conditionnement doivent être bien propres pour éviter tout risque de contamination.
- ✓ Toutes les surfaces et les équipements qui rentrent en contact direct avec les produits doivent être sains et nettoyés avec de l'eau potable et de l'eau de javel ou le savon en poudre ou autres détergents en quantité suffisante.
- ✓ Toutes les surfaces en contact avec les produits alimentaires doivent être lisses et non poreuses.
- ✓ Les surfaces extérieures qui ne sont pas en contact avec les produits devraient être disposées de manière à ce qu'elles puissent empêcher les insectes, les ravageurs ou les bactéries de rentrer en contact direct avec les produits.
- ✓ Après le travail, les équipements et le matériel devraient être nettoyés et rangés dans un lieu propre. L'atelier doit être en bon état et entretenu régulièrement.
- ✓ Les équipements doivent être conçus de manière à ce que leur contenu soit à l'abri de toute contamination extérieure.
- ✓ La propreté des équipements et du matériel doit être surveillée et respectée constamment.
- ✓ Les germes pathogènes pouvant être présents sur les sols, les équipements de préparation des poissons ne doivent pas être mis par terre.
- ✓ L'emballage doit être adéquat, le stockage des produits séchés doit répondre à des impératifs de sécurité tels que l'aménagement de locaux adaptés.

8.2. Hygiène du personnel

L'hygiène des transformateurs et transformatrices et les pratiques sanitaires sur les lieux de production sont des facteurs essentiels de contrôle de la contamination. Les prescriptions d'hygiène personnelle doivent être respectées par les manipulateurs ou les transformateurs, car ceux-ci représentent une source potentielle de contamination des produits alimentaires, ainsi donc :

- ✓ Les transformateurs et transformatrices doivent être en bonne santé et bénéficier d'un suivi médical régulier. Une visite médicale régulière est recommandée tous les 6 mois. Les manipulateurs souffrant des maladies infectieuses, de tuberculose, de diarrhée, des maux d'estomac, des maladies de la peau et des écoulements des yeux, des nez (rhumes) et des oreilles ne seront pas autorisés à manipuler les produits alimentaires jusqu'à ce qu'ils soient complètement guéris.
- ✓ Les vêtements protecteurs, les chaussures, les coiffures et les gants doivent être portés sur les lieux de travail et non en dehors des ateliers pour éviter toute sorte de contamination.
- ✓ Les personnels doivent éviter de fumer, de manger, de cracher ou de se moucher dans les ateliers de production.
- ✓ En cas de blessure, elle doit être soignée et pansée. Les pansements doivent être imperméables et comporter une bande métallique approuvée par le service médical. Il faut éviter de manipuler les produits alimentaires avec des plaies ouvertes.
- ✓ Les mains doivent être lavées avec du savon après avoir été aux toilettes, après avoir mangé ou en d'autres circonstances. Il faut se laver les mains même quand on porte les gants.
- ✓ Après s'être lavé les mains, il faut les sécher avec un essuie-main à usage unique.
- ✓ Les vernis à ongle, les faux ongles et le maquillage, les faux cils, les montres bracelets et les bijoux sont interdits dans les ateliers de production.

9. CONCLUSION

Les technologies de séchage diffèrent d'un pays à l'autre mais il y a toujours des similitudes entre celles des pays de l'Afrique centrale et de l'Ouest et du Sud et de l'Est. Sauf que dans certains pays, on applique le salage et la saumure comme au Sénégal et au Mali. Cela pourrait limiter la contamination microbienne et par les mouches. Vu l'importance du poisson pour les populations de la zone sahélienne, il est nécessaire de préserver sa qualité nutritionnelle et hygiénique au cours de sa transformation. Le poisson séché est plus consommé au Tchad et en Afrique subsaharienne. Il est impératif de proposer des solutions pour une meilleure transformation. L'utilisation de produits

chimiques non homologués dans le stockage de ce produit, le non-respect des règles d'hygiène et des bonnes pratiques de fabrication pourraient causer de problèmes de santé publique.

Pour obtenir des produits séchés de qualité saine, il faudrait :

- utiliser des séchoirs améliorés qui s'avèrent très importants, pour une meilleure qualité saine du poisson séché ;
- sensibiliser les producteurs sur la dangerosité liée à la consommation des produits de mauvaises qualités hygiéniques et sur le respect des bonnes pratiques d'hygiène et de fabrication ;
- Éviter l'utilisation des produits chimiques non homologués.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. FAO, 2016. La Situation mondiale de pêche et de l'aquaculture, contribué à la sécurité alimentaire et la nutrition pour tous, Rome. 229p.
- [2]. World Fish Centre, 2005. Le poisson et la sécurité alimentaire en Afrique. Egypte. 2p.
- [3]. FAO., 2014. La Situation mondiale de pêche et de l'aquaculture, première partie, organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, département des pêches et de l'aquaculture de la FAO, Rome. 229p.
- [4]. FAO., 2006. Vue générale du secteur des pêches National au Burkina Faso, profils des pêches et de l'aquaculture par Pays. 19p.
- [5]. FAO., 2000. United Nations food and Agriculture organization, fao yearbook—fishery statistics capture production, Vol. 86(1), 99-100.
- [6]. Anihouvi V.H., Huonhouigan J.P. & Ayernor G.S., 2005. La production et la commercialisation du landouin un condiment à base de poisson fermenté du Golfe du Benin *Cahier agri*, Vol. 4(3), 323-330.
- [7]. Breuil C., & Quensière J., 1995. Éléments d'une politique de développement durable des pêches et de la pisciculture au Mali. *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome*.
- [8]. Ariyawansa S., 2000. The evaluation of functional properties of fish meal, United Nations University, Fisheries Training Programme: Sri Lanka. 25p.
- [9]. Abdelrahim A.M., Tidjani A., Doutoum A.A., Barro N. & Traoré A.S., 2012. Evaluation de la qualité microbiologique des poissons braisés et de leurs assaisonnements vendus dans les rues de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso). *J. Microbiol. Hyg. Alim*, Vol. 23(69), 47-54.
- [10]. Oladipo I.C. & Bankole S.O., 2013. Nutritional and microbial quality of fish and dried, *Clarias gariepinus* and *Orachrumis niloticus*. *Int. J. Appl. Microbiol and Biotechnol.*, Vol. 3, 1-6.
- [11]. Abdoullahi S.A., Abolude D.S. & Andega R.A., 2001. Nutrient quality of four oven dried fresh water catfish in Northern Nigeria. *J. Trop. Biosci.*, Vol. 1(1), 70-76.
- [12]. Amiengheme P., 2005. The importance of fish in human nutrition. A paper delivered at a fish culture forum. *Federal Department of Fish Farmers, Abuja*. 21p.
- [13]. Bourgeois C., 2003. Les vitamines dans les industries agroalimentaires. (Collection sciences & technique agroalimentaires). Ed. Tec & Doc Lavoisier.
- [14]. Dicko A., Dansoko F.D. & Coulibaly T., 1990. «Session de Recyclage/formation continue en pêche pisciculture pour techniciens». Bamako du 03 au 15 décembre 1990. Tome 1. Ichtyophage et pêche, transformation et conservation.
- [15]. FAO., 1988. Rapport sur les pêches. (78-80) in: Compte rendu de la consultation d'experts FAO sur la technologie du poisson en Afrique. Abidjan, Côte d'Ivoire. 25-28.
- [16]. Keita D., 2005. Contribution à l'étude de la qualité des poissons transformés (fumés, séchés) à Bamako, Mopti, Niono et Sélingué, diplôme d'état, mémoire pour obtenir le grade de docteur en pharmacie, Université de Bamako, Faculté de Médecine de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie. 139p.
- [17]. FAO., 2008a. Vue générale du secteur des pêches National de la République du Tchad, profils des pêches et de l'aquaculture par Pays. 18p.
- [18]. Anon., 2000. Communication de la Commission au Conseil et au Parlement européen. COM 724, Bruxelles: Commission européenne. 20p.
- [19]. Themoi D.L.K. & Inseed L.D., 2006. Evaluation de la contribution de la pêche à l'économie du Tchad, Programme pour des Moyens d'Existence Durables dans la pêche (PMEDP), projet Pilote 3 «Moyens d'existence améliorés dans le secteur post-capture». 31p.
- [20]. ACPFish II., 2013. Révision et mise à jour des résultats du projet « Opportunités et obstacles au commerce durable intra et extra régional des produits de la pêche maritime et continentale en Afrique Centrale. 73p.

- [21]. Doe P.E., 2002. Fish drying, in Safety and quality issues in fish processing, H.A. Bremmer, Editor, Woodhead Publishing Limited: Cambridge, Angleterre. 250p.
- [22]. Gamane K.A., 2007. Evaluation physique des pertes post capture des produits de la pêche avec les communautés de Mitteriné Lac Tchad, institut AVD-Tchad, mémoire pour la licence professionnelle en gestion de l'environnement. 63p.
- [23]. Abdoullahi H.O., Zongo C., Tapsoba F., Tidjani A. & Savadogo A., 2016. Evaluation de la qualité hygiénique et des paramètres physicochimiques des poissons séchés vendus dans les villes de N'Djamena (Tchad) et de Ouagadougou (Burkina Faso). *Revue de Microbiologie Industrielle Sanitaire et Environnementale*, Vol. 10(1), 13-32.
- [24]. Brigitte M.B., Brigiet A.B & Carolien H., 2005. La conservation du poisson et de la viande. Marja de Goffau – Markusse, 2^eédition. 47p.
- [25]. Mamar Y.D., 2007. Séminaire sur les techniques de traitement de conservation et transformation du poisson et des produits halieutiques, Saint Luis du 15 au 06 Février, 16p.
- [26]. Nesson D.C., 2009. La production piscicole dans la vallée du Sourou au Burkina Faso, Ministère de l'agriculture et de la sécurité alimentaire. 9-31.
- [27]. CEFCOD., 2013. Situation de référence des filières forestières, fauniques et halieutiques prioritaires dans le Lac Fitri. 3-4.
- [28]. FAO., 2008b. Vue générale du secteur des pêches National au Burkina Faso, profils des pêches et de l'aquaculture par Pays. 19 p.
- [29]. Barro N., Gamane A.K., Itsiembou Y., Svadogo A., Nikiema A.P., Ouatarra C.A.T., De Souza C.A. & Traore A.S., 2007. Streed-vended food improvement: Contamination mechanism and application of food safety objective strategy: Critical review, *Pakistan J. Nutr.*, Vol. 6(1):1-10.
- [30]. Lalle Y.L., 2009. La consommation du poisson transformé au Togo : entre habitude et stratégie alimentaire, Département de Géographie, Université de Lomé (Togo). 17p.
- [31]. Barthelemy B., Andre Diouf & Pascaline C., 2015. Défis des activités de pêche au Sénégal : le cas de la région de Ziguinchor, Rapport sur l'Afrique de l'Ouest, Institut d'études de sécurité. 12p.
- [32]. Fatou N.E. & Pascale M.C., 2002. Le poisson fumé sur la Petite Côte sénégalaise, Montpellier Cécile Broutin, GRET, CIRAD. 90p.
- [33]. Lamine M., 2005. Etat des lieux de la filière de transformation artisanale des produits halieutiques au Sénégal, ministère de l'industrie et de l'artisanat. 40p.
- [34]. Autorité du Bassin du Niger., 2004. Etude Multisectorielle de la portion nationale du bassin du Niger, Rapport final. 146p.
- [35]. DEPF., 2015. Quelles opportunités pour les produits halieutiques marocains pour les marchés Africains, ministère de finance et de l'économie marocaine. 52p.
- [36]. OMS., 2007. Salubrité des Aliments et Santé : Analyse de la situation et perspectives. 1p.
- [37]. Lewis M.A., Scott G.I., Bearden D.W., Quarles R.L., Moore J., Strozier E.D., Sivertsen S.K., Dias M. & Sanders A.R., 2002. Fish tissue quality in near-coastal areas of the Gulf of Mexico receiving point. *Dis. Sci. Total Environ.*, Vol. 284(1-3), 249-261.
- [38]. Mohamed E., Mohamed F. & Abdallah E.A., 2012. Contamination métallique des muscles de cinq espèces de poissons de l'estuaire du bas loukkos (côte atlantique marocaine). *Sci. Lib*, édition mersenne. Vol. 4(120), 116.

Valorisation et étude phytotoxicologique des eaux d'irrigation à partir des eaux usées, sur deux cultures (tomate industrielle et haricot vert)

Valorisation and phytotoxicology study of irrigation water from wastewater on two crops (industrial tomato, green beans) in the region of El-Kala.

Mourad Lazhar Bouzou^{*1}, Chaabene Rahmoune², Ratiba Seridi³ & Moussa Houhamdi⁴

¹ Université Abbès Laghrou Khenchela, Algérie.

² Laboratoire éco-toxicologie, Université Constantine, Algérie.

³ Département de Biologie. Université Badji Mokhtar, BP 12, 23000, Annaba, Algérie.

⁴ Département de Biologie, Université 08 mai 1945, 24000, Guelma

Soumis le : 16/10/2017

Révisé le : 21/05/2017

Accepté le : 04 /06/2018

ملخص:

دراستنا التجريبية تحتوي على متابعة بحث في ميدان الري الزراعي باستعمال المياه القذرة و الملوثة الغير الصناعية مع مربع الكتلة التجريبية يتركب من 04 انواع مختلفة من مياه السقي وصنفين 02 من المحصولين مثل (الفاصوليا الخضراء) و(الطماطم الصناعية) باستعمال 02 نوعان مختلفان من التربة ثقيلة وخفيفة (أ) و (ب). مجموعة المربع التجريبي يتكون من 80 وعاء مع تردد الري في القدرة الميدانية مع إجراء تحاليل فيزيائية و كيميائية لثبوت وجود بعض السموم مثل المعادن الثقيلة وغيرها باستعمال قوانين وإحصائيات تثبت وتدلل على اختياري الجودة و النوعية الصالحة لسقي في فائدة المحاصيل الزراعية.

كلمات مفتاح : الري - فيزيائية و كيميائية - البيئة - الطاقة المتجددة - نوعية المياه .

Résumé

Notre étude expérimentale consiste à réaliser une expérimentation Agronomique sur l'irrigation avec les eaux usées (domestique), dont le bloc expérimental se compose comme suite : 04 traitements d'eau ; 02 cultures (tomate) et (Haricot vert), cultivé sur 02 sols : (A) lourd, (B) léger, l'ensemble forme un bloc de 80 pots, avec une fréquence d'irrigation à la capacité au champ (CC). Des analyses physico-chimiques minérales et toxiques se déterminent avec des lois statistiques comparatives pour définir la bonne qualité d'eau à des fins Agricoles.

Mots clé : irrigation, physico-chimique, écologie, énergie renouvelable, qualité d'eau.

Summary

Our experimental study consists in carrying out an agronomic experiment on irrigation with waste water (domestic) whose experimental block is composed as follows: 04 water treatment, 02 crops (tomato) and (green bean), cultivate on 02 soils: (a) heavy, (b) light, the whole forms a block of 80 pots, with frequent irrigation with field capacity (cc). Physicochemical analyzes are performed with comparative statistical laws to define good water quality for agricultural purposes.

Key words: Irrigation, Physicochemical, ecology, renewable energy, water quality.

* Auteur correspondant: bouzou.lazhar@yahoo.fr

1. Introduction

L'accroissement démographique et l'urbanisation accélérée de la population algérienne sont à l'origine d'une augmentation importante des besoins en eau potable. Parallèlement, l'intensification de l'agriculture a multiplié les demandes en eau d'irrigation. Face à ces demandes importantes, les ressources naturelles en eau superficielle de surface et souterraine ne sont plus suffisantes. C'est pourquoi, parallèlement à la recherche d'une meilleure gestion de ces ressources, la réutilisation des eaux usées traitées apparaît de plus en plus nécessaire. Suite à l'épuration des eaux usées, des quantités importantes des boues sont produites et doivent être éliminées. Leur richesse en matière organique a conduit à leur valorisation agricole. L'utilisation des eaux usées et des boues a été envisagée en Algérie depuis de nombreuses années. Cependant, les essais entrepris tels que l'irrigation de la plaine d'El-Kala ou l'irrigation à partir des eaux usées de la ville d'El-Kala n'ont pas fait l'objet d'études approfondies. Ainsi, la mise en place d'un programme de la recherche expérimentale s'est avérée nécessaire avec comme objectif l'élaboration de normes d'utilisation propres aux conditions agro-climatiques de l'Algérie. En effet, la détermination des conditions d'utilisation est indissociable des facteurs relatifs au milieu naturel (sol et climat), aux pratiques des boues utilisées, celle-ci étant fortement liés à leurs origines et aux types d'épurations. Le travail que nous présentons ici est destiné à mieux comprendre la valeur agronomique des eaux usées traitées, ainsi que le risque de contamination du végétal par les éléments potentiellement toxiques qu'elles contiennent. Notre étude a été basée sur quelques types d'approche :

- Une approche par l'expérimentation de l'irrigation avec les eaux usées sur la croissance et la qualité des cultures.
- Une approche par l'expérimentation en milieu contrôlé dont le but est d'apporter des éléments d'information relatifs à l'efficacité de l'azote contenu dans l'eau usée.
- Une approche de développement technique est de stocker l'eau traitée dans des bassins de lagunage proches des superficies irrigables.
- Une mobilisation des agriculteurs, à ne pas irriguer avec les eaux usées (interdit par les lois).
- D'encourager l'installation des STEP (Station de Traitement d'Eau polluante), cette eau étant considérée comme une partie d'énergie renouvelable à valoriser.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Matériels

Ci-dessous le matériel utilisé dans la réalisation du travail concernant l'eau d'irrigation:

- * E0 : (eau de nappe comme témoin)
- * E1 : (eau usée brute)
- * E2 : (50% (EUT) + 50% (EUB))
- * E3 : eau usée traitée (EUT)

2.1.1. Matériel biologique

Deux plantes ont été utilisées dans notre expérimentation : la tomate industrielle et le haricot vert.

2.1.2. Bloc expérimental

Nous avons opté pour la partie expérimentale pour un bloc aléatoire complet aussi bien pour la tomate industrielle que pour le haricot vert, comme présenté sur la figure ci-dessous. L'essai a été mené en blocs complètement randomisés avec quatre traitements ; 4 mètres de long chaque parcelle élémentaire

2.1.3. Mesures effectuées

Les mesures prises sur les végétaux ont requis le matériel suivant :

- pot (diamètre de 80 cm, hauteur est de 60 cm)
- règle graduée
- pied à coulisse
- spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme
- Multi paramètre



Figure 1 : Blocs aléatoires complets des cultures de tomate industrielle et de haricot vert

2.2. Méthodes

2.2.1. Echantillonnage et mesure de croissance

Les prélèvements des feuilles de tiges, des racines et des fruits ont été réalisés jusqu'à la fin de la période de production, tout le long du cycle végétatif, aussi bien pour la tomate que le haricot.

2.2.2. Mesure de la croissance pondérale

La croissance pondérale a été déterminée par les masses de matières fraîches et sèches pour une moyenne de 10 répétitions. Chaque répétition étant constituée de 4 à 6 plants prélevés pour chaque pot.

2.2.3. Mesure de la croissance en longueur

Les longueurs des tiges et les parties aériennes comme les feuilles ont été mesuré à l'aide d'une toise. Les valeurs données sont les longueurs moyennes de 10 répétitions, chaque répétition est-elle même une moyenne des mesures effectuées sur 6 à 15 plants. Le sol a été irrigué de manière à être maintenu à 70% de sa capacité au champ environ 7kg/pot. Pour éviter les problèmes liés à la germination, les graines ont germé dans des boîtes de Petri. Elles ont par la suite été repiquées sur sol. La production de matière sèche a été déterminée pour tous les traitements considérés.

2.2.4. Echantillonnage et mesure de croissance

Pour les deux essais, une période de croissance de 70 jours a été adoptée. A la fin de cette période, les parties aériennes ont été prélevées pot par pot et pesées en vue de la détermination de la matière fraîche puis séchées à 80°C jusqu'à un poids constant.

2.2.5. Analyse chimique

Les échantillons prélevés pour la détermination de la croissance ont été utilisée pour l'analyse de la composition chimique. L'analyse a été réalisée sur chaque partie (feuilles, tiges, racines et fruits) séparément. Après la détermination de la matière sèche, tous les échantillons pris individuellement ont été broyés finement. La poudre végétale obtenue a par la suite été minéralisée de différentes manières pour prendre en compte l'ensemble des éléments à doser.

2.2.6. Dosage de l'azote Kjeldahl

L'azote a été déterminé par la méthode Kjeldahl. La minéralisation à l'acide sulfurique a été suivie d'une distillation à l'aide d'un appareil Buchi. Les ions ammonium ont été récupérés dans l'acide borique puis titrés avec de l'acide chlorhydrique N/20.

2.2.7. Dosage des chlorures

L'extraction a été faite par action de HNO_3 à 5% et à froid. Le dosage par colorimétrie a été effectué en présence de gélatine et d'un tampon acétique. Pour nos premières déterminations, nous avons utilisé un chloridimètre Buchler.

2.2.8. Dosage du bore

La poudre végétale a été calcinée à 500°C pendant 4 heures, la reprise des cendres a été faite avec de l'acide acétique à 25%. Le développement de la couleur en présence de dianthrimide et sulfate d'hydrazine se fait à 90°C pendant 3 heures. Le dosage a été effectué par colorimétrie à 620 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible Perkin Elmer Lambda3.

2.2.9. Dosage du soufre total

Le dosage des sulfates a été effectué par gravimétrie à l'état de BaSO_4 . L'attaque de la matière végétale se fait avec de l'acide nitro-perchlorique à chaud. La précipitation de SO_4^- se fait avec BaCl_2 à 10% et à chaud. Après filtration et lavage jusqu'à la disparition des chlorures, le précipité a été calciné puis pesé.

Dosage de Ca, Cd, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Na, k, p, Pb et Zn

Des analyses préalables ont été effectuées. Les tableaux I et II représentent les apports moyens des fertilisants d'une hauteur d'eau de 600mm(en Kg/h) et les propriétés physiques des sols utilisés.

Tableau I. Apports moyens des fertilisants d'une hauteur d'eau de 600mm(en Kg/h)

	E0 (mg/l)	E1 (mg/l)	E2 (mg/l)	E3 (mg/l)
pH	7.6	8.6	7.9	7.6
CE (ds/m)	1.61	3.1	2.9	2.3
RS	1.71	1.9	1.7	1.82
HCO_3^-	228.5	390	299	370
SO_4^-	90	360	390	350
Cl^-	648	740	720	554
Ca^{++}	250	340	290	150
Mg^{++}	48.5	60.1	58	56.5
Na^+	214	370	390	366
N	126	240	200	189
P	0.1	40	20	24.6
K	19.3	317	120	217.6
B	0.60	12	0.9	6.00
Cd	Trace	-	-	Trace
Co	0.24	1.4	1.2	0.30
Cr	-	1.1	1.2	0.12
Cu	0.12	1.2	1.1	0.18
$\text{Fe}^?$	0.66	0.9	0.7	1.98
Mn	0.06	1.0	0.9	0.30
Ni	0.30	1.9	1.5	0.36
Pb	0.96	0.9	0.9	1.14
Zn	0.24	0.8	0.8	0.72

Tableau II. Propriétés physiques des sols utilisés

sols	Sol (A) Tomate	Sol (B) Haricot vert
Granulométrie		
Argile (%) 0-2 μm	44	16

Limon (%) 2-50 μm	16	20
Sable (%) $\geq 50 \mu\text{m}$	40	64
Texture	Argilo-sableux	Sablo- argileux
Densité apparente	1.06	1.25
Humidité pondérale (kg/dm^3) à la capacité au champ	32.5%	24%
Point de flétrissement	11%	7%

2.2.10. Préparation du matériel

Pour l'ensemble de ces éléments, nous avons retenu l'attaque nitro-perchlorique. Le poids de la poudre végétale, la quantité d'acides ainsi que le volume final ont été modifiés selon la concentration présumée des éléments et de la limite de détection des appareils. On utilise généralement 0.5 g/100 ml pour les éléments majeurs et 2 g/50 ml pour les microéléments.

2.2.11. Dosage de calcium, potassium et sodium

Les dosages de Ca, K et Na ont été réalisés en émission de flamme soit sur le minéralisant directement soit après dilution à l'aide d'un photomètre à flamme de type Eppendorf.

2.2.12. Dosage du cobalt, cuivre, fer, magnésium, manganèse et zinc

Ces éléments ont été dosés en absorption atomique à flamme. Pour le Zn, Cu et Mn, les dosages réalisés sur les minéralisats. Pour Mg et Fe, les dosages ont été réalisés sur les minéralisats dilués au chlorure de lanthane à 5% pour corriger les interférences. Les mesures ont été réalisées au moyen d'un spectrophotomètre d'absorption atomique Perkin Elmer 2380.

2.2.13. Dosage du cadmium et plomb

Les niveaux de concentration de ces éléments étaient trop faibles pour permettre une mesure correcte en absorption atomique à flamme. A cet effet, nous avons dû refaire certains dosages en augmentant le poids de la poudre et en réduisant le volume final, par la suite, nous avons réalisé des mesures en absorption atomique électrothermique. Le matériel utilisé était un four graphite HGA 400 - Perkin Elmer.

2.2.14. Dosage du phosphore

Le phosphore a été dosé par colorimétrie au vanadomolybdate à 436 nm.

3. Résultats et Discussions

3.1 Effets des eaux usées traitées sur la teneur en eau du haricot vert et de la tomate

Nous avons exprimé la teneur en eau en g par g de matière sèche. Les résultats obtenus sont indiqués dans le Tableau III. Pour le haricot vert, nous pouvons constater qu'au cours de la production les parties aériennes des plantes irriguées avec les eaux usées traitées présentent une hydratation supérieure à celle du témoin. Pour la tomate, nous pouvons noter que la teneur en eau des racines et des parties aériennes (feuilles et tiges) dans le traitement E3 est sensiblement la même que celle du témoin. Cependant, nous remarquons que les fruits prélevés sur le traitement eaux usées (E3) sont moins hydratés que ceux du témoin notamment à la production.

Tableau III. Teneur en eau des différents parties du haricot vert (HV) et de la tomate industrielle (Ti) exprimé en gg-1MS)

	Haricot vert			tomate		
	P.A	R	Fr	P.A	R	Fr
E0	2.1	2.3	1.5	2.3	1.1	6.2
E3	2.2	3.2	1.2	2.2	1.1	5.1

PA: partie aérienne ; E0: eau de nappe ; R : racines ; E3: eau usée ; Fr: fruit

3.2. Evaluation des exportations en azote, phosphore et potassium

Nous avons évalué les exportations effectives de N, P et K par les 02 cultures, c'est à dire les quantités en éléments absorbées par les parties végétales sorties de champ. Les résultats obtenus se trouvent dans le tableau IV qui présente les rendements d'après Chérif (2011)

Tableau IV. Rendement du haricot vert (HV) et de la tomate industrielle (TI) en (t/ha)

	Haricot vert		tomate	
	E ₀	E ₃	E ₀	E ₃
MV	12.2	3.8	15.5	11.8
MS	3.1	3.8	0.8	1.00

E₀ : eau témoin ; MV: matière verte ; E₃ : eau usée traitée ; MS : matière sèche

Pour le piment, en plus du rendement en fruits récoltés, nous avons estimé la production de biomasse aérienne exportée hors champ en considérant que la densité de peuplement était égale à 42000 pieds à l'hectare (estimation par excès). Les résultats relatifs aux quantités N, P et K prélevées sont indiqués dans le tableau V.

Tableau V. Quantités de N, P et K exportées par le haricot vert et la tomate (exprimées en kg/ha).

	Haricot vert		Tomate Industrielle	
	E ₀	E ₃	E ₀	E ₃
N	49.2	99.2	40.6	52.8
P	6.6	11.3	3.8	5.1
K	70.4	114.8	36.9	47.5

On note qu'en présence d'eau usée, le haricot vert exporte des quantités de N, P et K supérieures à celles du traitement T (eau de nappe). Pour la tomate, la différence de prélèvement des éléments fertilisants entre traitements E₀ et E₃ est faible, malgré un apport en N, P et K plus important par les eaux usées. Connaissant les quantités de N, P et K apportées par les eaux usées traitées et les eaux de nappe traitées pour les deux cultures ainsi que celles apportées par la fertilisation complémentaire, nous avons essayé de déterminer l'efficacité d'exportation (E. ex) selon la méthode de Godin (1983).

$$E. ex = \frac{\text{Quantité de N, P ou K exportée}}{\text{Quantité de N, P ou K apportée}}$$

Les résultats obtenus, exprimés en kg exportée/kg apporté, sont indiqués dans le tableau VI

Tableau VI. Efficacité d'exportation de N, P et K par le haricot vert et la tomate

	Haricot vert		Tomate	
	E ₀	E ₃	E ₀	E ₃
N	0.20	0.31	0.19	0.19
P	0.17	0.17	0.10	0.8
K	0.67	0.34	0.37	0.17

E₃ : eau traité E₀:eau de nappe

Nous pouvons noter que pour le haricot vert, la quantité d'azote exportée dans le traitement E₃ est le double de celle exportée dans le traitement E₀(tableau V) alors que la différence entre les quantités d'azote apportées dans les deux traitements (E₀ et E₃) n'est pas aussi grande. Ainsi, l'efficacité d'exportation est plus élevée pour les eaux usées selon les résultats exprimés sur le tableau VI. Pour le haricot vert, comme pour la tomate, les quantités de phosphore exportées par unité de phosphore

apportée sont équivalentes pour les deux traitements E0 et E3 (tableau VI). La comparaison entre les traitements E0 et E3 montre bien que la quantité de potassium apportée par les eaux usées est supérieure à celle apportée par les eaux de nappe (tableau I), la différence entre les quantités de potassium exportées dans les deux traitements (tableau V) est faible notamment pour la culture maraîchère. Ceci correspond à une efficacité d'exportation moindre dans le cas du traitement eau usée pour les deux cultures étudiées (tableau VI). La comparaison entre les deux espèces étudiées montre des efficacités d'exportation en N, P et K plus élevées pour le haricot vert notamment en présence d'eau usée.

Nos résultats, regroupés sur la figure 1, montrent que pour la tomate, la matière sèche augmente de manière sensiblement linéaire en fonction de la dose de N, P et K absorbée (figure 1 d, e et f) Nous sommes donc dans la zone A du modèle théorique. Pour le haricot vert, et notamment pour les relations N et P absorbés - matière sèche, nous pouvons constater que pour les fortes doses de N ou P absorbées correspondent au traitement E₃. Nous observons également un léger palier (figure 1 a et c). L'étendue des doses de N ou P absorbées nous permet d'observer deux zones; d'abord la zone A où il y a un déficit, puis une partie de la zone B où il y a consommation de luxe.

Ces résultats peuvent être résumés en introduisant la notion d'efficacité d'utilisation de N, P et K.

Cette efficacité d'utilisation (**Eu**) est évaluée par la masse de matière sèche produite par 1g d'élément absorbé (Anderson, 1985 ; Glass, 1999 ;).

$$Eu = \frac{\text{Matière sèche produite (g/plante)}}{\text{Quantité absorbée (g/plante)}}$$

Une autre approche a été adoptée par Soltani (1988) qui a utilisé la notion de coût de la croissance en un élément donné. Cette notion n'est autre que l'inverse du rapport défini ci-dessus. Les résultats relatifs aux différentes efficacités d'utilisation sont regroupés dans le tableau VII.

Tableau VII. Efficacité d'utilisation de N, P et K par le haricot vert et la tomate industrielle

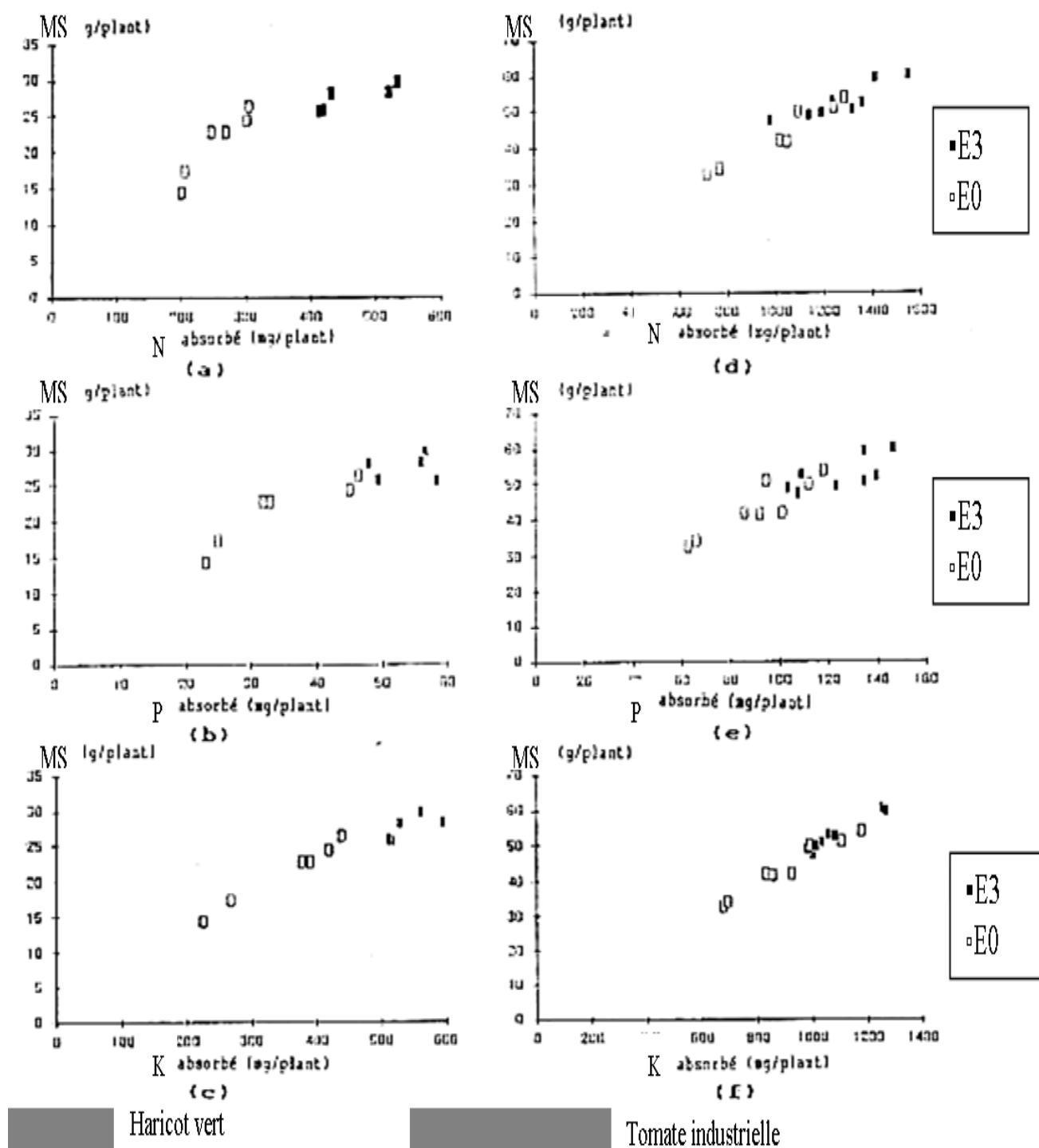
	Haricot vert		Tomate industrielle	
	E0	E3	E0	E3
N	83.6	60.2	42.4	41.5
P	637.8	506.7	476.3	433.9
K	60.9	50.8	47.9	48.5

Cette efficacité correspond à l'intérieur de chaque zone à la pente de la droite. Elle peut être considérée comme constante dans notre cas (pour chaque zone/ et l'interprétation doit se faire en se référant au modèle théorique. On peut donc ainsi comparer directement les efficacités

Concernant le haricot vert, on note que les eaux de nappe permettent une meilleure utilisation de N, P et K que les eaux usées. En effet, les efficacités d'utilisation de ces éléments dans le traitement E3 sont nettement inférieures à celles observées dans le traitement E0. Cette efficacité moindre dans le traitement E3 est à associer à la forte dose de N, P ou K absorbée (consommation de luxe). Le haricot vert irrigué avec les eaux usées a absorbés des quantités en N, P et K double de celle du témoin pour une augmentation de matière sèche peu importante (figure 1 a et c). Ainsi, l'augmentation de matière sèche observée en présence d'eau usée est inférieure à l'augmentation escompté si l'efficacité de N, P et K absorbé avait été la même que celle du traitement E0.

Par contre, on note que les efficacités d'utilisation de N, P et K par la tomate industrielle sont les mêmes pour les deux traitements E0 et E3. En effet, la matière sèche est linéairement dépendante de la quantité de N, P et K absorbée quel que soit le traitement (figure 1c, d et e).

La comparaison entre les deux espèces montre que le haricot vert valorise mieux l'azote, le phosphore et le potassium absorbés que le tomate industrielle.



3.4. Teneurs en calcium et magnésium

Les concentrations moyennes en Ca et Mg de l'eau de nappe sont respectivement de 250 et 50mg/l. Celles des eaux usées traitées sont respectivement de 150 et 56mg/l.

L'analyse minérale de la plante montre que pour le haricot vert comme pour la tomate, l'irrigation avec les eaux usées n'a pas d'effet significatif sur les teneurs en Ca et Mg -des différentes parties de la plante (Tableau VIII).

Tableau VIII. Effet des eaux usées sur les teneurs en Ca et Mg dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate (exprimées en %MS)

		Haricot vert				Tomate industrielle			
		F	T	R	FR	F	T	R	FR
Ca	E0	0.73	0.37	1.9	0.26	1.9	0.22	0.05	0.20
	E3	0.62	0.32	1.3	0.20	1.6	0.35	0.03	0.17
	ET	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Mg	E0	0.47	0.43	0.31	0.22	0.82	0.62	0.14	0.21
	E3	0.44	0.48	0.23	0.23	0.83	0.72	0.15	0.23
	ET	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

F : feuille ; Fr : fruit ; E0 :eau témoin potable; E3 :eau usée traité ; R : Racine

3.5. Teneur en sodium

Comme signalé plus haut, les eaux usées sont plus chargées en Na (366 mg/l= 15,9 meq/l) que les eaux de nappe (214 mg/l= 9,3 meq/l) mais dans les deux cas les concentrations en Na restent relativement faibles.

La comparaison des figures 2 présentant les teneurs en sodium des différentes parties du haricot vert et de la tomate industrielle en fonction des traitements, met en évidence une accumulation de Na surtout dans les tiges de la tomate irriguée à l'eau usée. Les valeurs sont d'environ 5 fois celle du témoin. L'enrichissement en Na a également concerné de manière très significative le fruit de la tomate et les racines des deux espèces.

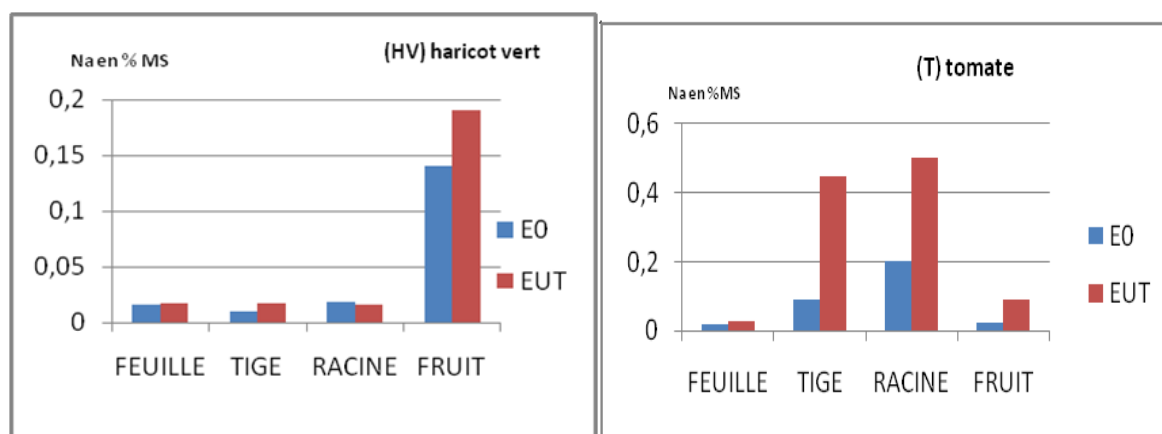


Figure 2. Effet des eaux usées sur la teneur en sodium dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate. (Exprimée en %MS).

On note aussi que les teneurs en sodium les plus élevées se trouvent dans les racines et tiges de la tomate, les feuilles et les fruits sont les organes les moins chargés. Pour (HV), le sodium est retenu dans les racines.

3.6. Teneurs en soufre

Les eaux usées contiennent des quantités importantes de sulfates. Les concentrations sont en moyennes de 350 mg/l et peuvent atteindre 950 mg/l alors que dans les eaux de nappe, les concentrations sont de l'ordre de 90 mg/l.

L'analyse des différentes parties du haricot vert, comme indiqué dans la figure 3, montre que l'eau usée traitée augmente les quantités de S dans les feuilles et tiges surtout au niveau de la dernière phase. Indépendamment des traitements, on remarque également que pour le haricot vert le soufre a tendance à se concentrer au niveau des racines.

Concernant la tomate, la figure 3 montre que les teneurs en soufre des différentes parties de la plante ne présentent aucune différence entre les traitements E0 et E3. De même que pour le haricot vert, on peut noter que le soufre est retenu dans les racines et que les fruits présentent les concentrations les plus faibles.

Ainsi la concentration élevée des eaux usées en sulfates par rapport à l'eau de nappe ne se reflète sur la composition de la plante qu'à un faible degré et seulement pour le haricot vert.

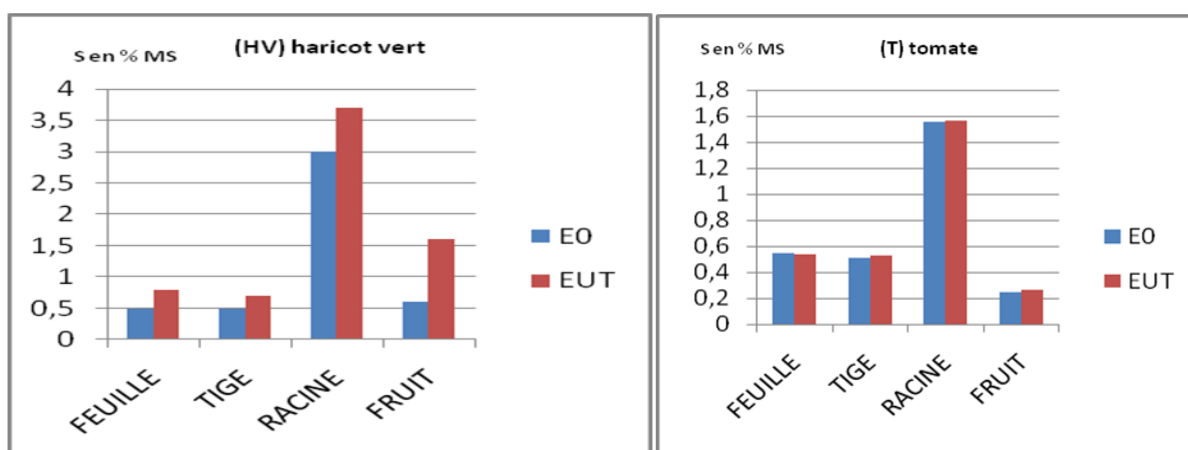


Figure 3. Effet des eaux usées sur la teneur en soufre dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate (exprimée en %MS)

Bien que la plupart des microéléments des eaux usées se retrouve dans les boues résiduelles et que les concentrations en métaux des effluents sont normalement très faibles, ces éléments peuvent s'accumuler dans le sol suite à un épandage répété des eaux usées traitées.

Nous traiterons les oligo-éléments : B, Cu, Fe, Mn et Zn puis les éléments indésirables ou toxiques : Cd et Pb pour les deux cultures étudiées.

3.7. Teneur en bore

Les concentrations moyennes en bore des eaux usées traitées sont de l'ordre de 1mg/l. Ayoub (1978) a trouvé des résultats comparables.

Concernant l'analyse végétale, les résultats obtenus sont indiqués dans la figure 4.

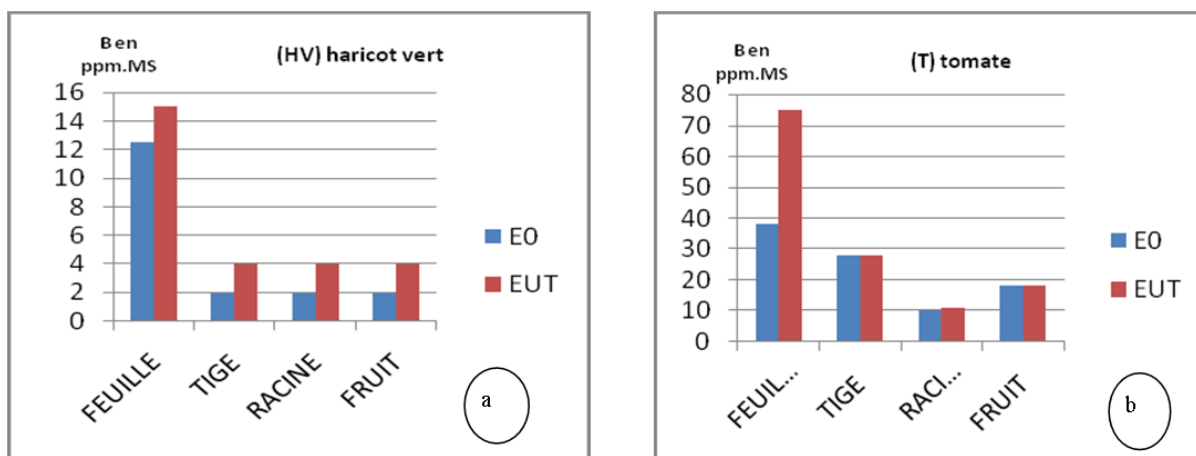


Figure 4. Effet des eaux usées sur la teneur en bore dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate (exprimée en ppm MS)

Nous pouvons constater que les eaux usées augmentent de façon significative les teneurs en bore dans les différentes parties du haricot vert (figure 4a) et dans les feuilles de la tomate sans toutefois provoquer des modifications dans le fruit (figure 4b).

D'autre part, on remarque que le bore migre vers les parties aériennes des deux espèces et se concentre dans les feuilles. Les fruits sont moyennement chargés en cet élément.

3.8. Teneur en cuivre

L'examen du tableau 9 montre que les teneurs en cuivre dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate ne sont pas modifiées par l'apport d'eaux usées traitées. En effet, les différences entre traitements eau usée (E3) et eau de nappe (E0) sont insignifiantes.

La différence assez faible entre les concentrations en Cu des eaux usées et des eaux de nappe explique ce résultat. Le même résultat a été obtenu avec des teneurs en Cu ayant le même ordre de grandeur.

Tableau IX Effet des eaux usées sur les teneurs en cuivre dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate industrielle (Exprimées en ppm.MS)

	Haricot vert				Tomate industrielle			
	F	T	R	Fr	F	T	R	Fr
E0	1.8	1.2	1.5	0.4	1.0	2.9	2.0	2.5
E3	2.3	2.0	2.3	1.9	1.5	3.0	3.4	2.2
ET	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

E0: eau de nappe ; E3: eau usée traité ; ET : effet de traitement ; F : feuille ; T : tige ; R : racine ; Fr : fruit

3.9. Teneur en zinc

Les eaux usées traitées apportent une quantité en Zn (0,72Kg/ha pour 600mm d'eau) supérieure à celle apportée par les eaux de nappe (0,24 Kg/ha pour 600mm d'eau).

Les figures (5a et b) présentant les variations des teneurs en Zn dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate indiquent une augmentation significative de ces teneurs en présence d'eau usée dans les feuilles et racines. Les teneurs en zinc n'ont cependant pas augmenté

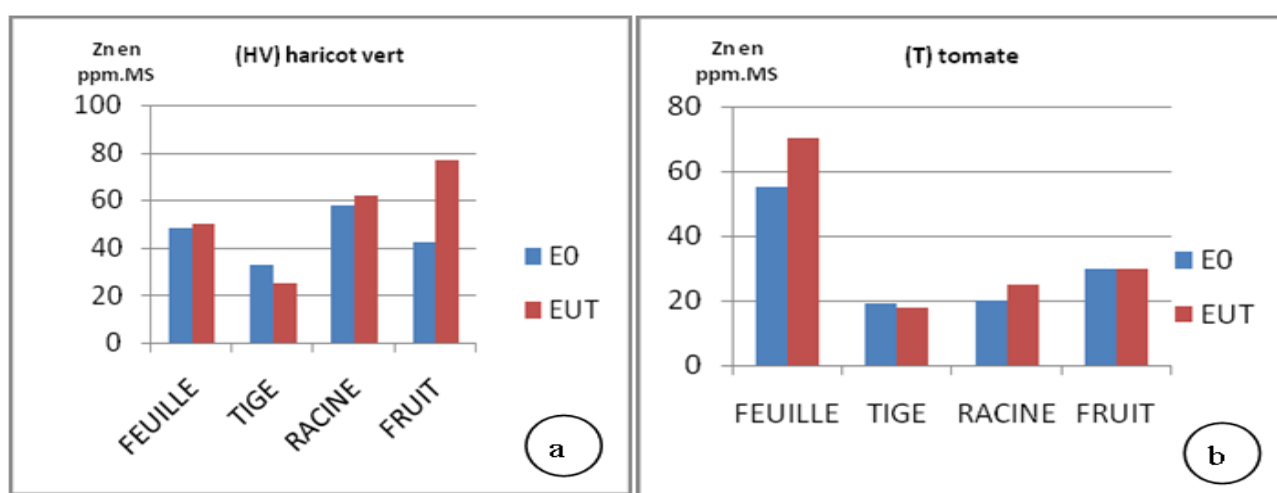


Figure 5. Effet des eaux usées sur la teneur en zinc dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate (exprimée en ppm.MS)

3.10. Teneurs en cadmium et plomb

Le cadmium n'est présent dans les eaux usées qu'à l'état de traces. Quant au plomb, l'apport par les eaux usées est en moyenne de 1,14 Kg/ha pour 600 mm d'eau.

Les résultats indiqués dans le tableau X montrent qu'il n'y a pas de différence significative due à l'apport d'eau usée traitée.

Tableau X. Effet des eaux usées sur les teneurs en Cadmium et Plomb dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate (exprimées en ppm MS)

		Haricot vert				Tomate industrielle			
		F	T	R	Fr	F	T	R	Fr
Cd	E0	0.10	0.75	0.00	0.1	0.00	0.00	0.76	0.26
	E3	0.20	0.30	0.79	0.25	0.25	0.05	0.72	0.28
	ET	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Pb	E0	0.30	0.75	0.17	0.76	1.16	1.8	1.50	0.90
	E3	2.00	0.90	2.22	1.90	2.50	2.06	2.6	0.98
	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

E0: eau de nappe ; E3: eau usée traité ; ET : effet de traitement ; F : feuille ; T : tige ; R : racine ; Fr : fruit

Comme on pouvait le prévoir, l'irrigation avec les eaux usées traitées a entraîné des modifications dans la composition chimique du végétal. Cette composition a été affectée différemment en fonction de l'espèce considérée, de l'organe et de la nature et la concentration des éléments contenus dans les eaux usées traitées.

La richesse de ces eaux en éléments nutritifs a affecté de manière significative la composition en N, P et K du haricot vert. En effet, les teneurs se sont accrues dans les différentes parties de la plante, alors que pour la tomate industrielle aucun effet n'a été enregistré. D'autre part, nous avons pu noter que par rapport à la tomate industrielle, le haricot vert permet une meilleure exportation de N, P et K et présente des efficacités d'utilisation de ces éléments (N, P et K) supérieures. Ainsi, le haricot vert valorise mieux les matières fertilisantes apportées par les eaux usées. Cependant, la comparaison entre traitements E0 et E3 montre que pour la tomate industrielle, les mêmes quantités de N, P et K sont utilisées pour la production de lg de matière sèche quelle que soit la qualité d'eau. Pour le haricot vert, les eaux usées permettent un meilleur rendement mais les efficacités d'utilisation de N, P et K sont inférieures à celles obtenues en présence d'eau de nappe.

Des études réalisées aux Etats Unis (Adams et al. in INRA-SCPARP, 2009) ont montré que des cultures fourragères (le bermuda-Grass côtier) irrigué avec des eaux usées traitées présentent les meilleurs taux d'exportations de l'azote, soit environ 67% et permettent une élimination de 20% du phosphore.

La réaction vis à vis des autres éléments majeurs s'est manifestée par une accumulation importante de Na dans les tiges et racines de la tomate industrielle irriguée à l'eau usée. Au niveau des fruits, les modifications ont été moins importantes et les teneurs plus faibles.

Dans la partie aérienne du haricot vert, le sodium varie peu.

Quant aux chlorures, ils s'accumulent dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate industrielle sans épargner le fruit.

Les fruits de la tomate industrielle sont peu chargés en soufre et les modifications en fonction des traitements sont négligeables. Bien que le soufre soit retenu au niveau des racines, les parties aériennes du haricot vert ont tendance à l'accumuler en présence d'eau usée.

L'irrigation avec les eaux usées n'a pas entraîné de modifications importantes de la composition en microéléments des espèces étudiées. Ainsi on remarque qu'aussi bien pour le haricot vert que pour la tomate industrielle, les teneurs en cadmium et plomb sont comparables dans les deux traitements E0 et E3 et sont dans les normes des plantes consommables ($Cd < 3$ ppm et $Pb < 10$ ppm) d'après Melsted (1999) et Godin (1997). Nous avons aussi noté que l'application des eaux usées augmente les teneurs en bore, fer et zinc des parties aériennes du haricot vert et de la tomate industrielle sans toutefois modifier les teneurs au niveau du fruit. Ces augmentations de B, Fe et Zn observées n'ont nullement affecté le comportement de la plante. Les teneurs enregistrées sont au-dessous des seuils d'alerte pour les plantes consommables ($B < 150$ ppm et $Zn < 300$ ppm) d'après Melsted (1999). Dans des essais menés en Californie (USA), Richard et al. (2009) ont montré que l'irrigation avec des eaux usées traitées ne modifie pas la composition en microéléments des parties consommables d'artichaut et de certains légumes.

Si l'on compare les résultats relatifs aux deux cultures, on constate que les feuilles de la tomate

industrielle accumulent plus de bore, de zinc, de fer, de plomb et surtout de cadmium que les feuilles du haricot vert. On remarquera toutefois que les concentrations de la plupart de ces éléments sont fortement réduites dans le fruit. La tendance des végétaux à accumuler le cadmium dépend de l'espèce considérée, Bazzaz et *al.* cités dans INRA-SCPAP (2009) ont observé que pour une teneur en Cd de la solution nutritive égale à 1 ppm, la carotte accumule 2,2 ppm de ce métal alors que la tomate en accumule 158 ppm.

Enfin, il faut surtout noter que l'apport des eaux usées n'a pas affecté les rendements des cultures. En effet, les rendements, notamment ceux du haricot vert ont augmenté d'une manière significative en présence d'eau usée.

4. Conclusion

Dans l'optique d'une valorisation agricole des eaux usées traitées et des boues résiduelles en Algérie, nous avons essayé d'apporter une contribution à l'étude de leur incidence sur les végétaux cultivés. Etant donné la diversité des eaux et des boues, nous avons choisi d'utiliser les eaux usées d'origine urbaine ayant subi un traitement biologique à boues activées et des boues urbaines digérées en anaérobiose et séchées sur lits. Deux aspects ont retenu notre attention, les effets bénéfiques sur le plan agronomique et les risques de contamination par les éléments chimiques potentiellement toxiques.

A l'aide d'une expérience conduite en plein champ, nous avons pu relever des conclusions concernant les effets à court terme de l'épandage des eaux usées traitées et des boues sur la croissance et la composition chimique des deux espèces végétales, deux cultures maraichères, l'une légumineuse, le haricot vert, et la deuxième celle de la tomate industrielle.

Par ailleurs, des expérimentations en milieu contrôlé ont permis de cerner certains problèmes plus fondamentaux qui ont concerné d'une part l'efficacité de l'azote des eaux usées par rapport à un engrais azoté classique et d'autre part l'évaluation du risque de contamination du végétal, les effets à long terme des épandages répétés sur une même parcelle, avec deux types de sols, sol(A) argilo-limoneux pour la tomate, sol (B) limono-argileux pour le haricot vert.

Nous avons montré que l'irrigation avec les eaux usées traitées, riches en éléments fertilisants, entraîne un effet favorable sur le haricot vert. Cette action se traduit par une amélioration de la croissance. Une augmentation des teneurs en azote, phosphore et potassium également été notée. Toutefois, l'efficacité de N, P et K absorbé en présence des eaux usées est inférieure à celle du témoin. Pour la tomate, aucun effet bénéfique sur la croissance ou la nutrition en N, P et K n'a été observé mais en même temps, nous n'avons pas noté d'effets dépressifs.

Nous n'avons pas relevé des cas de toxicité par les éléments nocifs même durant le cycle de la production. L'accumulation de certain élément tel que le bore, le chlore, le fer et le zinc dans les tissus des deux espèces ainsi que celle du sodium dans les parties aériennes de la tomate peuvent être considérées comme normales.

Nous pouvons dire que dans le cas d'une bonne pratique agricole, les risques encourus par les cultures irriguées avec de telles eaux usées traitées sont minimes, au moins à court et moyen terme, d'autant plus que les éléments chimiques les plus polluants sont retenus dans les boues au cours de l'épuration. Seul le risque dû à l'azote est à appréhender et à prendre en compte. Le problème se poserait différemment si l'effluent était d'origine industrielle ou en cas de mauvais fonctionnement de la station d'épuration.

A partir de nos investigations en milieu contrôlé, nous avons constaté que les eaux usées utilisées présentaient, sur la base de l'azote prélevé par le haricot vert, une efficacité agronomique et d'absorption inférieure à celle de l'ammonitrate. L'amélioration des rendements obtenus en présence d'eau usée traitée, accompagnée par une élévation des teneurs en azote par rapport à un témoin non fertilisé conduit à considérer l'apport des eaux usées comme un complément de fertilisation dont il faut tenir compte dans le calcul de la dose de fertilisation minérale à apporter.

Les approches nécessaires à tenir compte sont :

- Compléter par des analyses physico-chimiques de nos sols (A) et (B), ainsi que l'eau du drainage récupérée à la fin de l'expérimentation pour voir le bilan de tous nos éléments organiques ou minéraux.
- Instaurer des stations (STEP) nécessaires pour chaque ville peuplée et aider ainsi au contrôle de cette énergie précieuse.

- Créer des bassins de décantations tout prêt des vergers irrigable ; d'après L'OMS, FAO les valeurs et les résultats trouvés dans notre étude pour le (E3) qui est l'eau traitée, se trouvent dans la bonne norme, valable pour l'irrigation des cultures maraichères, fourragères et pérennes.
- Instaurez, aussi les nouvelles techniques de traitement comme celle aux ultraviolets soule système bactériologique, la membrane HF-FWS et CW pour mieux rassurer le consommateur et l'agriculteur pour cette eau de bonne qualité à des fins agricoles

References

- [01] Anderson, J.F. Hallmartin, A., Russell, D.A. (1985). Minimum Area Requirements of species. *Journal of Zoology*. 53-61.
- [02]. Abbas S.T., Sarfraz M., Mehdi S.M., Hassan G. et Obaid-Ur-Rehman (2007), Trace elements accumulation in soil and rice plants irrigated with the contaminated water; *Soil & Tillage Research* 94 503–509
- [03]. Adams, A., (2009) : Recherche sur les eaux usées urbaines. INRA, France.
- [04]. Alatiri R., Rezgui F. et Aniba B. H., (2002), Réutilisation des eaux usées, cas de la Tunisie,
- [05]. Allani A. (1993), Epuration des eaux résiduaires urbaines par lagunage aéré et désinfection par rayonnements ultraviolets. Thèse doc. Uni. Paris VII.
- [06]. Ayers, R.S., D.S., Westcot (1985), Water quality for agriculture. *Irrigation and Drainage*
- [07]. Bahri, A. and F. Brissaud. (2002), Guidelines for Municipal Water Reuse in the Mediterranean Countries. WHO regional Office for Europe, Euro Project Office, MAP, Athens, Greece, pp. 62.
- [08]. Charfi D., (1995); Effet des eaux usées traités sur les caractéristiques physico-chimiques du sol et sur la physiologie de quelques espèces végétales cultivées au périmètre d'ElHajeb (Sfax). Thèse en écologie végétale, Fac. Sci. de Sfax.
- [09]. Cherifi ,(2011) : yieldcropsvegetables
- [10]. Benfredja, F., Han, J., Funamizuc, N., Ghrabid, A., Isoda, H., (2012). Assessment of waste water-irrigated soil containing heavy and establishment of specific biomarkers *Ecotoxicology and environmental safety*. https://tsukuba.repo.nii.ac.jp/index.php?action=pages_view_main&active_action=repository_action_common_download&item_id=27765&item_no=1&attribute_id=17&file_no=1&page_id=13&block_id=83
- [11]. FAO (2007), Agriculture et rareté de l'eau: une approche programmatique pour l'efficacité de l'utilisation de l'eau et la productivité agricole. COAG/2007/7, Rome, pp15
- [12]. Fars S., Bousselhaj K., Nejmeddine A., Ouazzani N. Laghmari A. et Bouadili A. (2003), Réutilisation d'une eau résiduaire brute et purée en agriculture: Disponibilité de l'azote et trois métaux lourds (Cu, Cd et Cr). Séminaire internationale: Réutilisation des eaux usées traitées et des sous-produits de l'épuration: optimisation, valorisation et durabilité, septembre 2003, Tunis, Tunisie.
- [13]. Glass, Spalding EP1, Hirsch RE, Lewis DR, Qi Z, Sussman MR, Lewis BD . (1999): Potassium uptake supporting plant growth in the absence of AKT1 channel activity: Inhibition by ammonium and stimulation by sodium. *Plant physiol*. 113(6):909-18.
- [14]. Junger, J.F., (2000). The reuse of urban waste water in agriculture: European Research on Treated Wastewater Reuse in Agriculture. Urban Technology Network Project 10th, 7 pages.
- [15]. Keffala Cheima, Marcello, Ahmed Ghrabi, & Jean-Luc Vassel 2011, investigation of nitrification and denitrification in the sediment of wastewater stabilization ponds.
- [16]. Masi F (2008). Enhanced denitrification by an hybrid HF-FWSCW in large scale wastewater treatment plant (Jesi). In V (ed) *wastewater treatment, plant dynamics and management in constructed and natural wetlands*. Springer, New York.
- [17]. Masi F, Caffaz S, Ghrabi A (2013) Multi-stage constructed wetlands Technology .
- [18]. Mireles A., Solis C., Andrade E., Lagunas-Solar M., Pina C., Flocchini R.G., (2004), Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with wastewater from Mexico city. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 219–220 , 187–190. Paper 29. FAO, Rome.
- [19]. Pescod, MB. (1992), Wastewater treatment and use in agriculture. Bull FAO, vol. 47; Rome, Italy: FAO. pp125.
- [20]. Standard Methods, other parameter Technique, water analysis methods, Examination of water and wastewater, : centennial Edition , Loveland (2005).
- [21]. Toze S. (2006), Reuse of effluent water—benefits and risks; *Agricultural Water Management*.

Etude de quelques expressions morpho- physiologiques chez trois génotypes de blé dur pour la sélection à la tolérance au déficit hydrique

Study of some morpho- physiological expressions in three durum wheat genotypes for drought tolerance selection

Houda Benmounah & Louhichi Brinis*

Laboratoire Amélioration Génétique des Plantes, Université Badji Mokhtar, BP 12, Annaba, 23000, Algérie.

Soumis le : 18/06/2018

Révisé le : 27/07/2018

Accepté le : 04/09/2018

ملخص :

تعتبر هذه الدراسة بحث و كشف لطاقة الإنبات لثلاثة أصناف من القمح الصلب ، و هدفها تقييم مستوى نشاطهم . النسبة المئوية للإنبات، النمو في مرحلة مبكرة و تحليل إمتصاص الماء . كانت من ضمن تلك العوامل الترقمنا بتحليلها أهم النتائج المتحصل عليها كانت كالتالي :

- بعد 05 أو 10 أيام ليست هناك فرق معتبر في قدرة الإنبات.
- تحليل إمتصاص الماء يدل على ان البذور المستعملة في صحة فسلجية جيدة .
- في الحقل وجود شمع عند الصنف " عمار 6 " برهن انه يمتاز بصفات تأقلمية معتبرة في وجود جفاف أو فقدان مائي .

و في النهاية قد سمحت لنا هذه الدراسة المتواضعة بتحليل دقيق مبني ، و سريع في نفس الوقت و هذا من اجل إستعمال البذور في تجارب حقلية .

الكلمات المفتاحية : قمح صلب - جفاف - فسلجة - تأقلم - نشاط

Résumé :

La présente contribution est une exploration des aptitudes germinatives de semences de trois génotypes de blé dur, permettant d'apprécier le niveau de vigueur de celles-ci. Le pourcentage de germination, la cinétique de croissance à un stade juvénile, le test d'absorption d'eau en sont quelques paramètres effectués. Un autre paramètre physique, à savoir la taille des semences, a aussi été pris en considération ; pour apprécier l'effet intra et inter variétés. Les résultats auxquels nous avons abouti montrent que le pourcentage de germination, exprimé après 5 jours et 10 jours ne semble pas discriminant à ce point et les résultats, malgré de légères variations restent quelque peu similaires. La cinétique de croissance, quant à elle, présente des différences entre les génotypes étudiés. Le test d'absorption d'eau a montré que les génotypes présentent une bonne vigueur. Au champ, il est à remarquer le caractère distinctif de présence de cire (composé donnant une texture lisse des feuilles) chez la variété Ammar6, ce qui lui confère en principe des qualités adaptatives de tolérance au stress hydrique. Cette étude nous aura permis une exploration préliminaire simple, rapide mais fiable tout autant, des semences, avant leur utilisation dans des essais en plein champ.

Mots clés : blé dur-stress hydrique- physiologie- adaptation-vigueur.

Abstract :

The present contribution is an exploration of germinative abilities of seeds from three durum wheat genotypes, allowing us to appreciate level of this vigor. Germination percentage, kinetic growth at seedling stage, water absorption were performed. Another physical parameter, seed size, was also chosen in order to appreciate its effect between and within varieties. Results that have been obtained show that germination percentages, expressed after 5 days and 10 days, does not seem to be discriminating at that point even though some light differences. Kinetic growth shows differences among genotypes. Water absorption showed varieties had higher vigor. Simeto that had the highest thousand kernel weight, seems to be correlated to water absorption test. In the field, waxiness was found in cv Ammar6. This study would have allowed us to perform simple, rapid and reliable tests for early screening before field planting.

Keys words: durum wheat-water stress- physiology- adaptation-vigor.

* Auteur correspondant : lbrinis@yahoo.fr

1. Introduction

Les céréales constituent en Algérie la principale source d'alimentation et représentent environ 3.5 millions d'hectares [1]. Le blé dur occupe à cet effet une place de choix avec ses 1.5 millions d'ha [2]. Malgré les nombreuses tentatives pour augmenter de manière substantielle la productivité, il n'en demeure pas vrai que les rendements n'ont jamais ou presque, excédé les 15qx/ha [3].

Les oscillations en dents de scie des productions céréalières trouvent leur explication dans l'irrégularité et l'imprévisibilité du climat dont les contraintes environnementales, abiotiques en particulier, se font sentir et pèsent sévèrement de tout leur poids sur le potentiel génétique des variétés. Les nouvelles variétés, dites intensives, à haut potentiel de rendement, sont le plus souvent sélectionnées sur la base de leur niveau de rendement sans tenir compte des traits d'adaptation qui sont des régulateurs de la production en zones arides et semi- arides [4]. Ces variétés, si en milieu favorable elles arrivent à exprimer leur potentiel de rendement, en régime pluvial, elles sont moins productives, eu égard à l'interaction génotype- milieu.

Selon [5], le rendement est à peine aux environs de 15qx/ha. En 2016, la production de blé en Algérie a atteint 3 500 000 tonnes [6]. Les faibles niveaux de rendement sont souvent expliqués par l'irrégularité de la pluviométrie et la sensibilité de la majorité des cultivars aux maladies fongiques.

La difficulté d'obtenir ou de sélectionner des génotypes prometteurs de rendement et de stabilité, réside dans le concept même de sélection [3].

La sélection directe au champ a néanmoins montré ses limites. La sélection indirecte, basée sur l'expression physiologique de certains traits, se trouve être une alternative intéressante [7]. Cette dernière peut à travers une évaluation exploratrice à un stade juvénile, précoce donc, de mieux identifier, quantifier mais hiérarchiser aussi des traits d'adaptation [3] ; [8] ; [9] et [10].

[11], [8] et [12] ont étudié et identifié des paramètres phénologiques, morphologiques et physiologiques, utilisés comme critère de criblage dans le processus d'amélioration génétique du blé pour la tolérance aux stress environnementaux, le stress hydrique en particulier.

Le stress hydrique limite la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale [13]. De nombreuses études ont montré que lors d'un déficit hydrique, les plantes adoptent des stratégies qui diffèrent d'une espèce à une autre et qui font intervenir une large combinaison de facteurs morphologiques, physiologiques et biochimiques [14].

L'objectif de cette contribution vise à apprécier l'aptitude physiologique chez trois variétés de blé dur, aux stades de la germination et de la croissance des plantules. Parmi les attributs de la semence, sa capacité à germer, à germer vite, et à avoir une cinétique de croissance qui la crédite d'une bonne vigueur. Cette expression première à la germination constituerait un trait intéressant en faveur d'une variété dont les performances agronomiques peuvent être prédites sur la base des résultats au stade juvénile. De plus, nous souhaitons établir un lien entre ces données physiologiques et celles obtenues sur terrain et qui concernent des traits morphologiques de tolérance au stress hydrique. La texture de la feuille (cireuse ou glaucescente) et la position de celle-ci (érigée-semi érigée et tombante) ont été sélectionnées.

2. Matériel et méthodes

Matériel végétal

Trois variétés de blé dur ont servi de matériel génétique de base à savoir cv Vitron, cv Ammar6 et cv Simeto dont les origines respectives sont l'Espagne, le CIMMYT, et l'Italie. L'essai a été réalisé au laboratoire à des fins d'analyses physiologiques, de semences en particulier et au champ pour des notations de traits d'adaptation.

Dispositif expérimental

un bloc complètement randomisé a été choisi. Chaque variété comprend trois traitements avec trois répétitions.

10 graines / pot ont été semées à une profondeur de 6 cm.

Les traitements :

- T0 : absence de stress à la capacité au champ. Celle-ci a été évaluée à 250 ml par pot.
- T1 : stress de sévérité de 60% de la capacité au champ
- T2 : stress de sévérité de 30% de la capacité au champ.

Le stade de prélèvement des échantillons pour analyse eurent lieu au stade phénologique de 5 feuilles (plantule de 5 feuilles).

Analyses effectuées au laboratoire

Les analyses effectuées ont concerné dans un premier temps le PMG. Ce trait morphologique est considéré comme déterminant de la qualité technologique de semences.

Ensuite le % de germination a été évalué pour quantifier l'aptitude physiologique des trois variétés utilisées. Le test de vigueur et de viabilité a été réalisé respectivement à 5 jours et 10 jours dans les conditions optimales du laboratoire. (Température à 20°C et 60% d'humidité relative). Ces conditions sont celles préconisées par l'I.S.T.A (International Seed Testing Association).

La cinétique de croissance a été exécutée sur papier buvard (15 graines/ répétition). Les longueurs des racines et coléoptiles ont été évaluées journalièrement jusqu'à 12 jours ; au terme desquels l'essai pris fin.

Un test d'absorption d'eau a été effectué sur un lot de semences de 10 gr, trempé dans de l'eau et pesé toutes les 3 heures. La dernière pesée s'effectue après 48heures car au-delà, la germination physiologique s'opère (percée du coléoptile) et s'ensuit une perte d'eau.

Au champ : un essai de trois génotypes a été installé selon un dispositif expérimental des blocs complètement randomisés avec 3 blocs (répétitions) , chaque parcelle élémentaire constituée de 6 rangs de 2.5 m de long, espacés de 20 cm. L'espacement entre les variétés est de 50 cm.

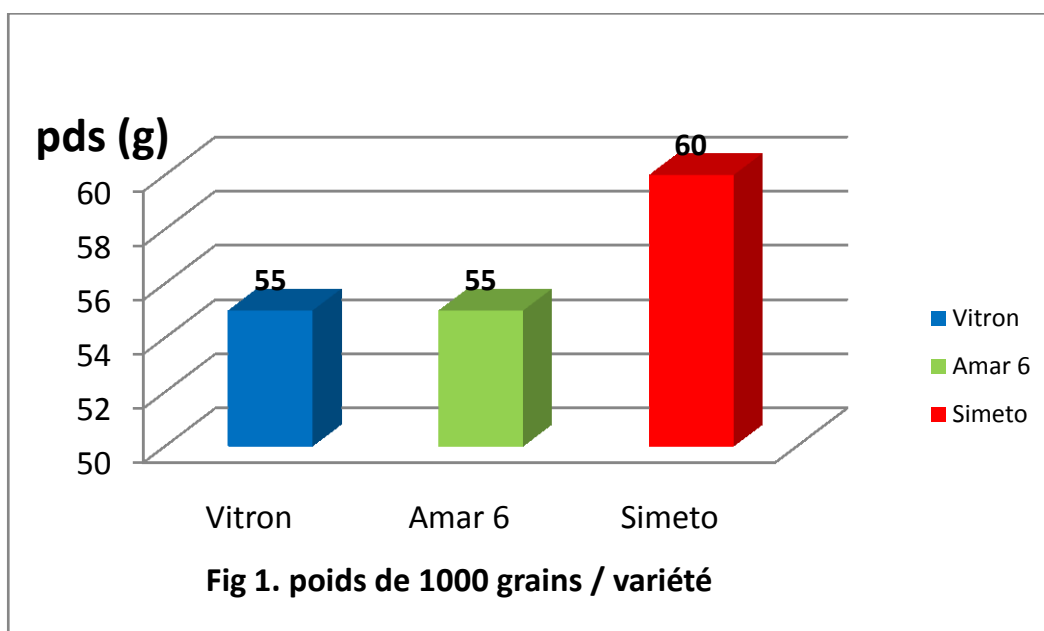
Les notations prises : deux traits physiologiques ont été ciblés pour la présente contribution. Il s'agit de :

- L'apparence de la feuille : érigée- semi- érigée- tombante
- La texture de la feuille : cireuse (waxiness), glaucescence

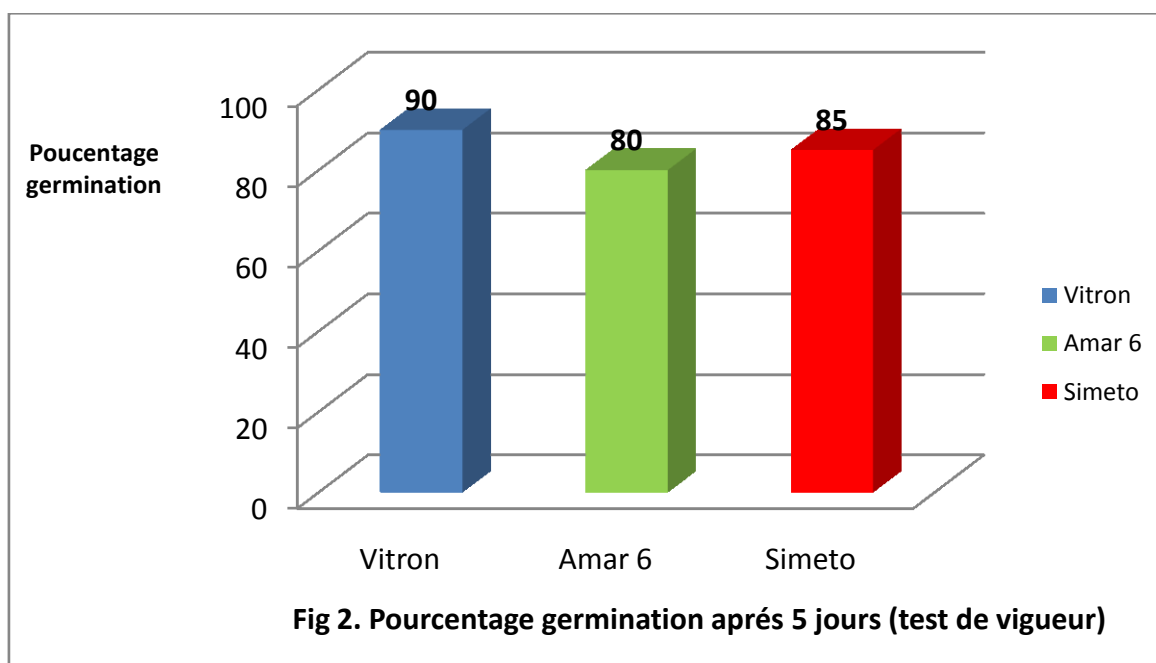
3. Résultats

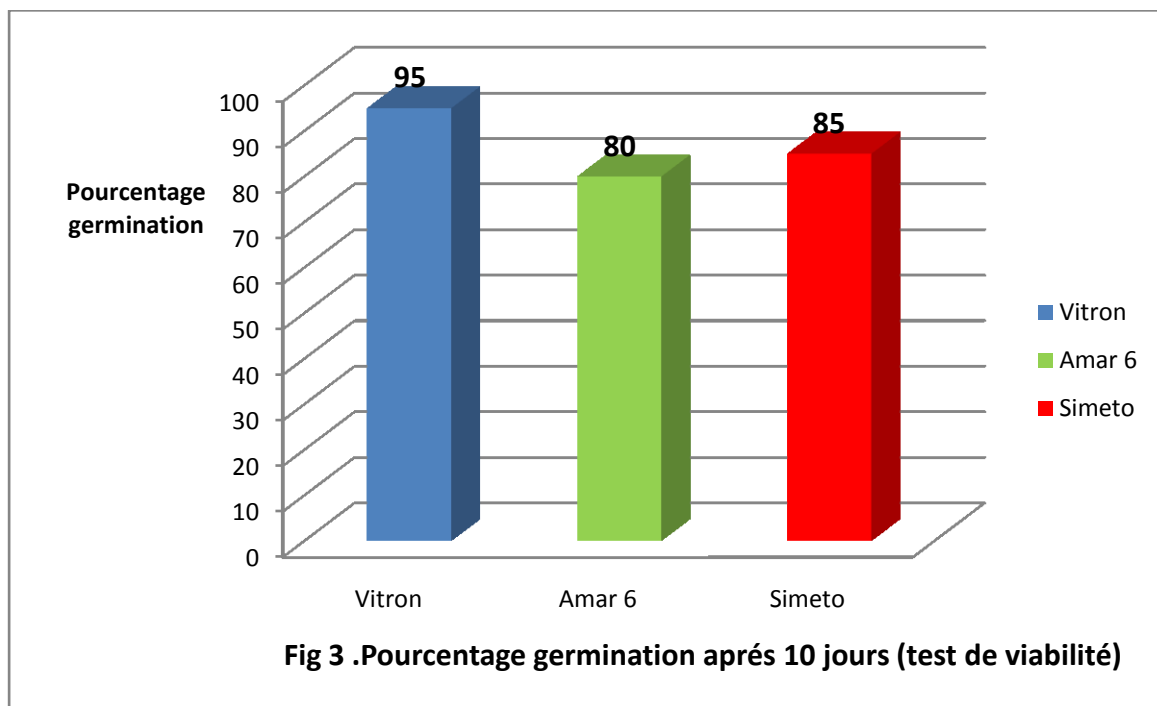
A l'issue de ce travail et au regard des résultats obtenus, illustrés soit par tableaux, soit par graphes, soit par histogrammes, il en ressort les points essentiels suivants :

- Le PMG (poids de 1000 grains), souvent utilisé comme un déterminant ou attribut important de qualité chez les semences, s'avère être le plus élevé chez la variété Simeto (60 grammes) fig 1. Ceci étant, les PMG des deux autres variétés (Vitron et Amar 6) ne sont pas négligeables non plus. Un PMG élevé va nécessairement impliquer un poids spécifique élevé des variétés, ce qui favorisera un rendement élevé lorsque les conditions sont optimales, en absence de stress.

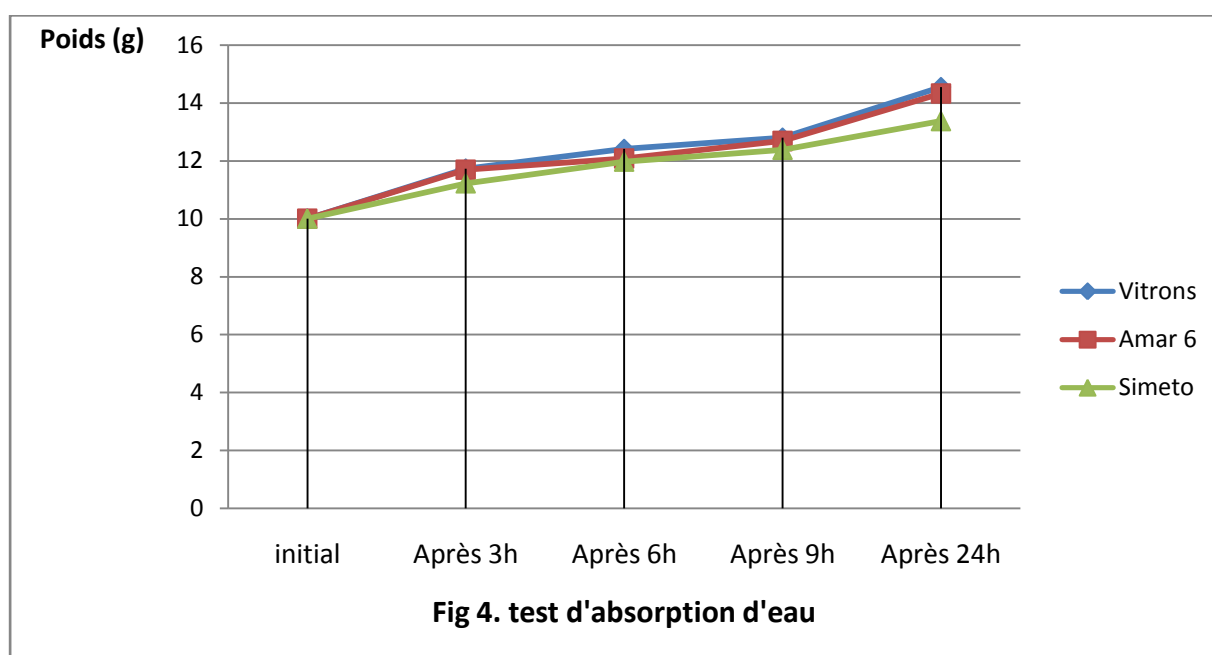


- **Le pouvoir germinatif** a montré un niveau élevé pour les trois variétés (fig 3), à cette différence près pour Vitron (95%) après 10 jours de germination. Ce test constitue en soi un test de viabilité (durée requise selon les normes ISTA [15]), alors qu'après 5 jours (fig2), les résultats, quelque peu similaires et élevés en tous cas, reflètent une bonne vigueur des semences des trois variétés. Ceci prouve que les génotypes mis en expérimentation ont une bonne santé physiologique, traduite par une viabilité et une vigueur appréciables.



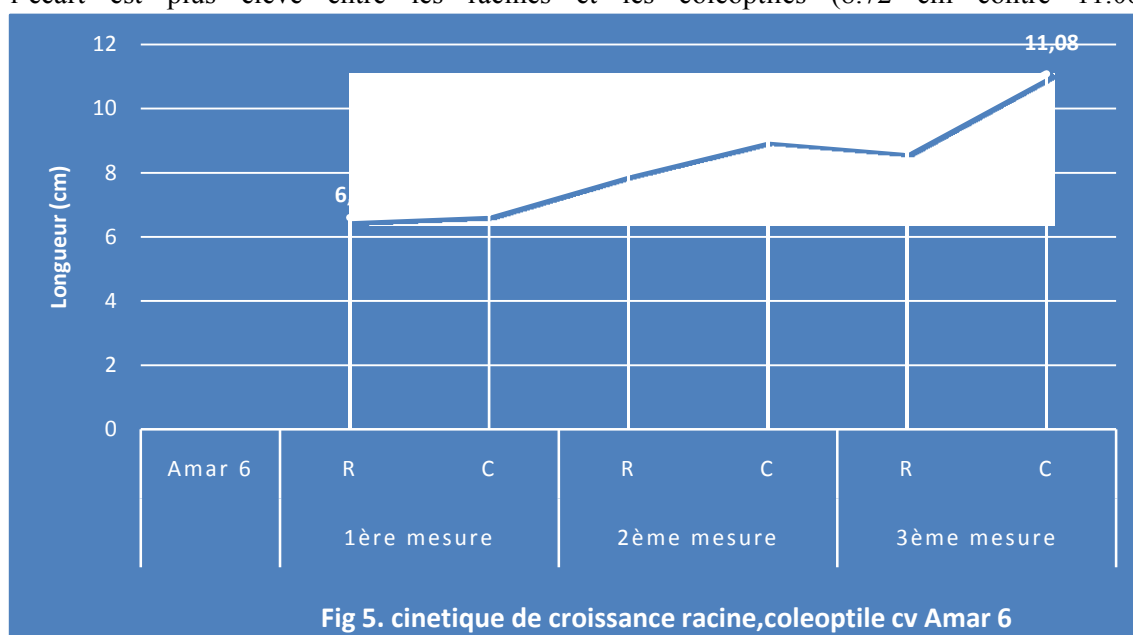


- **Le test d'absorption** d'eau (fig4), qui selon certains auteurs [16], doit discriminer entre les variétés selon la régulation du flux d'eau pendant une certaine durée (48h), a montré que la variété Simeto était celle qui absorbait le moins d'eau ; d'où l'hypothèse d'une meilleure intégrité membranaire de ses semences. Au-delà de 48 heures, les graines vont être à saturation, le péricarpe éclate et le point de rupture au niveau de l'embryon entrainera une perte d'eau et d'exsudats (leachates).
- Le fait aussi que le PMG de cette variété soit le plus élevé (60g), il est possible de faire un lien de corrélation négative. Plus le PMG est élevé, moins le génotype absorbera d'eau, même s'il reste encore à affiner et confirmer cette approche déductive. La composition nutritionnelle, telle la masse molaire protéique avec une densité de 1.2 par rapport à l'amidon, de densité 0.8, selon [17], peut en effet expliquer d'abord pourquoi un PMG peut-il être élevé, ensuite déduire que s'il est élevé, c'est en partie grâce à une nutrition azotée adéquate qui lui confèrera un bon PMG grâce à la translocation des photoassimilats vers la graine.



- **Cinétique de croissance :**
- **variété Amar 6**

La vitesse de germination (fig 5) évalue l'élongation du coléoptile et des racines principales. Les résultats obtenus par génotype montrent que la cinétique de croissance suit une courbe ascendante et ce, pendant 15 jours (période pendant laquelle l'essai a été suivi). Pendant la première mesure, les racines et les coléoptiles ont une longueur moyenne à peu près égale (6.60cm contre 6.77cm respectivement). Pendant la seconde phase de mensuration, les coléoptiles prennent légèrement le dessus sur les racines (9.08 cm contre 8.03), alors qu'à l'issue de la troisième et dernière mensuration, l'écart est plus élevé entre les racines et les coléoptiles (8.72 cm contre 11.08 cm).



- **Variété Vitron :** Contrairement à la variété Amar6, les racines ont une longueur plus élevée lors de la première mesure (3.74 cm contre 1.43 cm respectivement). Pendant la seconde phase de croissance, les racines demeurent encore supérieures en longueur (fig6) par rapport

aux coléoptiles (5.57 cm contre 4.36 cm). A l'issue du test, les coléoptiles ont surpassé en longueur les racines légèrement (6.32 cm contre 5.80 cm respectivement).

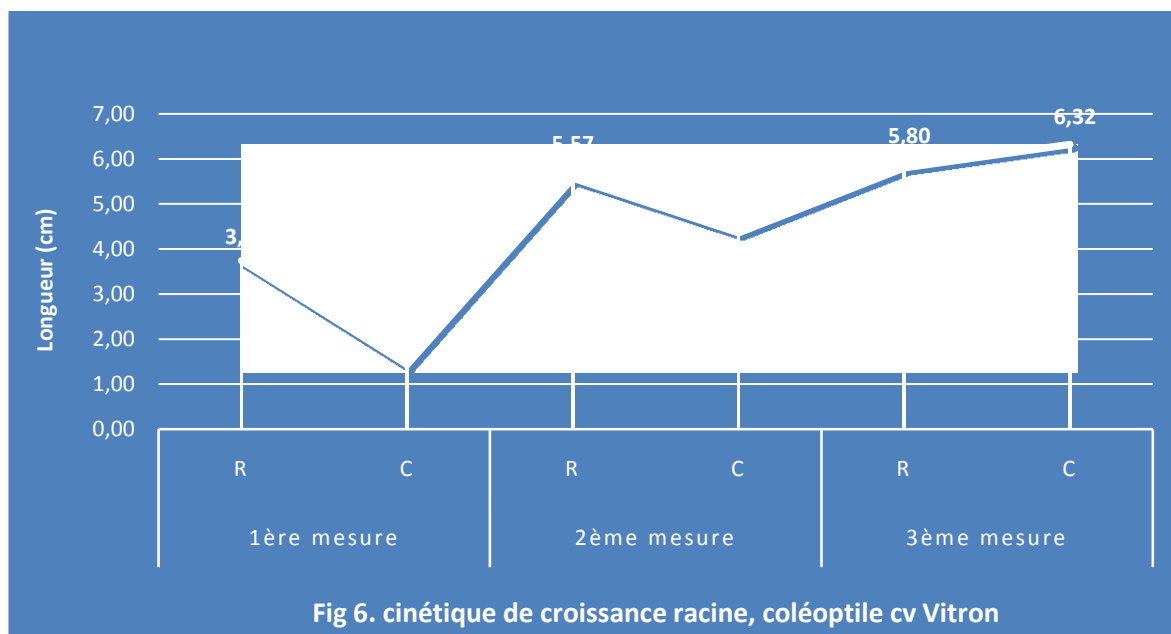


Fig 6. cinétique de croissance racine, coléoptile cv Vitron

- **Variété Simeto** : si pendant la première mesure les longueurs moyennes des racines et des coléoptiles semblent être relativement rapprochées (6.95cm pour les racines et 7.85cm pour les coléoptiles), la seconde phase est plus discriminante (8.17cm contre 10.57 cm, alors que les dernières mesures vont en faveur des coléoptiles (11.85) contre 8.63cm pour les racines. (fig7)

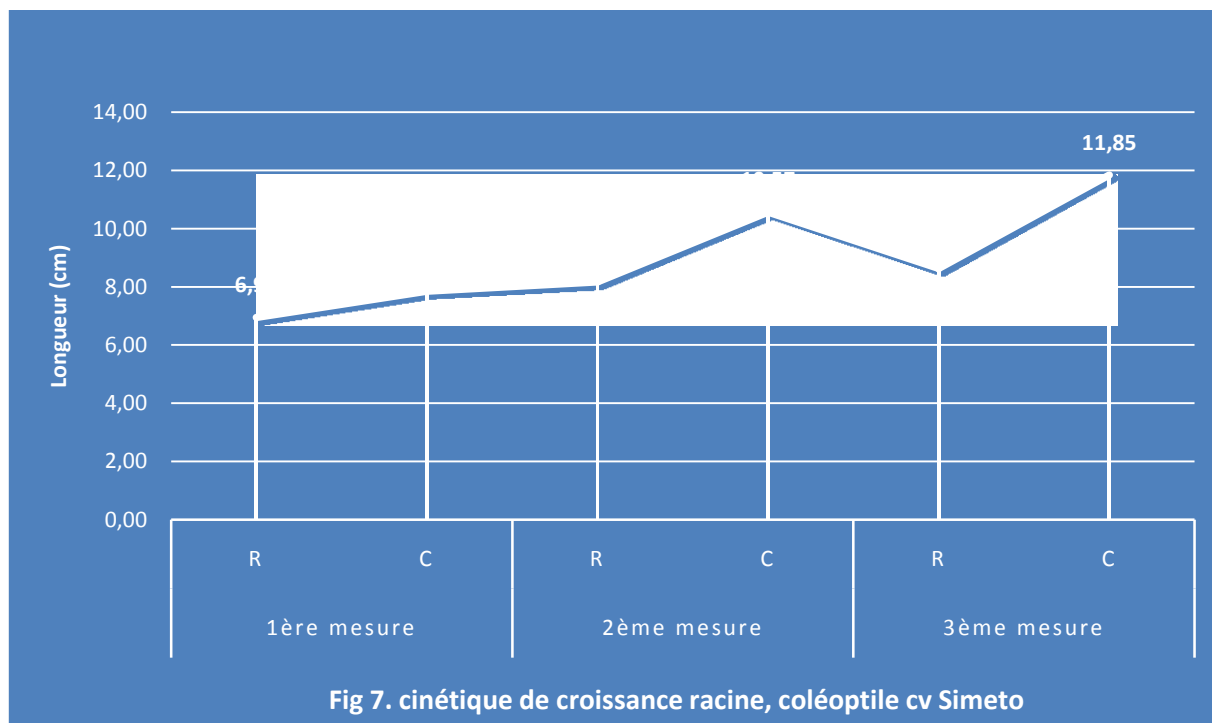


Fig 7. cinétique de croissance racine, coléoptile cv Simeto

Ces résultats montrent la spécificité génotypique qui se traduit par des manifestations physiologiques particulières et qui sont pour un bon nombre d'entre elles, liées au corpus génétique de l'espèce, voire de la variété.

Ces résultats seront encore davantage révélateurs lorsqu'un stress abiotique, le stress hydrique en l'occurrence est imposé à ces variétés. Cela permettrait d'élucider les mécanismes adaptatifs et de pouvoir associer ces traits d'accommodation à d'autres traits phéno-morphologiques. Ainsi, il en ressort que des modèles physiologiques peuvent être déduits grâce à cette démarche de sélection trait par trait, appelée aussi approche analytique.

Au champ : dans la perspective d'une approche multi caractères, synthétique et corrélative entre différents traits d'adaptation au stress hydrique, il a été possible d'identifier les traits suivants :

- Feuille pendante (flag leaf) pour Vitron
- Semi pendante pour Simeto
- Feuille érigée (erect leaf) pour Ammar6

L'aspect présence de texture lisse foliaire (dépôt de cire) a aussi été pris en considération. La variété Ammar6 possède ce caractère qui lui confère une adaptation toute indiquée sous des conditions de hautes températures et déficit hydrique.

4. Conclusion

Les résultats obtenus pour ce volet de physiologie de semences constituent un préalable pour la suite de l'exploration au stade juvénile, grâce aux tests prédictifs. La sélection indirecte, qui, tiendra compte à la fois des performances obtenues pendant la germination mais aussi des aptitudes exprimées au stade plantule, nous permettra de procéder à un criblage de traits susceptibles d'être intégrés dans un programme d'amélioration génétique du blé dur. La sélection directe qui consiste seulement à quantifier le rendement en grains, a montré quelque peu ses limites et ce, compte tenu de l'imprévisibilité et de l'irrégularité des paramètres du climat. Pour se rapprocher davantage des prévisions de rendement, nous préconiserons une exploration fine des génotypes étudiés en vue d'identifier des marqueurs prédictifs de tolérance au stress hydrique. Ces marqueurs peuvent être phénologiques (esquive pour échapper au stress) ; physiologiques (production de photoassimilats) ; élaboration d'osmorégulateurs de tolérance au stress imposé (accumulation de proline, de sucres solubles et de protéines).

Ces produits issus de catabolisme ou de protéolyse serviront de bio protecteurs de la cellule. Il reviendra à l'améliorateur d'apprécier la participation et la part de chacun de ces marqueurs selon leur importance et d'en faire bon usage en les intégrant dans le processus de sélection variétale.

References

- [1] MADR 2014. Annuaire statistique du ministère de l'agriculture et du développement rural, MADR Algérie, série B : pp 77
- [2] Megherbi A, Mehdadi Z., Toumi F., Moueddene K. et Bouadjra S.E.B.2012. Tolérance à la sécheresse du blé dur (*Triticum durum* Desf) et identification des paramètres morpho-physiologiques d'adaptation dans la région de SBA. *Acta Botanica Gallica*. Vol 159 (1), pp 137-143.
- [3] Brinis L.1995. Effets du stress hydrique sur quelques mécanismes morphophysiologiques des traits d'adaptation et déterminisme génétique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) Recherche d'héritabilité transgressive en F1. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences , Univ. Badji Mokhtar, Annaba. 156p.
- [4] Lalla Z. 2010. Analyse en chemin des relations entre le rendement en grains et les composantes chez des populations F3 de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. Mémoire de magister, Faculté des Sciences, Département d'Agronomie. Université Ferhat Abbas, Sétif. 97p.
- [5] Benbelkacem A.E.K. 2013. Rapport national des activités du projet INRA-ICARDA 2012-2013. Pp : 45.
- [6] FAO. 2014. Données statistiques des cultures. <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>, 18.02.2017.

- [7] Monneveux P. et Nemmar M. 1986. Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre et le blé dur ; étude de l'accumulation de la proline au cours de cycle de développement. *Agronomie*, 6 :583-590.
- [8] Monneveux P. 1991. Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver. In : l'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides (AUPELF-UREF, ed) John Libbey Eurotext, Paris, 165-186.
- [9] Acevedo, E. 1985. Assessing crop and plant attributes for cereal improvement in water limited Mediterranean environments. *J. Wiley ed.* P.303-320
- [10] Nachit M.M. et Jarrah M. 1986. Association of some morphological characters to grain yield in durum wheat under mediterranean dryland conditions. *Rachis.*, 5 :33-35.
- [11] Clarke J.M. 1987. Use of physiological and morphological traits in breeding programs to improve drought resistance of cereals. In : Drought tolerance in winter cereals (JP Srivastava, E Porceddu, E Acevedo, S Varma, eds) John Wiley and Sons, UK, 171-189.
- [12] Passioura J. B. 1996. Drought and drought tolerance. *Plant growth regulation* 20: 79-83. Kluwer Academic Publishers
- [13] Wang W., Vinocur B. et Altman A. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures : towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218: 1-14
- [14] Monneveux P. et Belhassen E., 1997. Drought tolerance in higher plants. Kluwer Academic Publishers.177p
- [15] ISTA. 1978. Rules for testing seeds. Association of official seed analysis. *Journal of Seed Technology*, Vol 3, number 3
- [16] Harrington J.F. 1959. Effect of fruit maturity and harvesting methods on germination of muskmelon seed. *Proceeding of American Society for horticultural Science*. 73: 422- 430.
- [17] Abdul Baki. A.A. 1969. Relationship of glucose metabolism in germinability and vigor in barley and wheat seeds. *Crop Science*, 9: pp. 732- 737

Nomenclature

Fig: figure

Cm: centimètre

g: gramme

Pds: poids

PMG: poids de mille grains

Le plan d'occupation des sols (POS Sud) de Guelma: Un projet urbain et des éléments influents

The land use plan (south POS) of Guelma An urban project and influential elements

Mohammed Cheraitia^{*1} & Mokhtar Makhlouf²

¹Université 8 Mai 1945 Guelma, 24000, Guelma, Algérie.
Université des frères Mentouri, 25000, Route de Ain El Bey, Constantine, Algérie.

Soumis le : 23/11/2017

Révisé le : 21/06/2018

Accepté le : 24/06/2018

ملخص

في تجربة المشروع العمراني لمدينة قالم، المسماة مخطط شغل الأراضي جنوب ، تمت مشاركة المواطنين بشكل مساهمة مالية لتمليك سكن اجتماعي، وقد ولدت هذه الفرصة المالية اندفاعا لسكان المدينة على البرامج الجديدة للسكن. هل سيؤدي هذا النوع من المشاركة المالية إلى دفع ممارسات عمرانية جديدة؟ أو أن هذه التجربة في نهاية المطاف ظرفية و مولدة لوضع جديد يتحتم على منهجية المشروع العمراني تسييرها ؟ يهدف هذا النص إلى متابعة و تحديد تأثير عنصر المشاركة المالية والتشاور ضمن منهجية المشروع العمراني. و من خلال تحقيق سوسيولوجي، اقتربنا من أصحاب الملكية المشتركة للسكنات قيد الإنجاز لتأكيد أو نفي صحة فرضيتنا المرتكزة على مرونة و تعقد المشروع العمراني. و قد مكنا هذا الإقتراب من تأكيد صحة فرضيتنا بتكيف و تأقلم المشروع العمراني المذكور لتسيير المصالح المتضاربة و المتنازع عليها في كثير من الأحيان.

الكلمات المفتاح: المشاركة المالية - المشروع العمراني - أدوات التعمير - التشاور - الحكم.

Résumé

Dans le vécu du grand projet pour la ville de Guelma, dénommé « le plan d'occupation des sols Sud », une participation citoyenne est venue s'opérer, conçue initialement sous forme de financement de l'acquisition d'un logement social. Cette opportunité financière créa la ruée des habitants de la ville sur les nouveaux programmes de logement.

Cette forme de participation financière propulsera-t-elle de nouvelles pratiques urbaines? Où ne sera-t-elle finalement qu'une expérience de conjoncture, générant une nouvelle situation que la démarche projet urbain doit gérer? Notre objectif ici est de suivre et déterminer l'influence des éléments participation financière et concertation au sein de la démarche du dit projet urbain. Nous nous sommes rapprochés des futurs copropriétaires par le biais d'une enquête sociologique afin de confirmer ou d'infirmer la validité de notre hypothèse de flexibilité et de complexité du projet urbain.

Ce rapprochement nous a permis de confirmer l'ajustement et l'adaptation de ce projet urbain, pour gérer les intérêts souvent contradictoires et contentieux.

Mots clés: Participation financière - projet urbain- gouvernance-instruments d'urbanisme- concertation.

Abstract

The south land use plan of Guelma city interprets the participation of citizens, initially conceived as a form of a financial procedure to acquire a social housing; it has become a great opportunity for its inhabitants by arousing their interest toward the new housing program.

Will this form of financial participation propel new urban practices, or it will be just a kind of a short term experience, generating a new situation that the urban project approach has to manage?

Our objective in this paper is to follow and to determine the influence of elements financial participation and consultation under the umbrella of the so called urban project. For that, a social survey with the future part owners has been administered in order to confirm or to infirm the validity of our hypotheses, concerning the flexibility and the complexity of the urban phenomenon. This technique has allowed us to confirm the adjustment and the adaptation of this urban project to manage the contradictory and the contentious interests.

Key words: Financial participation- urban project- governance- town planning instruments- consultation.

* Auteur correspondant : cheraou@live.fr

1. INTRODUCTION

« Aucune certitude, aucun modèle, aucune utopie, aucune vision de future ne s'impose aujourd'hui avec l'évidence, et donc la force qui fût celle d'hier. L'assurance des voies tracées à l'avance et de la maîtrise des lendemains appartient désormais à un passé révolu ». [1] Le projet urbain comme démarche est une action cohérente, qui nécessite une coordination entre des logiques contradictoires afin d'arriver à un consensus. La participation financière, de futurs acquéreurs de logements sociaux, a mis en exergue des pratiques qui ont occulté des éléments qui se sont manifestés à travers les actions individuelles de transformations spatiales ; transformation d'un produit à habiter qui est le logement. La cohérence d'un processus de participation à la fabrication d'une partie de la ville, nécessite la coordination entre plusieurs éléments à découvrir.

Le plan d'occupation des sols Sud à Guelma a fait l'objet d'une action de participation financière de futurs acquéreurs, le produit livré (logement) n'a pas fait l'objet de concertation de tous les acteurs. Ce projet urbain comme démarche doit gérer les contentieux et la temporalité de ces actions.

Cet article présente les déterminants de l'évolution urbaine de la ville de Guelma, et l'objectif est de saisir ses problématiques urbaines comme résultat d'une fabrication par morceau à l'aide d'instruments de planification urbaine qui nécessitent, d'ores et déjà, des mises à jour négociées. L'approche du POS Sud et de son environnement immédiat, et la présentation de son programme d'action, ainsi que son échelle temporelle (les transformations spatiales et les conflits d'intérêt économique) pouvant nous apporter des réponses quant au jeu des acteurs de sa fabrication. Nous concluons notre article par les résultats d'une enquête sociologique qui se thématise sur des dimensions se rapportant à la participation financière, pour l'acquisition d'un logement collectif en copropriété, d'une catégorie d'acteurs qui sont les futurs habitants et usagers de l'espace. Les avis de cette catégorie d'acteurs nous apporteront une démonstration sur la flexibilité de ce projet urbain, comme démarche, pouvant gérer les incertitudes de l'échelle temporelle, et sur les nouvelles conditions de la gestion de cette grande cité en gestation.

2. GUELMA, CONTEXTE ET EVOLUTION URBAINE

Située au Nord -Est de l'Algérie, à 60 Kilomètres au Sud de la Mer méditerranée et à 100 km à l'Est de Constantine, l'actuelle ville de Guelma¹ a vécu une urbanisation accélérée. Ceci a été provoqué par des événements socio politiques particuliers générateurs d'exodes ruraux croissants, la figure 1 nous montre l'étendue du territoire de la Wilaya de Guelma et son découpage administratif.

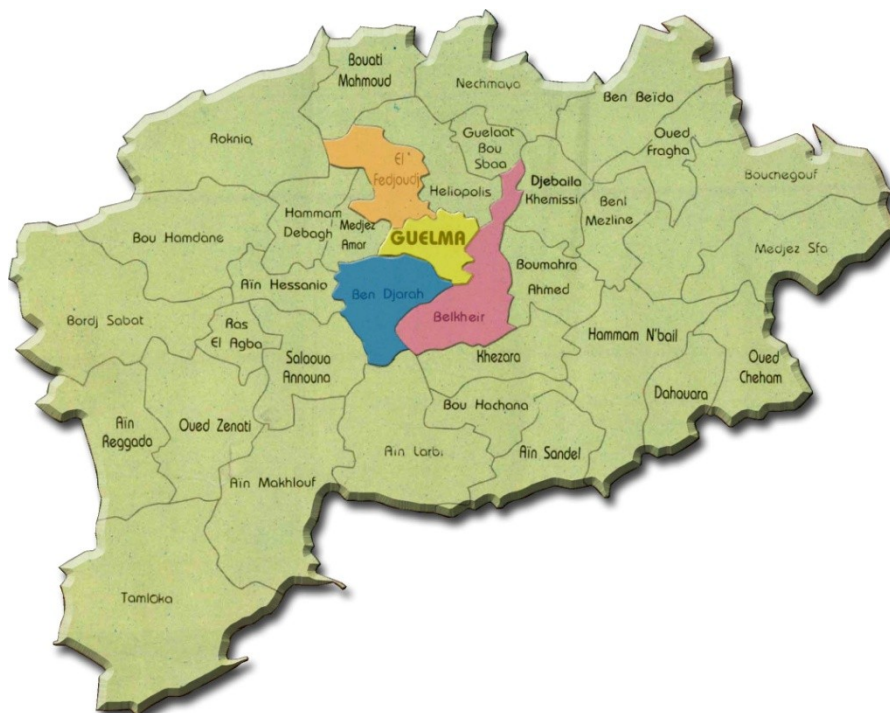


Figure.1 : Guelma dans son territoire de Wilaya, Source D.U.C GUELMA

L'extension progressive, au départ du noyau colonial, a permis à la ville de garder une certaine compacité dans sa composition urbaine. Néanmoins, elle présentait déjà des indications de périphérie lâche.

Après l'indépendance, l'habitat collectif a fait son apparition sous forme d'une grande masse mitoyenne à l'habitat spontané de Oued SKHOUNE, disséminé au Sud de la ville coloniale (Cité du 8 mars, Cité Bara, etc.), isolé à l'Est de l'agglomération (cité AGABI) et au Nord Est à proximité des unités industrielles (cité BENSOUILLAH).

Durant les années 1980, la commune de Guelma se remplissait d'habitat collectif (ZHUN AIN DEFLA, ZHUN GAHDOUR) et les lotissements individuels apparaissaient dans la périphérie sous une forme d'extension lâche. A l'image de toutes les villes algériennes l'habitat dit « illégal » accompagnait souvent ces extensions, en longeant la périphérie.

« La crise urbaine observée dans la plupart des villes algériennes, représente une suite logique de grandes mutations économiques et sociales, en effet la réappropriation de l'espace par la société algérienne a radicalement bouleversé le rythme de croissance urbaine (30 à 70% des citoyens sont nés hors la ville) » [2].

Au début des années 1990, l'avènement des PDAU et POS n'était au départ qu'une régularisation d'un état de fait subi, et une réservation de terrains urbanisables pour la réalisation de futurs programmes d'habitat et d'équipements sociaux.

« Le fait principal et concret est la manifestation d'un décalage entre les prévisions du plan d'urbanisme et l'urbanisation par production de l'espace urbain. Ceci a été due essentiellement à des formes spatiales incontrôlées, tant par les structures d'études que par les pouvoirs publics chargés de l'application du plan et de la gestion de l'espace » [3].

Le premier PDAU de la commune de Guelma date de 1996. Aujourd'hui est réalisé un PDAU intercommunal avec les communes limitrophes (BENDJERRAH-BELKHEIR-ELFEDJOUJ), la commune de Guelma s'étant dotée de 10 plans d'occupation de sols (sept d'extension et trois de densification), moyen permettant la réalisation de programmes d'urgence (formés principalement du logement social locatif). L'évolution urbaine de la ville de Guelma est illustrée sur la figure 2.

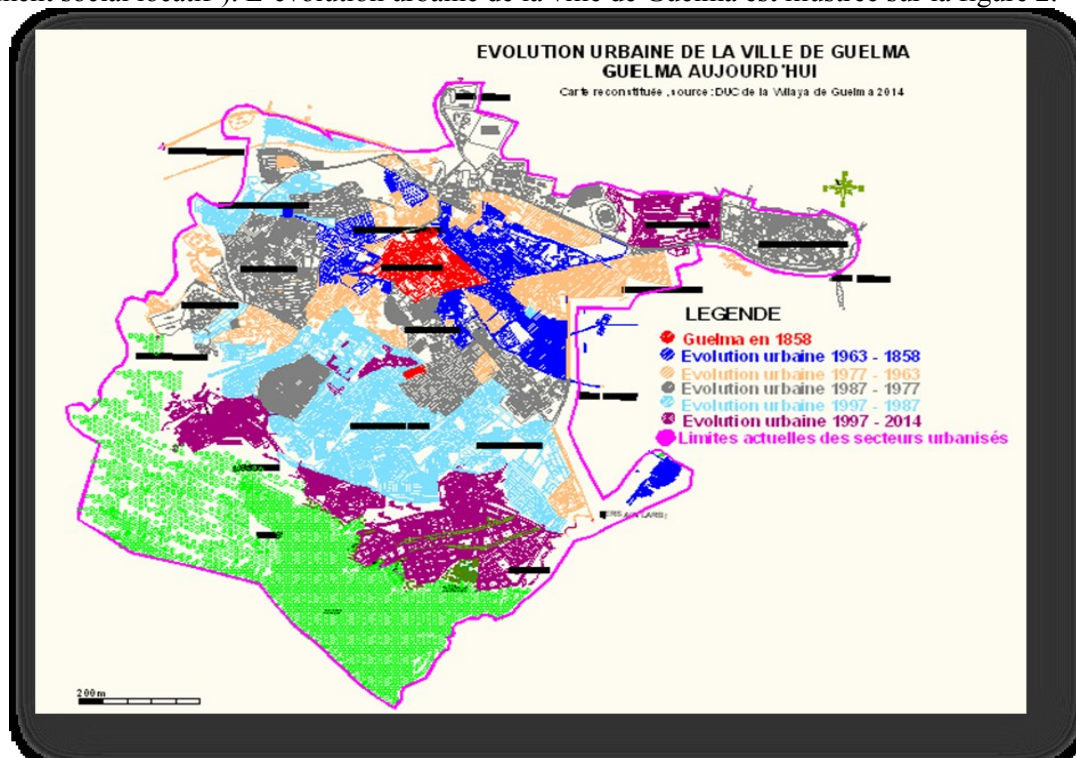


Figure 2 : Guelma Aujourd'hui, Source : DUC de la Wilaya de Guelma

3. INSTRUMENTS D'URBANISME OU LA FABRICATION D'UNE VILLE

« En Algérie, le pouvoir central est petit à petit remis en cause pour des questions essentielles économiques, sociologiques et culturelles » [4].

A partir des années 1990, les exigences de la nouvelle ère politique de libération du marché foncier ont vu naître la loi d'orientation foncière N° 90 / 25 du 18 / 11 / 1990, et la loi 90 / 29 du 01 / 12 / 1990 relative à l'aménagement et à l'urbanisme.

Celles-ci ont permis de mettre en place un nouveau dispositif législatif, chargé de la maîtrise du développement urbain.

« Si les multiples outils de maîtrise de croissance urbaine existent, il n'en demeure pas moins que leur utilisation d'une façon cohérente est loin de rejaillir sur l'aménagement urbain. La variété des intervenants, la faiblesse des moyens humains des collectivités locales, le foisonnement des projets, le décalage entre le discours technico-politique et la réalité, l'absence d'une politique claire dans le domaine...ne facilitent guère une compréhension correcte de l'évolution équilibrée des structures urbaines » [5].

De part l'importance accordée par les autorités publiques, la planification urbaine a mis en place des instruments de planification de l'espace à l'échelle de l'agglomération ou de la ville : le PDAU et le POS. Ces derniers traduisent la volonté des pouvoirs publics de maîtriser et d'organiser le développement urbain de façon détaillée, de réglementer les occupations et les utilisations des sols et, enfin, de préserver les terrains agricoles tout en réalisant les programmes sectoriels.

Dans un premier temps, L'entreprise d'élaboration des POS a préféré réguler les extensions en périphérie sur des terrains vierges, appelés POS d'extension ou POS d'aménagement, puis celles à l'intérieur de l'agglomération par des POS de densification ou de restructuration.

Conscientes des enjeux autour de la ville, les autorités publiques promulguent une loi, qui initie une démarche s'inscrivant dans le principe de concertation et d'implication des citoyens dans le choix et le suivi des programmes de gestion.

Celle-ci se veut le miroir d'une gouvernance démocratique et participative.

4. LES PROJETS D'URBANISATION A GUELMA

4.1. Le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (P.D.A.U) de la commune de Guelma (1997)

Ayant dépassé le seuil des 100.000 habitants (Figure3), Guelma devra faire face à un développement urbain soutenu et, de surcroît, dans un environnement contraignant (Périmètre d'irrigation, terres agricoles, domaine forestier, etc.). Elaboré en 1995 et approuvé par arrêté de Monsieur le Wali n°86/97 du 29/01/1997, le périmètre du PDAU couvre une superficie de 1960 Hectares (Ha), sur une surface totale de la commune de Guelma de 44000 Ha. Il est divisé en 10 secteurs urbanisables.

« La crise urbaine s'aggrave face à l'accroissement prévu de la population urbaine à l'horizon 2030...et le taux d'urbanisation de près de 80% ».

« La non gouvernance territoriale actuelle, reconnue comme enjeu majeur par le SNAT, est aussi un problème urbain... » [6]. Beaucoup de contraintes ont heurté l'application du PDAU, à savoir :

La nature juridique des terrains ; la non récupération des surfaces occupées par des usages (cité de recasement EL HAFSI, noyau ancien très vétuste, bidonville Oued EL MAIZ, terrain irratiionnellement utilisé). La figure 3 illustre la dualité urbaine ville coloniale-quartier OUED SKHOUNE. La lenteur dans l'élaboration des études d'urbanisme, et le non-respect des dispositions d'aménagement arrêtées par les différents POS. Les difficultés de concrétisation des programmes sectoriels (hydrauliques, travaux publics), de contournement de la ville de Guelma, de la voie ferrée et de la viabilisation des lotissements et cités périphériques). L'absence de coordination entre les différents acteurs concernés et les décisions courantes quant au changement des affectations du sol. La croissance inadéquate entre l'évolution démographique et le développement urbain durant la période écoulée par rapport au nouveau contexte (baisse de la fécondité, fixation de la population rurale, retour des conditions de sécurité, options en matière d'aménagement du territoire « désenclavement »), *Le chiffre de 137 220 habitants a été atteint en 2007 à l'échelle de la Commune³*



Figure 3 : Vue partielle de la ville de Guelma, Au fond de l'image le Boulevard de volontariat.
Les rives Est et Ouest de Oued SKHOUNE en dualité urbaine source : auteur 2012

4.2. Le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU) intercommunal (Guelma-Belkheir- Fedjoudj- Bendjerrah) ⁴

« Disposant de tous ces atouts, Guelma devra compléter et soutenir les deux métropoles de l'EST CONSTANTINE ET ANNABA dans la desserte et l'organisation de l'espace régional »⁵. La wilaya de Guelma connaît actuellement des développements socio-économiques très forts. C'est un pôle de croissance et d'attraction de premier rang.

L'objectif du PDAU intercommunal est :

La maîtrise de la croissance urbaine de Guelma et de ses satellites représentés par les localités urbaines des communes de: BELKHEIR, FEDJOUJ, BENDJERRAH.

La répartition équilibrée de la population et des activités économiques dans tout le territoire de l'aire urbaine. La proposition d'investissements qualitatifs (tertiaire supérieur) avec des infrastructures économiques et de services : bases industrielles, grandes entreprises, banques, assurances, pôle universitaire.

La croissance spatiale de Guelma et son éventuelle hypertrophie, nécessitent des mesures destinées à freiner la concentration de la population dans cette ville et à développer en contre- partie des agglomérations qui serviront d'appui, comme le montre la figure 4.

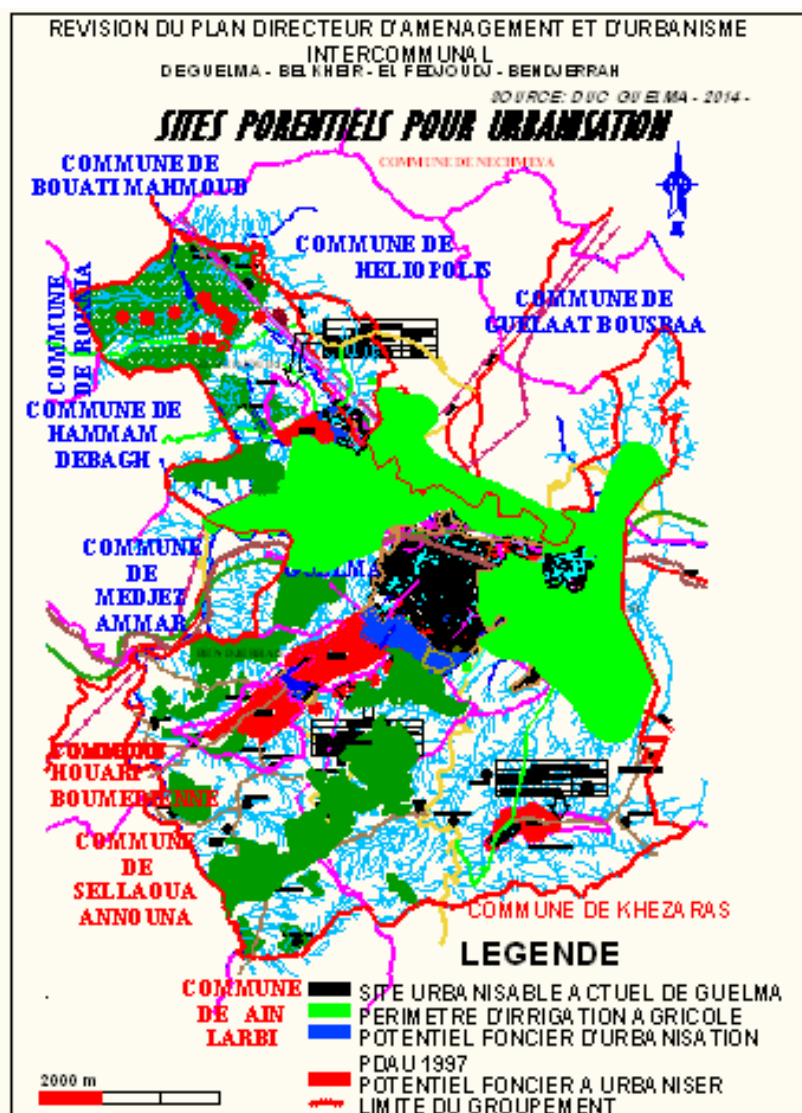


Figure 4 : PDAU intercommunal Guelma- Fedjoudj-Belkheir-Bendjerrah
Source : DUC de la Wilaya de Guelma

5. LE POS SUD : UN PROJET URBAIN

5.1. Approche du POS SUD et de son territoire

Le territoire Sud de la commune de Guelma longe les rives de SEYBOUSSE dans sa traversée Ouest-Est, et s'éloigne pour atteindre les pieds de Djebel HALOUF. Le haut potentiel agricole ceinturant le territoire de la commune Est- Nord- Ouest était un facteur principal dans le choix et l'orientation de l'extension urbaine vers la zone Sud. Le choix public, (PDAU 1996), a été de boucler l'extension de la ville vers le Sud, par la réalisation d'un grand POS, et éventuellement reporter la croissance urbaine vers d'autres alternatives (PDAU intercommunal: GUELMA- BENDJERRAH-FJOU DJ-BELKHEIR).

5.2. Le POS SUD et son environnement

Cet instrument d'urbanisme, de réglementation de l'usage des sols, peut être un outil permettant d'envisager des scénarii d'un projet urbain qui a comme objectifs :

L'intégration de la périphérie Sud à la ville (voir figure 5). L'idée de faire de ce POS une centralité de niveau 1 pour soulager le centre- ville colonial de la pression exercée par cette périphérie en matière d'activité et de mobilité, les éléments forts de cette centralité étant l'université en extension, le parc d'attraction projeté et les lotissements individuels.

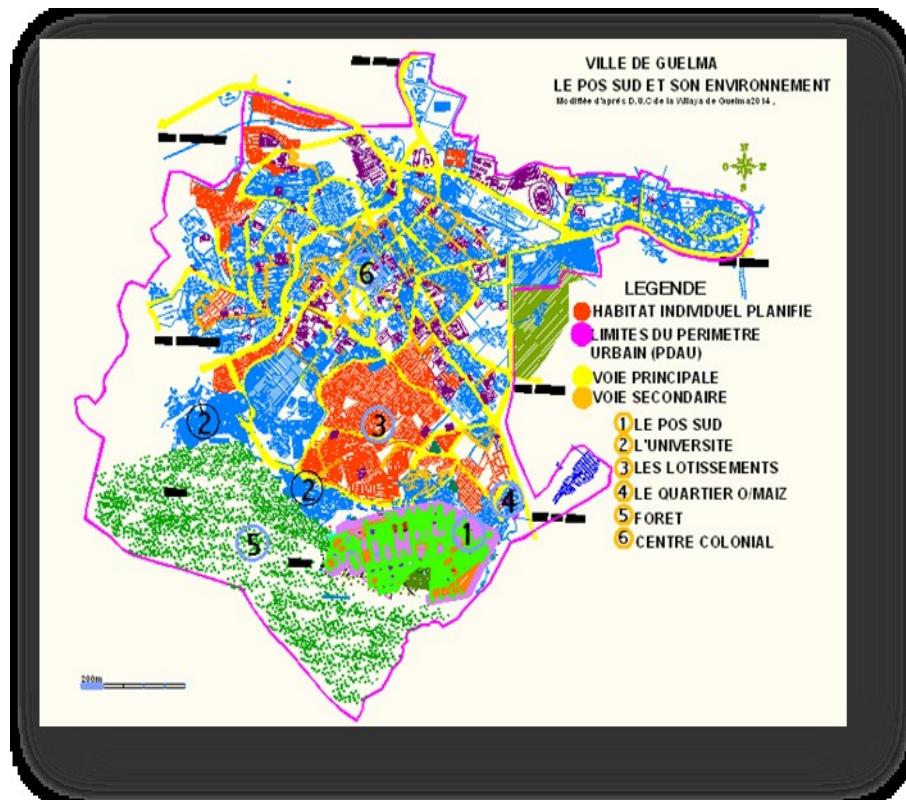


Figure 5 : l'environnement du POS Sud, source D.U.C de Guelma

La proposition d'aménagement du POS Sud, illustré dans la figure 6, s'articule autour d'un espace de centralité, conçu en forme rectangulaire comme réplique de ce qui existe dans le noyau original de la ville, et en situation de dominance, sur tous les quartiers Sud, par son contenu urbain (esplanade, jardins, espaces culturels).

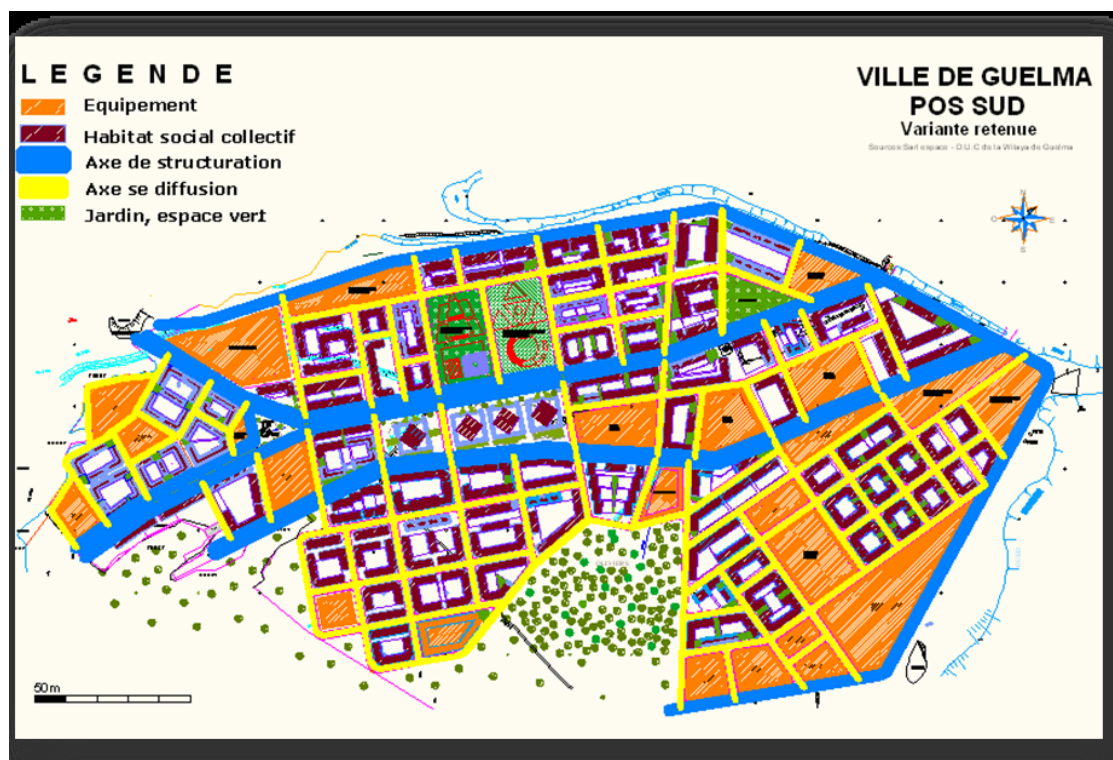


Figure 6 : la variante d'aménagement retenue, source DUC de Guelma

Pour soulager la ville de cet état de fait, ce plan d'occupation des sols Sud, de par sa superficie et son importance, essaye d'apporter des solutions pour améliorer les conditions de vie des populations de toute la ville de Guelma, le tableau 1 récapitule le programme proposé à la réalisation. Ceci est prévu par l'introduction d'équipements structurants et d'importance :

Une grande placette d'une superficie de plus de 50.000 m²,
 Un centre culturel (le plus grand dans la ville) de 6580 m²,
 Une mosquée (La plus grandes de ville de Guelma) de 5200 m²,
 Des équipements structurants, sociaux et de proximité.

Tableau 1 : Le programme du POS SUD, source Direction de l'Urbanisme et de la Construction de la Wilaya de Guelma

Désignation	Assiette foncière m ²	Nombre	Emprise au sol	C.E.S	Surface plancher	C.O.S	Niveaux
Logement Collectif	314832	3886	86120	0.25	483690	1.54	R+4, R+13
Logement Individuel	406326	1149	273690	0.67	821070	2.03	R+2
Equipements	110146	29					R, R+1
Total	672027	5064	359810	0.5	1304760	1.81	R, R+13
Esplanade	49950	4.27					

5.3. LE POS SUD, un projet urbain et des éléments influents

« La notion projet urbain a une portée globale...Il s'inscrit dans une finalité plus large, économique, sociale, culturelle et dans un concours de compétences » [7].

Les enjeux du projet urbain sont d'ordre social, économique et urbain. Comme démarche le projet urbain, tout en cherchant à arriver à un consensus, élargie la sphère des acteurs afin de pouvoir gérer les temporalités.

« On peut considérer qu'il y a projet urbain chaque fois que l'urbanisation ne résulte pas d'un phénomène spontané, lié à des conventions implicites..., mais d'un projet affirmé, d'un dessein et d'un dessin, dont les intentions précèdent la mise en œuvre » [8].

5.3.1. Modification du projet initial

Le projet urbain est un projet global, il a pour principales caractéristiques :

La durabilité et la faisabilité, la concertation avec les habitants et les acteurs est une action non négligeable et primordiale. Pour se réaliser et perdurer, il doit améliorer la situation des habitants et du territoire.

Il passe par une étape particulière : le montage du projet. *Un pilotage global est nécessaire car il est mené par de nombreux acteurs, et nécessite un apprentissage collectif.* » [9]. Afin d'adhérer la volonté politique, exprimée par les hautes autorités, des actions pratiques satisfaisantes, pour la réalisation de programmes urgents en matière de logements et d'équipements sociaux, ce POS doit permettre une action aisée d'accession au foncier, suivi du lancement de la procédure administrative relative au permis de construire.

Les autorités de la wilaya de Guelma doivent veiller à la réalisation de ce projet urbain, qui s'inscrit au sein d'un programme de réalisation de plus d'un million de logement.

*La priorité est désormais accordée au logement social en faveur des couches sociales dites moyennes.*⁶.

*La seule condition est la disponibilité à la fois d'une assiette foncière urbanisable et d'acquéreurs solvables.*⁷ Nous pouvons suivre la genèse de ce projet urbain selon les actions coordonnées suivantes :

*Réalisation, en étude modifiée, du POS de réglementation des usages des sols, sous la direction de l'Assemblée Populaire Communale de Guelma et la direction de l'urbanisme de la Wilaya de Guelma,*⁸ la modification a porté sur :

La suppression du logement individuel au profit du collectif ; la translation et la diminution de la superficie de la placette ; la suppression des tours en C+13, et la réalisation de logements collectifs en R+5.

Faute de moyens financiers, la viabilisation des terrains est placée sous la responsabilité des services de la DUC (sous tutelle Ministère de l'habitat).

La désignation des promoteurs réalisateurs du programme de logements sociaux.

5.3.2. Pilotage du projet

Les autorités wilayaes ont désignés la direction de l'urbanisme et de la construction pour assumer désormais le pilotage de projet, prioritaire et d'envergure communale. Cette direction doit coordonner les différentes actions liées à la réalisation de ce grand projet à savoir :

La programmation de réunions périodiques avec les acteurs sous le patronage des autorités de la Wilaya, La coordination des actions entre acteurs, La préparation des dossiers d'acquisition de terrains auprès de la direction des domaines de la Wilaya de Guelma, La préparation de la liste des promoteurs immobiliers pour la réalisation du programme de logements sociaux participatifs (participation financière à l'acquisition d'un logement en copropriété), La coordination avec le Ministère de l'habitat pour ce qui est de l'octroi de l'aide financière aux futurs acquéreurs, La préparation et suivi des dossiers de certificat d'urbanisme et permis de construire, La coordination avec les services de l'Assemblée Populaire Communale pour la réalisation des VRD, Le suivi de la réalisation des projets par les promoteurs immobiliers.

5.3.3. Élément concertation (temps et conditions)

Des réunions périodes ont été lancées pour la sensibilisation des promoteurs, des acteurs publics et des collectivités locales (directions de Wilaya concernées : Hydraulique, Travaux publics, Domaines, SONEGAS, CNEP, OPGI, DAIRA, APC, AP, etc.).

Ce programme très motivant a créé une grande ruée sur la ville de Guelma. Malgré son gigantisme, par rapport à la taille de la ville, ce n'est qu'au bout de quelques mois (de l'année 2006), qu'il est devenu insuffisant, le nombre de demandeurs ayant dépassé de loin les prévisions. La vulgarisation d'une politique volontariste de satisfaction à une demande sociale pressante (le logement) a orienté ces réunions périodiques, présidées par les autorités publiques, vers les motivations des promoteurs investisseurs chargés de la réalisation de ce programme. Cette forme de concertation, concernait les acteurs chargés de l'exécution et le suivi de la réalisation de ce projet urbain de la ville de Guelma, le plus grand à ce jour. Cette expérience revêt un caractère spécifique, dans la mesure où elle représente une première vers la diversification des logements et l'encouragement de la promotion immobilière. C'est progressivement que des textes et des structures de pilotage d'opérations pareilles ont été créés⁹.

5.3.4. Élément participation

5.3.4.1. Gouvernance et participation démocratique

La gouvernance urbaine se définit aujourd'hui« comme un système de dispositifs et de modes d'action qui associe aux institutions des représentants de la société civile, pour élaborer et mettre en œuvre les politiques et les décisions publiques. » [10]. Représenté par la ville et son territoire, l'espace local est reconnu par les instances internationales et onusiennes¹⁰ comme un échelon dans la gestion de la vie locale par les habitants eux-mêmes.

Pour ce qui est de la spécificité algérienne, la question liée à la gouvernance se heurte visiblement à deux facteurs déterminants :

L'Etat est le décideur d'acte «vertical»¹¹, les collectivités locales (APC, APW) comme représentants de la société ne font que suivre par la validation de listes de bénéficiaires, certificat d'urbanisme et vulgariser l'information au sein de la ville ou de la commune.

Le propriétaire de l'assiette foncière, acteur économique et législateur (instruments d'urbanisme), la participation citoyenne est d'ordre financier, car le futur copropriétaire n'est le décideur ni de la forme, ni de la typologie de son habitation ou son quartier futur.

La participation, dans le contexte politique et socio-économique algérien, va prendre plusieurs formes, l'objectif étant de répondre à des besoins urgents, sous forme d'opération de réalisation de logements et d'équipements publics (actions prises d'en haut) d'une part, et par les futurs copropriétaires sous forme d'opportunité à ne pas rater pour avoir enfin un accès à un logement en copropriété. Nous allons vérifier cette participation dans la temporalité du projet, puisqu'elle s'est limitée en une forme financière impliquant directement les futurs copropriétaires vers un engagement de responsabilité civile (gestion de leur cité future).

5.3.4.2. La participation financière

Les listes de postulants (futurs acquéreurs de logements sociaux) ont été préparées par les promoteurs, approuvées par les collectivités locales et autorités publiques (DAIRA), puis transmises avec dossier auprès de la caisse nationale du logement (CNL). La validation des dossiers a pris beaucoup de temps (1 à 2 années dans le meilleur des cas). *Cependant, et au vu de la nouveauté de l'opération et de son urgence, les promoteurs immobiliers ont pris le soin de demander les premières tranches financières auprès des futurs acquéreurs*¹².

*Les textes relatifs à la promotion immobilière prévoient des obligations de garantie pour la vente des biens immobiliers (vente sur plan) auprès du fonds de garantie et de caution mutuelle de l'activité de promotion immobilière*¹³.

5.3.4.3. Le coût du logement

Le coût du logement, typifié en surface (F3 de 60 m² habitables), a été arrêté à 2 million de dinars Algériens y compris sa viabilisation tertiaire, les voies et réseaux divers (secondaire et primaire) étant à la charge de l'Etat (suivi de l'opération confié à la Direction de l'urbanisme et de la construction de la Wilaya de Guelma).

La participation de l'Etat a été arrêtée comme suit :

Le montant de l'aide est fixé à 500.000 DA, y compris la viabilisation tertiaire.

L'assiette foncière est cédée aux promoteurs avec un abattement de 80% du prix fixé.

L'opération est exonérée de l'imposition sur revenu, la TVA est fixée à 7%.

Ce coût représente, pour les futurs acquéreurs, une opportunité à saisir, dans la mesure où il est abordable et à la portée de tous financièrement. *« La satisfaction est visible, puisque peu importe le délai d'attente, le paiement est fixé par tranche, en fonction de l'avancement des travaux, la finalité c'est de posséder un logement et en finir avec ce problème crucial, le reste vient avec le temps et ce n'est pas primordial. »*¹⁴

5.3.4.4. Rôle des professionnels de l'espace

Comme consultants, les professionnels de l'espace doivent gérer les contradictions de l'acte de bâtir, afin de répondre aux besoins de l'actualité. Il n'y a pas de chefs d'œuvre à réaliser, mais des « boîtes d'allumettes » à rendre fonctionnelles. Les arranger les unes à côté des autres, veiller à ce que les locaux commerciaux ne soient pas empiétés par les habitants de logements, afin de permettre une vente aisée, et concevoir un logement social au moindre coût pour faciliter sa réalisation : tels sont les buts visés.

En fin de compte, il y a le futur acquéreur, qui cherche aussi un produit de qualité, produit qu'il va pouvoir posséder et habiter. Il sera contraint toutefois d'accepter le choix, moyennant des modifications et une personnalisation de son choix dans le temps.

6. LE PLAN D'OCCUPATION DES SOLS SUD EN REALISATION

6.1. Présentation du projet en réalisation

Le chantier ouvert, les autorités publiques entament une série de consultations pour la réalisation de l'infrastructure de ce grand projet (plus de 130 hectares). De leur côté, les promoteurs ont saisi cette opportunité pour proposer, concevoir et réaliser les RDC des bâtiments collectifs en locaux de commerces, une plus-value à leur action, comme le montre la figure 7.

6.2. Construire avec le temps, le projet urbain face à la temporalité

« Le secteur de l'habitat s'est attelé tout au long des dix dernières années à agir en vue de diversifier l'offre de logement. En plus du soutien accordé au logement social et rural, l'aide de l'Etat a été élargie à d'autres populations disposant de revenus intermédiaires qui peuvent désormais accéder au logement selon diverses formules telles que le logement social participatif (LSP) et la location-vente » [11].

Les autorités de la Wilaya, programmaient des réunions périodiques de coordination regroupant tous les acteurs, des échéances ayant été arrêtées. La ruée des promoteurs vers ce type d'opération s'explique par l'opportunité de réaliser le maximum de locaux commerciaux au RDC des bâtiments, ce qui a modifié certaines dispositions de l'étude initiale. Néanmoins, le projet urbain doit gérer ces incertitudes liées à la temporalité et aux aléas économiques et politiques.

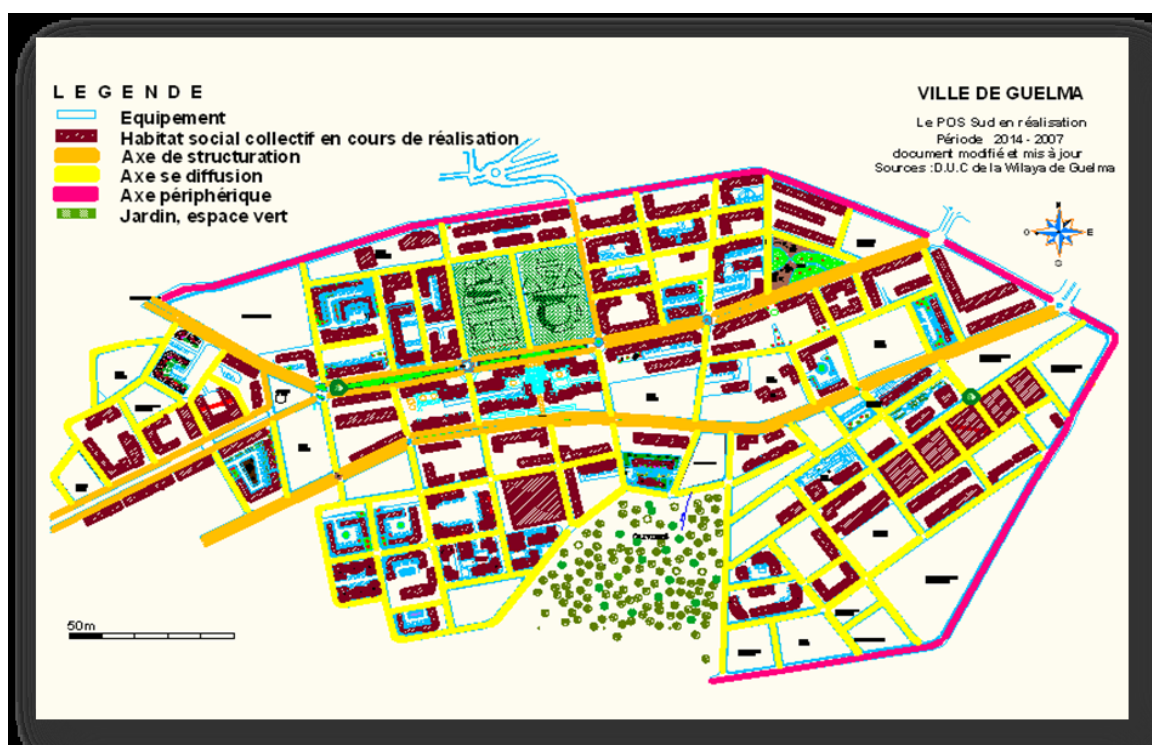


Figure 7 : le POS Sud en réalisation, source D.U.C Guelma

« Il semble que si l'on veut espérer améliorer quelques dysfonctionnements coûteux, financièrement et socialement, on pourrait essayer de coordonner deux ou trois des logiques concurrentes et contradictoires » [12].

Quant au temps des projets et des chantiers, c'est la réalisation, en lenteur, des bâtiments typifiés en R+5, avec des locaux en RDC. Chaque îlot est divisé entre deux ou trois promoteurs, et chaque promoteur doit installer son chantier dans un terrain inaccessible. On commence à réaliser le bâtiment avant le tracé des routes et voies !

L'important est de démarrer les travaux et de gagner un peu de temps, le reste viendra par la suite, l'intervention des banques, pour assurer le financement de ces projets, n'a pas eu lieu au moment opportun, ce qui a contribué au prolongement des délais de réalisation. Les projets sont, aujourd'hui, réalisés partiellement, comme le montre la figure 8. On se trouve à la huitième année (démarrage des travaux en 2007), la majorité des cités réalisées ne sont pas encore habitées. Elles font l'objet de travaux modificatifs d'intérieur, les acquéreurs aménageant à leur manière leurs logements. Il y a aussi les difficultés de réception de projet et de remise de clés (faiblesse des moyens financiers des acquéreurs et non tenue d'engagement de paiement).

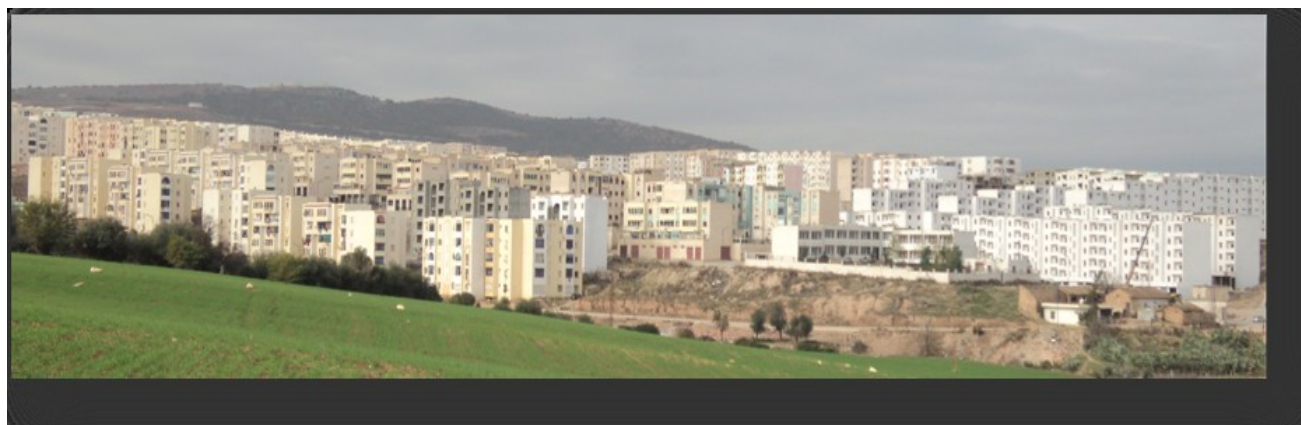


Figure 8 : le POS Sud en réalisation, Source l'auteur, 2015

6.3. Les acteurs de la conception et gestion urbaine face à de nouvelles conditions:

Ce projet urbain nous montre les deux grandes lignes suivies, au sein desquelles toute l'action urbaine s'est effectuée :

Instruments d'urbanisme à la disposition des autorités publiques pour orienter et programmer les projets à réaliser (en quantité et en typologie). Face à la programmation urgente des décideurs, le professionnel de l'espace n'est autre que le technicien qui dessine et arrange l'espace selon des données et des méthodes classiques (croissance démographique, emplois et activités, logements, équipements de proximité) pour répondre aux besoins d'un programme politique. L'accession à la copropriété d'un logement de type social impliquant des suites juridiques liées à la responsabilité dans la gestion de l'espace, participation financière pour l'acquisition et participation financière et effective dans la gestion de la cité¹⁵.

De ce fait naissent de nouvelles conditions qui vont, dorénavant, orienter la production urbaine à travers des projets urbains comme réponse aux besoins urgents d'une société en matière de logement social surtout.

L'autorité publique, à travers cette expérience, tente aujourd'hui de maîtriser la gestion de son choix par :

La création de structures de pilotage de projets d'investissement (CALPIREF) au niveau de la Wilaya. La variation des types de logements à réaliser ; création de L'AADL, promotion immobilière, le logement social locatif, l'aide à la réalisation de l'habitat rural pour stabiliser la population et encourager la production agricole. L'implication de la société dans la gestion de ses cités, un arsenal de textes et lois liées à cette gestion existent déjà, leur application sur le terrain se fera selon les circonstances. La recherche d'une formule adaptée à une forme de démocratie participative¹⁶ afin d'impliquer les collectivités locales à élargir le champ de l'information auprès des populations pour ce qui est des décisions à prendre, délibérations et concertation avec les associations. « Pour les nouvelles opérations de promotion immobilière, instituer l'obligation au promoteur de mise en place de l'assemblée générale des copropriétaires et de l'administrateur des biens par la remise des procès-verbaux au niveau de l'étude notariale chargée de la formalisation de la prise de possession des biens ». ¹⁷ La conception urbaine doit s'adapter à ces nouvelles conditions, les ajustements réglementaires et structures de suivi de programmes politiques devant suivre.

6.4. Modes d'appropriation de l'espace, permanences et mutations

« Le plan s'abîme souvent dans la réalité » [13].

La complexité, avec laquelle l'appropriation de l'espace s'effectue, est due en majeure partie à la structuration familiale algérienne et aux modes de vie et traditions ancestrales et religieuses. On s'attachera donc à vérifier le projet en cours de réalisation, les ajustements faits en rapport avec la conception initiale, les résultats qui s'obtiennent sur le terrain, les personnes questionnées en rapport avec le logement en cours de réalisation ou réalisé.

6.5. Les transformations

Installation de citerne et bache à eau dans les loggias. Transformation des installations sanitaires (table de travail et évier de cuisine, revêtements muraux, etc.). Fermeture des loggias par un vitrage et des barreaux métalliques (raison de sécurité et intimité). Réalisation de deux portes (l'une en bois et l'autre en métal (sécurité)). Réalisation de la dalle de sol (pour certains). Peinture et travaux de décoration d'intérieur (selon les goûts de chacun), et la figure 9 illustre des modifications à l'intérieur des logements. Fermeture de loggias. Et barreaux métalliques pour les fenêtres. Certains bâtiments offrent déjà des services et des activités commerciales (alimentation, cafétéria, coiffure, pharmacie, taxiphones, pizzerias, vente de quincailleries...), l'occupation des logements se fait actuellement en partie. Les îlots réalisés ne sont pas complètement occupés, les copropriétaires sont occupés par les réaménagements à l'intérieur de leur logement, enfin, les espaces verts, parkings et accès aux blocs ne sont pas encore aménagés ou occupés.

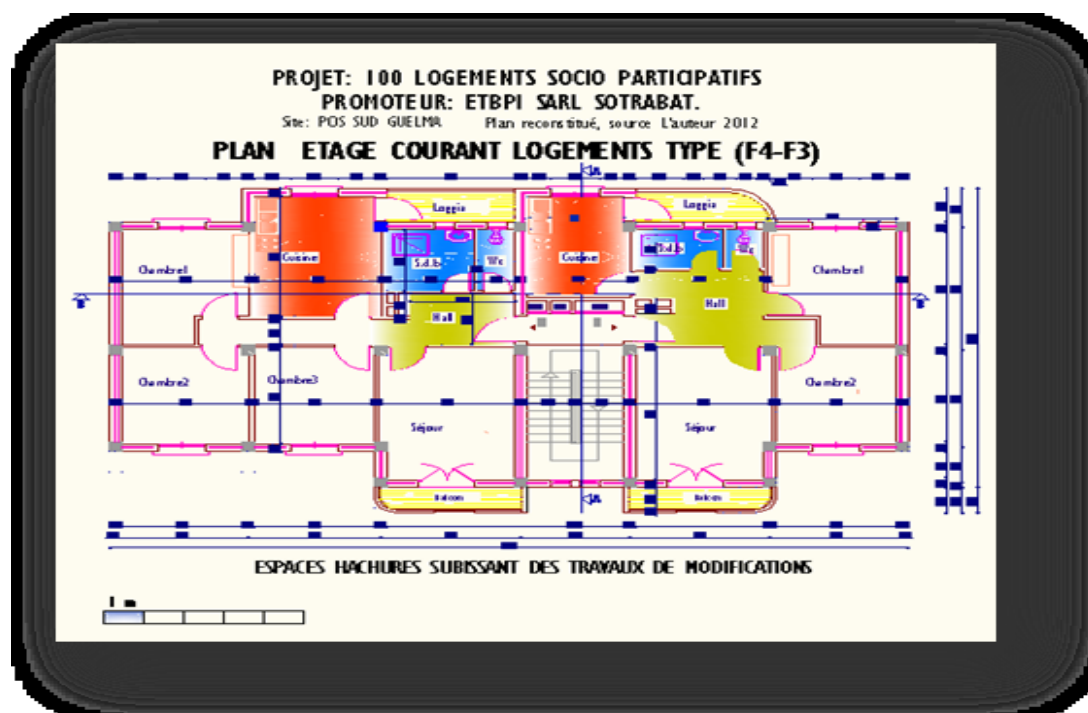


Figure 9 : Source l'auteur, 2015

7. RESULTATS DE L'ENQUETE AUPRES DES FUTURS ACQUEREURS

Le thème de notre enquête se rapporte à une catégorie d'acteurs participants à la fabrication de cette partie de ville, et qui sont les futurs acquéreurs des logements en copropriété. La participation financière des habitants et usagers, pour la possession d'un logement en copropriété génère des responsabilités dans la gestion du produit. Cette forme de participation représente un élément central autour duquel gravite un ensemble de dimensions telle que : la gouvernance urbaine, l'appropriation de l'espace et l'image future de la cité. Les avis de cette catégorie d'acteur est de mise, car elle nous apporte des réponses liées aux adaptations de ce projet urbain en réalisation, et aux nouvelles conditions de gestion de cet espace ainsi conçu.

Notre présence permanente au niveau des chantiers, avec les promoteurs immobiliers et les futurs acquéreurs, nous a facilité le contact direct avec ces acteurs. Ceci nous a permis d'effectuer l'enquête sociologique auprès des futurs acquéreurs des projets suivants :

- 100 logements sociaux participatifs, POS Sud –Guelma.
- 150 logements sociaux participatifs, POS Sud –Guelma.
- 170 logements sociaux participatifs, POS Sud –Guelma.
- 40 logements sociaux participatifs, POS Sud –Guelma.

Pour mener l'enquête nous avons adopté la méthode de l'échelle de LIKERT. Cette échelle est graduée des appréciations «tout à fait» à «pas du tout». Elle comporte un nombre de degrés, et permet de mesurer des représentations positives ou négatives. Les personnes questionnées doivent indiquer leur niveau d'accord ou de désaccord sur une échelle allant de : « tout à fait d'accord » : 4 points - « plutôt d'accord » : 3 points - « plutôt pas d'accord » : 2 points - « pas du tout d'accord » : 1 point - « sans opinions » : 0 point.

Le calcul de la moyenne se fera par le produit du pourcentage des sondés par le nombre de points y afférant. La sommation de toutes ces moyennes nous donne la note moyenne de l'indicateur. La moyenne ainsi obtenue est forte quand elle est supérieure à la moyenne de l'échelle $[(4+3+2+1+0)/5=2]$, et elle est faible lorsque la note est inférieure à cette moyenne. Notre hypothèse étant de prouver la flexibilité de la démarche du projet urbain face à l'influence de la participation financière des futurs acquéreurs de logement social et de la concertation. Ceci nous permet de vérifier la flexibilité du projet urbain dans le temps et dans l'espace. En conséquence, la recherche sera centrée sur les mesures des indicateurs qui décrivent et définissent ces concepts. Les mesures concerneront les

indicateurs relatifs au projet urbain, tels que la participation financière, la gouvernance, les modes d'appropriation de l'espace, l'image future de la nouvelle cité

- Les pourcentages mentionnés dans le tableau n°2 représentent le rapport des sondés par rapport à l'échantillon (140), et ayant exprimé la même opinion par rapport aux différentes questions (indicateurs) qui définissent la dimension à mesurer.

- La note moyenne M est obtenue par la sommation des quatre résultats résultant du produit du pourcentage et de la note y afférente :

$$M = (\% \times 1\text{pt.}) + (\% \times 2\text{pts.}) + (\% \times 3\text{pts.}) + (\% \times 4\text{pts.})$$

Plus la valeur M est élevée, plus nous pensons que la dimension est vérifiée. Par contre, une moyenne faible indique une dimension du concept qui ne se vérifie pas.

Tableau n° 2 : Récapitulatif des résultats du questionnaire

	Pas d'opinions Pas d'opinions (00) pt	Pas du tout d'accord (01) pt	Plutôt pas d'accord (02) pts	Plutôt d'accord (03) pts	tout à fait d'accord (04) pts	NOTE MOYENNE M=
1. Dimension : La participation financière pour l'acquisition d'un logement en copropriété						
POINTS	0,00	0,12	0,34	0,81	1,64	2,91
%	0,03	0,12	0,17	0,27	0,41	1,00
2. Dimension : gouvernance, motivations et légitimité des acteurs						
POINTS	0,00	0,14	0,28	0,48	2,20	3,10
%	0,01	0,14	0,14	0,16	0,55	1,00
3. Dimension : modes d'appropriation de l'espace, commun/privé						
POINTS	0,00	0,29	0,64	0,51	0,76	2,20
%	0,03	0,29	0,32	0,17	0,19	1,00
4. Dimension : activités						
POINTS	0,00	0,21	0,60	0,36	1,44	2,61
%	0,01	0,21	0,30	0,12	0,36	1,00
5. Dimension: le projet urbain en réalisation, l'image future						
POINTS	0,00	0,18	0,69	0,90	1,20	2,97
%	0,01	0,18	0,23	0,30	0,30	1,00

7. 1. Résultats obtenus :

Aux questions choisies pour vérifier les avis des futurs acquéreurs de logement en copropriété, le résultat est au dessus de la moyenne (M = 2,91). Cette forme de participation intéresse ces acteurs, dans la mesure où ce choix forme une alternative à leur situation sociale actuelle. Ils espèrent améliorer leurs conditions de vie par ce type de logement. Avec une moyenne de M = 3.10, ces futurs acquéreurs montrent une réelle motivation à assumer une gestion de cet espace, objet du projet urbain en réalisation.

Les résultats relatifs à la dimension «modes d'appropriation de l'espace » nous renseignent sur le degré de culture de citoyenneté. Or la citation des parties communes, dans une construction collective en copropriété, suscite des interrogations quant aux réponses formulées par ces futurs acquéreurs. En ce qui concerne les activités, le questionnaire a fait ressortir des choix semblables quant au nombre important de locaux de commerce réalisés au rez de chaussée de leurs bâtiments. Ils préfèrent plutôt les faire réduire en nombre et voir des activités de proximité avec moins de nuisances et plus de nécessité. Les résultats nous apportent des réponses de satisfaction relative, vis-à-vis de la lenteur dans l'exécution du projet, et de l'exécution non achevée des travaux d'aménagement extérieur. Quant à l'image de leur cité, ils espèrent une prise en charge effective de la part des autorités publiques en vue de l'implantation d'équipements de proximité, afin de leur éviter les déplacements vers le centre de ville. Ils sont intéressés aussi par des modifications de l'intérieur de leur logements (installations, peinture, menuiserie, revêtement, modification de cloisons, etc.)

Les résultats de cette enquête ouvrent des parenthèses pour nous une des temporalités de ce projet, liées à la participation financière des habitants et usagers. Le projet se réalise par des négociations et

des et adaptations pour prendre en considération l'influence de cette catégorie d'acteurs dans le déroulement des faits. Ils seront, à l'occupation des logements, de futurs responsables de la cité, et ils vont participer à toutes les actions concernant leur espace de vie.

8. CONCLUSION

Le projet urbain est un projet bénéfique pour la société, et la gouvernance comme action politique doit veiller à le guider dans le plus fructueux, pour le bien être de tous. Le projet urbain comme démarche est d'une flexibilité remarquable qui peut se vérifier à travers cette expérience

A travers cette étude, nous avons démontré l'influence de cette forme de participation dans le déroulement des actions, liées à ce projet urbain, car elle a suscité des intérêts contradictoires et des contentieux. Ceci n'a cependant pas freiné ou occulté la réalisation de ce projet ajusté et adapté.

Nous pouvons aussi, à travers cette étude, ouvrir des brèches liées à la gestion de la cité ainsi conçue. C'est une problématique d'actualité Algérienne. L'administration de nos citées est renforcée par un arsenal de lois et de textes permettant aux acquéreurs en copropriété de participer à la gestion de leur cité. Défendre les intérêts et l'image qu'ils souhaitent pour leur cité est un devoir pour eux, la réglementation leur permet aujourd'hui de s'organiser en association, et être, enfin, partie prenante dans les décisions et les actions.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-
- [1] Chalas Y., 2000. L'invention de la ville. Ed. Economica. 155P.
 - [2] Cote M., 1993. L'Algérie, ou l'espace retourné. Ed. Média plus. 342P.
 - [3] Hafiane A., 1989. Les défis à l'urbanisme. Ed. OPU. 279P.
 - [4] Boumaza N., 2006. La ville autrement vue. Le Quotidien d'Oran. 9.
 - [5] Benjelid A., 1986. Planification et organisation de l'espace en Algérie. Ed. OPU. 134P.
 - [6] Berezowska azzag E., 2011. Projet urbain, connaître le contexte du développement durable. Ed. SYNERGIE. 242P
 - [7] Angallina P., 2001. Le projet urbain. Ed. P.U. de France. 127P.
 - [8] Bachofen N., 1994. Eléments pour comprendre le projet urbain. Ed. Villes et territoires. 45P
 - [9] Sidi Boumedienne R., Guerroudj T., 2013. Echech des instruments ou instruments de l'échech? Ed. Les alternatives urbaines., France, 228P
 - [10] Ascher F., 2001. Les nouveaux principes de l'urbanisme. Ed. L'aube 103P
 - [11] Ministère de l'habitat et de l'urbanisme. Des raisons de l'espoir. In : La revue de l'habitat. Ministère de l'habitat et l'urbanisme. N°3. 3.
 - [12] Mangain D., Panerai P., 1999. Projet urbain. Ed. Parenthèse, France, 185P.
 - [13] Toussaint J.Y., 1998. Distance et décalage entre la ville planifiée et la ville réalisée. In : Revue INSANIYAT. N°5, 7.

¹ Qui s'étend sur 44.000ha, entre les berges Oued Seybouse qui la borde au Nord et la chaîne de montagne LA MAHOUNA au Sud.

² L'office de promotion et de gestion immobilière de Guelma a réalisé, durant la période 1977-2012, plus de 12000 logements sociaux.

³ La direction de la planification et de l'aménagement du territoire de la Wilaya de Guelma

⁴ Direction de l'Urbanisme et de la Construction de la Wilaya de Guelma : document en cours d'élaboration, études confiée au bureau d'études URBACO – Constantine -

⁵ Plan d'aménagement de la wilaya de Guelma (PAW), source Direction de l'Urbanisme et de la Construction de la Wilaya de Guelma

⁶ Ne pouvant accéder au logement social locatif, ni au logement promotionnel ni à la construction individuelle.

⁷ Instruction ministérielle N°83 du 28 Avril 2002 relative aux conditions de l'octroi de l'aide de l'état.

⁸ La loi 29/90 du 29/12/1990 stipule que le POS est approuvé par l'Assemblée Populaire Communale concernée.

⁹ A partir de l'année 2011 un comité de Wilaya (délégation au nom du Wali) a été créé, pour être chargé du pilotage d'opérations d'investissement.

¹⁰ L'importance des pouvoirs locaux et leurs rôles dans les sociétés urbaines ont été reconnus en 1992 à Rio lors de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement Durable (CNUED), appelée "sommet de la Terre" (voir Charte de la Terre et Agenda 21 ou Action 21), comme en 1996 à Istanbul à l'occasion de la conférence onusienne sur les établissements humains, appelée "Sommet des villes, Habitat II".

¹¹ (Programme d'urgence à réaliser dans un délai arrêté, afin de répondre à un problème social et politique qui perdure depuis l'indépendance appelé crise de logement).

¹² J'apporte mon témoignage personnel pour cet acte, nécessaire aux dires des promoteurs, pour l'engagement réel de la réalisation des projets (j'ai assumé la mission de maîtrise d'œuvre auprès de promoteurs privés comme architecte agréée).

¹³ Loi 2011-04 du 17/02/2011 fixant les règles régissant l'activité de promotion immobilière.

¹⁴ Ce constat est un vécu pour moi, il y a même un surplus de demandeurs qui cherchaient à avoir cette possibilité d'acquisition d'un logement selon cette formule. Auprès des promoteurs avec lesquels j'ai assumé une maîtrise d'œuvre dans ce site

¹⁵ Une série de lois et décrets existe déjà, concernant l'administration des biens immobiliers, Les comités de cité, La promotion immobilière.

¹⁶ Déclaration du gouvernement en date de juillet 2014

¹⁷ « La gestion immobilière pour l'amélioration du cadre de vie », séminaire international sur la gestion immobilière, Alger le 10 et 11 juin 2008, ministère de l'habitat et de l'urbanisme, p624.

Impact de la pollution agricole sur la qualité des eaux souterraines dans le périmètre irrigué Guelma-Boucheouf (Nord Est Algérien)

Impact of agricultural pollution on the quality of groundwater in the Guelma-Boucheouf irrigated area (Northeastern Algeria)

Mounira Touati^{*1}, Moussa Benhamza¹ & Fatma Bouhafis²

¹Département de Géologie, Université Badji Mokhtar Annaba,
Laboratoire de Géodynamique et Ressources Naturelles (LGRN) BP12. 23000 - Annaba, Algérie

²Laboratoire des Recherches Géologiques (LRG), Université Badji Mokhtar Annaba
BP12. 23000 - Annaba, Algérie

Soumis le : 14/01/2018

Révisé le : 22 /05/2018

Accepté le : 04 /06/2018

الملخص:

يهدف تقييم نوعية المياه الجوفية على مستوى المحيط المسقي قالمه-بوشقوف تم إجراء تحاليل فيزيوكيميائية وعضوية خلال شهر نوفمبر 2017، وذلك باقتطاع عينات من 14 بئر. من خلال نتائج التحاليل الكيميائية تبين أن مياه هذه المنطقة ذات طبيعة كيميائية : كبريتات كلوريد الكالسيوم و كبريتات كلوريد الصوديوم. النوعية المعدنية للمياه الجوفية على مستوى منطقة الدراسة بينت أن نسبة Ca^{2+} و Cl^{-} و SO_4^{2-} مرتفعة بينما نسبة Na^{+} و Mg^{2+} في هذه المياه كانت متوسطة مما جعلها تحتوي على نسبة عالية من المعادن وهذا ما أكدته النتائج المرتفعة للناقلية. نتائج NH_4^{+} و NO_3^{-} بينت أن نسبة التلوث بهذه المواد مرتفعة على مستوى كامل المنطقة التي تمت فيها الدراسة. نسبة الفوسفات بينت نسبة تلوث عالية، حيث كانت نتائج التحاليل مرتفعة جدا وتجاوزت المعايير المسموح بها.

الكلمات المفتاحية: المعايير - التلوث - المحيط المسقي - المياه الجوفية - التحاليل الفيزيوكيميائية

Résumé:

Dans le but d'évaluer la qualité des eaux souterraines dans la zone du périmètre irrigué Guelma-Boucheouf, des analyses physico-chimiques et organiques ont été réalisées durant la période des basses eaux en Novembre 2017, au niveau de quatorze puits dans la zone d'étude.

L'interprétation des résultats des analyses chimiques a révélé que les eaux de la zone d'étude appartiennent à deux faciès chimiques dominants le sulfaté-chloruré-calcique et le Sulfaté-chloruré-sodique.

La qualité minérale des eaux souterraines de la région d'étude montre que le Ca^{2+} , les Cl^{-} et les SO_4^{2-} présentent une pollution notable à importante, le Na^{+} et le Mg^{2+} présentent une pollution modérée à notable, représentant une minéralisation des eaux importante, en étroite corrélation avec les conductivités électriques très élevées. Les NO_3^{-} et le NH_4^{+} présentent une pollution notable à importante dans les eaux souterraines de la zone d'étude. Les phosphates représentent une pollution importante, avec des valeurs excessives dépassant de loin la norme admissible.

Mots clés : Périmètre irrigué -Eaux souterraines - Paramètres physico-chimiques -Normes -Pollution.

Abstract:

In order to assess the quality of groundwater in the Guelma-Boucheouf irrigated area, physico-chemical and organic analyzes were carried out during the low water period in November 2017 in, at fourteen wells, in the area study.

The interpretation of the results of the chemical analyzes revealed that, the waters of the study area belong to two dominant chemical facies: sulphated-chlorinated-calcium and Sulfated-chlorinated-sodium.

The mineral quality of the groundwater in the study area shows that Ca^{2+} , Cl^{-} and SO_4^{2-} indicate notable to significant pollution, Na^{+} and Mg^{2+} indicate moderate to notable pollution, thus representing a significant mineralization of the water, closely correlated with very high electric conductivities.

NO_3^{-} and NH_4^{+} show notable to significant pollution in the groundwater of the study area.

Phosphates represent a significant pollution, with excessive values far exceeding the allowable standard.

Keywords: irrigated perimeter - Groundwater - Physico-chemical parameters - Standards - Pollution.

* Auteur Correspondant: touati.mounira24@gmail.com

3. MATERIEL ET METHODES

Afin d'estimer la qualité des eaux souterraines de la région d'étude, quinze (15) points de prélèvements ont été choisis selon une répartition qui couvre toute la zone d'étude. Les modes d'échantillonnage et de prélèvement ont été réalisés selon les recommandations préconisées. [4]

Les quinze points de prélèvements (14 puits situés en milieu rural et un point au niveau de l'Oued Cherf) ont été choisis de manière à couvrir les cinq secteurs du périmètre et en tenant compte qu'ils soient le plus possible proche de l'oued Seybouse. Les points de prélèvements ont été localisés par leurs coordonnées UTM déterminées par GPS. (Fig. 2)

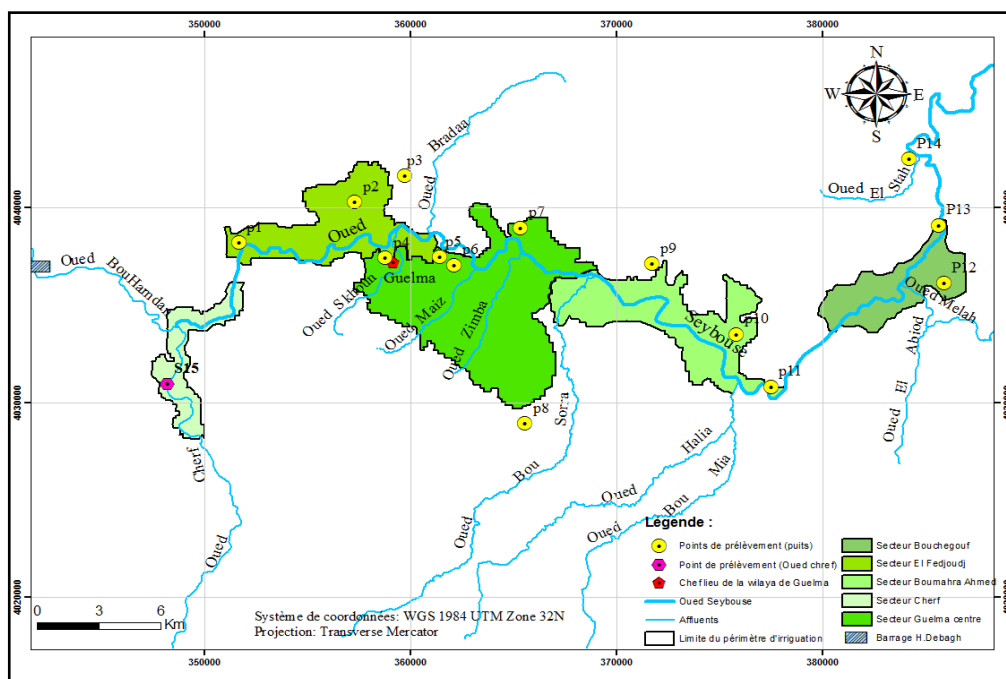


Figure 2 : Carte de situation des points de prélèvements

Les analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire Horizon, Annaba en novembre 2017.

Les paramètres physico-chimiques (pH, température, conductivité électrique, oxygène dissous) ont été mesurés in situ à l'aide d'un multi-paramètre modèle HORIBA. Les éléments majeurs (cations et anions) ont été effectuées par Titrimétrie NFT 90-005, les nitrates, nitrites, ammonium, et le phosphate ont été dosés par spectrophotométrie DIN 38405-D9-2. [5]

Les points de prélèvements sont désignés comme suit :

P1, P2 et P3 : Secteur El Fedjoudj, P4, P5, P6, P7 et P8 : Secteur Guelma centre

P9, P10 et P11 : Secteur Boumahra Ahmed, P12, P13 et P14 : Secteur Bouchegouf,

S15: Secteur Cherf (Oued Cherf).

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 Identification des faciès chimiques des eaux selon le diagramme de Piper

Après vérification de la balance ionique qui a été satisfaisante (< 5%), les résultats des analyses chimiques ont été reportés sur le diagramme de Piper, qui montre que les faciès chimiques sont le sulfaté- chloruré - calcique et le Sulfaté -Calcique avec une légère tendance de migration vers le pôle chloruré- sulfaté - sodique (Fig. 3) [5], [6].

La prédominance des sulfates dans les eaux de la région s'explique géologiquement par l'existence dans le bassin de Guelma des dépôts évaporitiques, représentées essentiellement par du sel gemme et du gypse. [7].

En plus de l'origine naturelle géologique, on peut citer l'origine anthropique due à l'utilisation des engrais chimiques dans le périmètre irrigué Guelma-Boucheouf [8], [9] et [10].

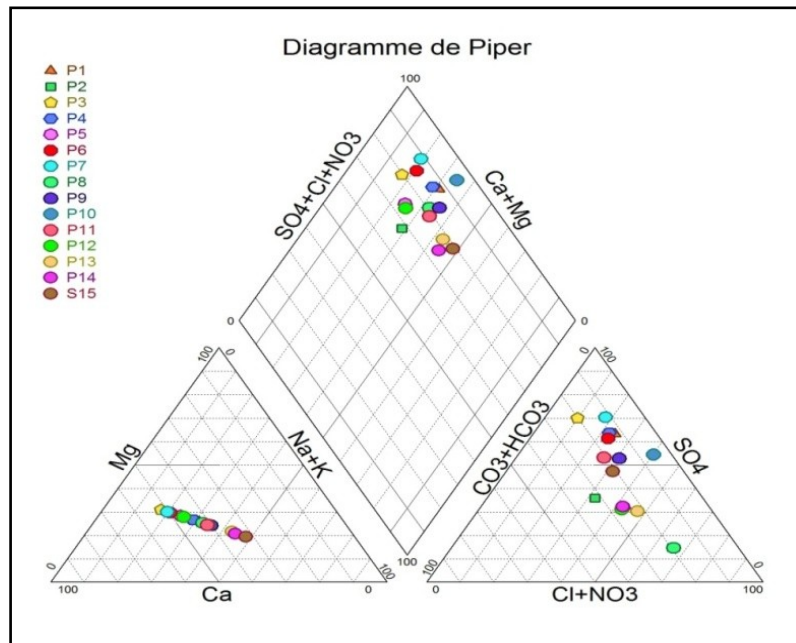


Figure 3 : Représentation graphique (diagramme de Piper)

4.2 Evolution des paramètres physico-chimiques

4.2.1. Température

La température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques [4]. Dans la zone d'étude, la température varie entre 19.79 °C (P9) et 25 °C (P1) avec une moyenne de 21.94 °C (Fig. 4).

4.2.2. Potentiel Hydrogène (pH)

Le pH de l'eau renseigne sur son acidité et son alcalinité, il est généralement compris entre 6,6 à 7,8. La nature des terrains traversés par les eaux est la cause naturelle provoquant des variations importantes du pH.

Les résultats des analyses des eaux de la région ont montré que le pH est proche de l'alcalinité dans la majorité des points analysés et varie entre 7,3 (P6) à 8,47 (P11), avec une moyenne de 8.08. (Fig. 5)

4.2.3. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique traduit le degré de minéralisation d'une eau. Elle est conditionnée par la présence des espèces ioniques en solution [11], [12].

Les valeurs des conductivités mesurées présentent des variations importantes par rapport aux normes préconisées par l'OMS, pour les eaux de boisson (1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$). [13]

Les valeurs varient de 1360 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (P3) à 4610 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (P10).

Ces valeurs importantes seraient dues aux sels dissous d'une part et au lessivage des fertilisants par les eaux d'irrigation d'autre part. La zone d'étude étant un périmètre irrigué à activité agricole intense (Fig.6).

4.2.4. Oxygène dissous

L'oxygène dissous est un paramètre qui renseigne sur l'état de l'eau, il favorise la croissance des micro-organismes qui dégradent la matière organique. En général les valeurs faibles favorisent le développement des germes pathogènes.

Les résultats des analyses de l'O₂ dissous dans la zone d'étude montrent que la valeur maximale est observée au niveau de P14 (9.05 mg/l), alors que la valeur minimale s'observe au niveau du puits (P5) avec 6 mg/l (Fig. 7).

Ces valeurs indiquent que vis-à-vis de ce paramètre, les valeurs sont dans les normes et il y'a une absence de pollution significative. [13]

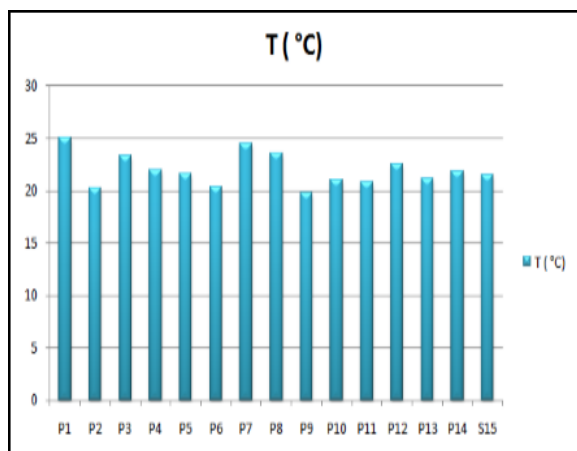


Figure. 4 : Variation de la température

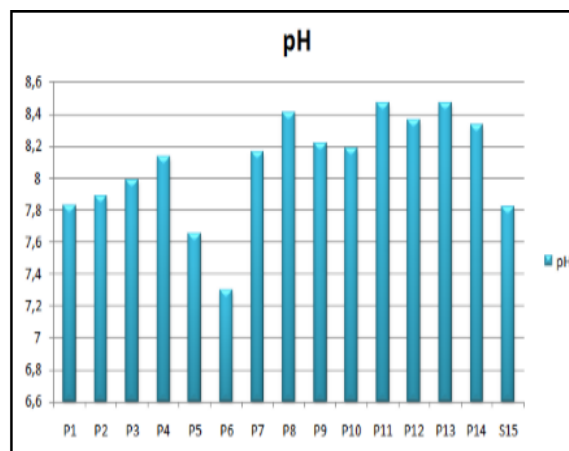


Figure. 5 : Variation du pH

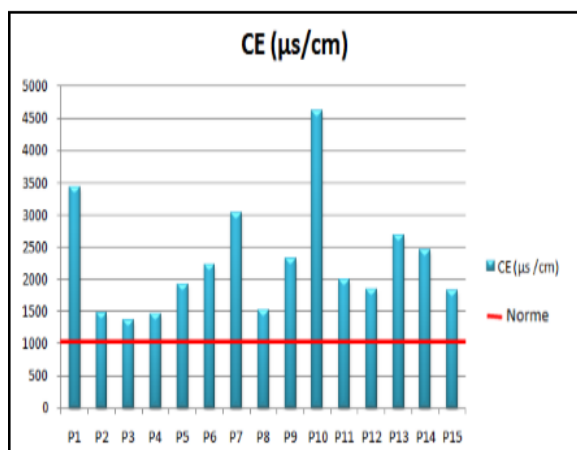


Figure. 6 : Variation de la Conductivité électrique

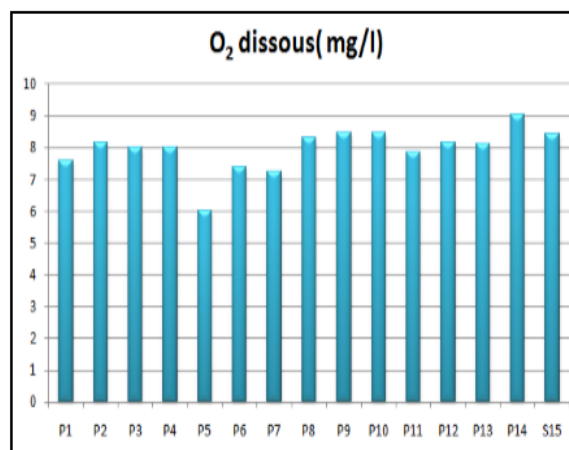


Figure. 7 : Variation des valeurs de l'Oxygène dissous

4.2.5. Les Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Leur présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques [14].

Les points d'échantillonnage font partie du périmètre d'irrigation Guelma-Boucheouf, où la production de céréales, maraichages, maïs, etc..., utilise les fertilisants et les produits phytosanitaires.

L'histogramme des concentrations en nitrates montre une variation des valeurs, qui oscillent entre 25 mg/l (P 3) et 147 mg/l (P 14), avec une moyenne de 55.46 mg/l. (Fig. 8)

Les valeurs élevées en nitrate et qui dépassent la norme admissible par l'OMS (50 mg/l) se localisent au niveau des puits P4, P6, P12, P13, et P14 situés dans les secteurs du périmètre de Guelma centre et celui de Boucheouf.

Les activités agricoles étant annuelles, le recours aux engrais organiques pour l'amélioration des récoltes et l'irrigation par aspersion durant la période des basses eaux favorisent le transit des nitrates vers les eaux souterraines. Les points situés dans le secteur de Boucheouf du périmètre irrigué montrent des valeurs excessives en nitrates, dépassant de loin les normes admissibles. [13]

4.2.6. Les Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites représentent une forme moins oxygénée et moins stable dans le cycle de l'azote, ils représentent la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium, c'est une forme toxique ayant pour origine l'agriculture où les rejets urbains et industriels.

Les valeurs en nitrites varient de 0,02 mg/l (P4, P11, et P12) à 1.14 mg/l (S15). La norme admissible selon l'OMS est fixée à 0,1mg/l. (Fig. 9)

Les valeurs maximales en nitrites se localisent dans P5 (0.9 mg/l) et S15 (0.14 mg/l), situés respectivement dans le secteur du périmètre de Guelma centre et le point dans l'oued Cherf.

La concentration des NO_2^- dans le puits (P5), témoigne de la contamination de la nappe alluvionnaire de la région de Guelma.

4.2.7. L'ammonium (NH_4^+)

C'est la forme de l'azote la plus toxique. La valeur maximale de 4.38 mg/l s'observe au niveau du puits (P5) et la valeur minimale de 0.25 mg/l au puits (P4). La moyenne est de 0.9 mg/l. (Fig. 10)

Les puits présentant des valeurs dépassant la norme admissible fixée par l'OMS à 0.5 mg/l sont : P1, P5, P6, P12, et S15.

Ces puits sont situés respectivement dans les secteurs Guelma centre et Boucheouf du périmètre et le point situé dans l'oued Cherf.

4.2.8. Phosphates (PO_4^{3-})

L'origine des phosphates dans les eaux serait liée aux rejets urbains ou à la dissolution des engrais chimiques (NPK), ce qui est le cas pour la zone d'étude.

Les valeurs en phosphates dans tous les points de la zone d'étude sont supérieures à la valeur maximale admissible (0,5 mg/l) fixée par l'OMS.

Les valeurs en phosphates varient de 7.9 mg/l (P8) à 19.3 mg/l (P14). (Fig. 11)

Les valeurs excessives en phosphates indiquent une pollution engendrée par les pratiques agricoles dans le périmètre irrigué, suite à l'utilisation des phosphates sous forme d'engrais chimiques ou de pesticides. La valeur maximale s'observe dans le secteur de Boucheouf.

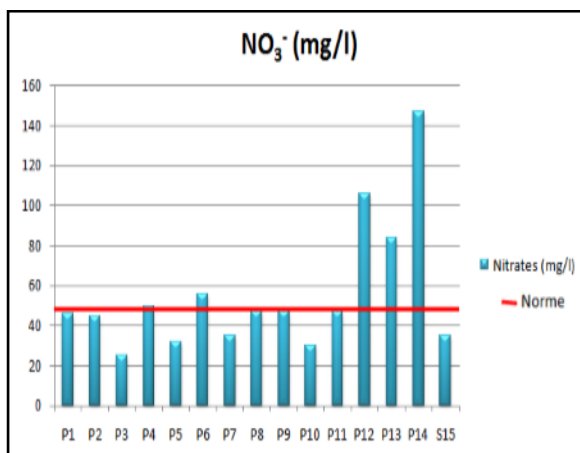


Figure. 8 : Variation des concentrations en Nitrates dans les eaux de la zone d'étude

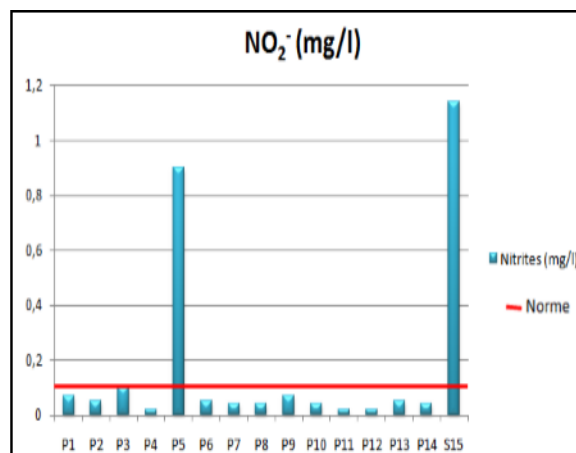


Figure. 9 : Variation des concentrations en Nitrites dans les eaux de la zone d'étude

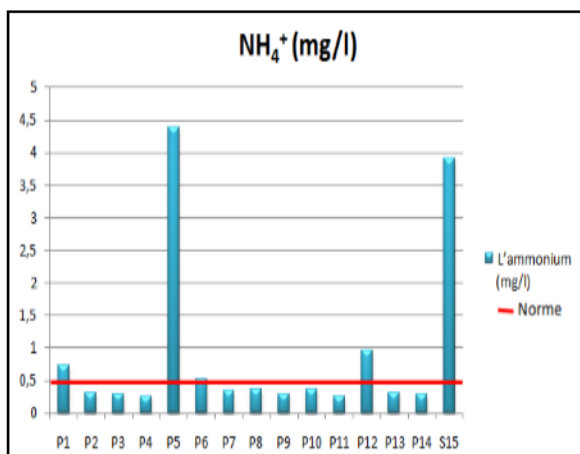


Figure. 10 : Variation des concentrations en Ammonium dans les eaux de la zone d'étude

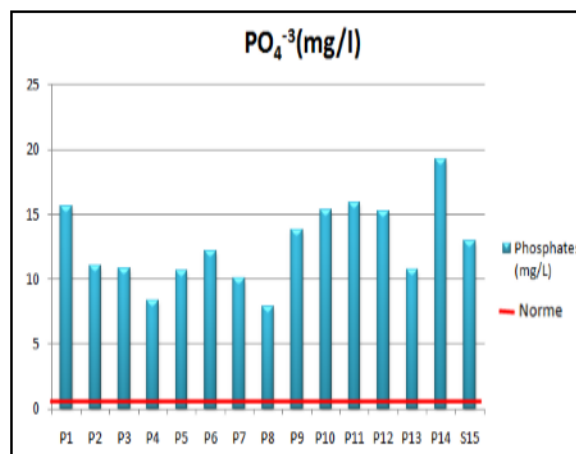


Figure. 11 : Variation des concentrations en Phosphates dans les eaux de la zone d'étude

4.3. Classification et interprétation de la qualité des eaux

La cartographie de la qualité générale de l'eau est définie selon quatre classes de qualité déterminées à partir d'une grille à double entrée (classe de qualité et paramètre mesuré). [15]

Pour l'évaluation de la qualité minérale des eaux, on définit quatre classes de qualité en fonction des valeurs de chacun des paramètres considéré et des normes requises :

Classe I : Eau de bonne qualité, utilisée sans exigence particulière, elle est représentée graphiquement par la couleur bleue.

Classe II : Eau de qualité moyenne, utilisée après un simple traitement, elle est représentée en vert.

Classe III : Eau de mauvaise qualité, ne peut être utilisée qu'après un traitement très poussé. Elle est représentée en jaune.

Classe IV : Pollution excessive, ne peut être utilisée qu'après traitements spécifiques et très onéreux. Elle est représentée en rouge.

Tableau 1 : Grille pour l'évaluation de la qualité minérale des eaux souterraines. (ANRH, 2012)

Qualité Paramètre	Classe I Situation normale	Classe II Pollution modérée	Classe III Pollution notable	Classe IV Pollution importante
Ca ²⁺ (mg/l)	40 – 100	100 – 200 (P2, P4, P8, P11, S15)	200 – 300 (P3, P5, P6, P9, P12, P13, P14)	> 300 (P1, P7, P10)
Mg ²⁺ (mg/l)	≤ 30	30 – 100 (P2, P3, P4, P5, P8, P9, P11, P12, P13, P14, S15)	100 – 150 (P1, P6, P7, P10)	≥ 150
Na ⁺ (mg/l)	10 – 100 (P3)	100 – 200 (P2, P4, P5, P6, P7, P8, P11, P12)	200 – 500 (P1, P9, P10, P13, P14, S15)	> 500
Cl ⁻ (mg/l)	10 – 150 (P3)	150 – 300 (P2, P4, P6, P11)	300 – 500 (P5, P7, P8, P9, P12, P14, S15)	> 500 (P1, P10, P13)
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	50 – 200 (P8)	200 – 300	300 – 400 (P5, P12)	> 400 (P1, P2, P3, P4, P6, P7, P9, P10, P11, P13, P14, S15)

L'interprétation de la qualité minérale des eaux souterraines de la région d'étude montre que le Ca²⁺, les Cl⁻ et les SO₄²⁻ présentent une pollution notable à importante, le Na⁺ et le Mg²⁺ présentent une pollution modérée à notable. Ces résultats sont en étroite corrélation avec les faciès chimiques dominant le sulfaté-chloruré-calcique et les valeurs excessives des conductivités électriques mesurées, traduisant une minéralisation excessive (Tab. 1).

4.3.1 Pollution vis-à-vis des nitrates, nitrites et de l'ammonium

Tous les points de prélèvements présentent des valeurs excessives en nitrates, présentant ainsi une pollution notable à importante. Tous les secteurs du périmètre irrigué présentent des valeurs dépassant les normes tolérées, surtout dans les secteurs de Guelma centre et Bouchegouf.

Concernant les Nitrites, les points (P5, P3, S15), présentent une pollution notable, dépassant la norme tolérée de (0.1 mg/l).

Vis-à-vis de l'ammonium, 87 % des points de prélèvements présentent une pollution notable et 13 % une pollution importante (Tab. 2).

Tableau 2 : Grille pour l'évaluation de la qualité des eaux souterraines vis-à-vis de l'azote (ANRH)

Formes de l'Azote	Situation normale	Pollution modérée	Pollution notable	Pollution importante
NH ₄ ⁺ (mg/l)	≤ 0.01	0.01 - 0.1	0.1 – 3 (P1, P2, P3, P4, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14)	≥ 3 (P5, S15)
NO ₂ ⁻ (mg/l)	≤ 0.01	0.01 - 0.1 (P1, P2, P4, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14)	0.1 – 3 (P5, P3, S15)	≥ 3
NO ₃ ⁻ (mg/l)	≤ 10	10 - 20	20 – 40 (P3, P5, P7, P10 S15)	≥ 40 (P1, P2, P4, P6, P8, P9, P11, P12, P13, P14)

4.3.2 Qualité des eaux vis-à-vis des phosphates (PO_4^{3-})

Le tableau 3 illustre la qualité des eaux vis-à-vis du problème des Phosphates (ANRH, 2012).

Tableau 3 : qualité des eaux vis-à-vis du problème des Phosphates (ANRH, 2012).

Forme du Phosphore	Situation Normale	Pollution modérée	Pollution notable	Pollution importante
PO_4^{3-} (mg/l)	≤ 0.01	$0.01 - 0.1$	$0.1 - 3$	> 3 (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14 S15)

Concernant les phosphates sous la forme PO_4^{3-} , les eaux de la région d'étude présentent une pollution importante. Tous les points de prélèvements présentent des valeurs excessives (>3 mg/l) et dépassant de loin la norme admissible (Tab. 3).

5. CONCLUSION

Les faciès chimiques dominants sont le sulfaté- chloruré - calcique et le chloruré- sulfaté – sodique, la prédominance des sulfates dans les eaux de la région s'explique par l'origine naturelle géologique avec l'existence dans le bassin de Guelma des dépôts évaporitiques (sel gemme et gypse). Une deuxième origine se rapportant à l'origine anthropique, provenant de l'utilisation intensive des engrais chimiques dans le périmètre irrigué Guelma-Boucheouf.

La qualité minérale des eaux souterraines de la région d'étude montre que le Ca^{2+} , les Cl^- et les SO_4^{2-} présentent une pollution notable à importante, le Na^+ et le Mg^{2+} présentent une pollution modérée à notable. Ces résultats sont en étroite corrélation avec les faciès chimiques dominant et les valeurs des conductivités électriques très élevées, traduisant une minéralisation excessive des eaux.

Les eaux de la nappe alluvionnaire de la région de Guelma présentent des valeurs importantes en nitrates et nitrites.

Vis-à-vis de l'ammonium, la majeure partie des points prélevés présentent une pollution notable, à importante.

Concernant les ortho phosphates sous la forme de PO_4^{3-} , les eaux souterraines de la région d'étude présentent une pollution importante, avec le problème de l'eutrophisation envisageable avec des valeurs excessives en phosphates.

6. RECOMMANDATIONS

A l'issu de cette étude, les résultats montrent que la contamination de la nappe alluvionnaire de la région de Guelma, par les nitrates, nitrites et l'ammonium est indéniable.

Les valeurs excessives en phosphates dans la nappe alluvionnaire est le résultat de l'utilisation intensive des engrais chimiques et des pesticides dans les secteurs du périmètre irrigué Guelma-Boucheouf.

Nous recommandons le contrôle de l'utilisation des engrais chimiques, surtout avec le problème de l'eutrophisation, susceptible de se produire, avec les valeurs excessives en phosphates.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Kebieche A., 2007. Gestion rationnelle de l'eau d'irrigation au niveau d'un périmètre irrigué, enjeux et perspectives (Cas du périmètre de Guelma-Boucheouf). Thèse de magister en Sciences agronomiques, Institut national agronomique El-Harrach, Alger. 36p.
- [2] Costa J.L., Massone H., Martinez D., Suero E.E., Vidal C.M., Bedmar F. (2002): Nitrate contamination of a rural aquifer and accumulation in the unsaturated zone. *Agriculture Water Management.*, vol. 57, 33–47.
- [3] Aissaoui M., Benhamza M., 2018. State of organic pollution in waters of the Seybouse Wadi, Region of Guelma (Northeast of Algeria). EMCEI: Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration, 839-842.
- [4] Aissaoui M., Benhamza M., 2017. Caractéristiques hydro chimiques des eaux de l'oued Seybouse - Cas de la région de Guelma (Nord est Algérien). *Rev. Sci. Technol., Synthèse.*, vol. 35, 178-186.
- [5] Charlot G. 1978. Dosages Absorptiométriques des éléments minéraux. Masson, Paris New York Barcelone Milan. 443p.
- [6] Rodier J., 1984. Analysis of water; natural water, waste water, sea water, 7eme édition, Ed Dunod, Paris. 1135p.
- [7] Boukhrouf F., 2010. Etude géologique des dépôts évaporitiques du bassin de Guelma. Mémoire de magistère en géologie, Option : géologie des substances utiles, Université Mentouri, Constantine. 70p.
- [8] Chaoui W., 2007. Impact de la pollution organique et chimique des eaux de l'oued Mellah sur les eaux Souterraine de la nappe alluviale de Boucheouf (Guelma). Mémoire de Magister en Hydrogéologie. Université Badji-Mokhtar Annaba Algérie. 74p.
- [9] Debeiche T.H. (2002): Evolution of Water Quality (Salinity, Nitrogen and Heavy Metals) as a Result of Salt Pollution, Agricultural and Industrial. Application to the Low Plain of Seybouse. [Ph.D. Thesis.] Besancon, University of Franche-Comté. 46p.
- [10] Guettaf M., 2015. Caractéristiques physico chimiques et évaluation des indicateurs de pollution dans l'environnement : Cas de l'oued Seybouse et ses affluents dans le sous-bassin de Guelma (Nord-est Algérien). Thèse de doctorat d'état, université de Guelma, Algérie. 79p.
- [11] Kachi N., 2015. Impact du périmètre irrigué sur la qualité des eaux souterraines dans le bassin versant de la Seybouse. Thèse de doctorat en Hydrogéologie. Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.
- [12] Schoeller H. (1962). Les eaux souterraines, hydrologie dynamique et chimique, Recherche, Exploitation et Evaluation des Ressources, Edition Masson et Cie, Paris. 579 p.
- [13] WHO (2011): Guidelines for Drinking Water Quality. Recommendations. 4th Ed. Geneva, WHO.
- [14] Laraba A., Benhamza M., Khadri S., 2013. Qualité des eaux de l'oued Seybouse, région de Guelma (Nord est Algérien). Le deuxième Séminaire International sur l'Industrie Minérale et l'Environnement (2SIMINE13), Université d'Annaba.
- [15] Nisbet E.G., Verneau O., 1970. Composantes chimiques des eaux courantes, discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Ann. Limn.*, vol. 6(2), 161-190.

Qualité des eaux brutes du barrage Hammam Debagh, Wilaya de Guelma (Nord-Est Algérien)

Quality of raw waters of the dam Hammam Debagh, Town of Guelma (North-East Algeria)

Nadjette Zeghaba^{*1}, Abdelaziz Laraba¹ & Mohamed Mahia¹

¹Laboratoire de Géologie, Université Badji Mokhtar, BP 12, 23000, Annaba, Algérie.

Soumis le : 13/02/2018

Révisé le : 19/05/2018

Accepté le : 04/06/2018

الملخص

تدور دراستنا حول فكرة عن التباين الزمني لنوعية المياه الخام لسد حمام الدباغ في منطقة قالمة ، التي تقع في مستجمعات المياه بوحمدان ، هي جزء من الحوض الكبير رقم 14 يسمى سيبوس. وتغطي البيانات فترة أحد عشر (11) سنة، من 2005 إلى 2015، تنفذها الوكالة الوطنية للسدود والتحويلات (الجزائر)، بمعدل اثني عشر (12) سحباً سنوياً. تراوحت التركيزات السنوية التي تم الاحتفاظ بها في دراستنا من سنة إلى أخرى. من وجهة نظر زمنية، يتفاوت تلوث المياه الخام في سد حمام الدباغ مع الظروف المناخية حيث يكون منخفضاً بشكل عام خلال فصل الشتاء وارتفاعاً خلال فترات التدفق المنخفض. [1,2,3] يظهر تفسير نتائج التحليل الكيميائي أن المياه الخام لسد حمام الدباغ ملوثة وأن التلوث من أصل زراعي [4].

الكلمات المفتاحية: سد حمام الدباغ- المياه الخام- الجودة الفيزيائية- التلوث- قالمة.

Résumé

Notre étude s'articule autour d'une idée sur la variation temporelle de la qualité des eaux brutes du barrage Hammam Debagh dans la région de Guelma, qui est situé dans le sous bassin versant de l'Oued Bouhamdane et qui fait partie du grand bassin numéro 14 dénommé la Seybouse. Les données ont porté sur une période de onze (11) années, s'étendant de 2005 à 2015, qui sont effectuées par l'Agence National des Barrages et Transferts (ANBT)/Algérie, à raison de douze (12) prélèvements par année.

Les concentrations annuelles retenues dans notre étude, variaient d'une année à l'autre. D'un point de vue temporel, la contamination de l'eau brute du barrage Hammam Debagh varie en fonction des conditions climatiques, étant généralement faible pendant la période hivernale et élevé pendant les périodes de faible débit.

L'interprétation des résultats des analyses chimiques montre que les eaux brutes du barrage Hammam Debagh sont polluées et la pollution serait d'origine agricole.

Mots-clés : Barrage Hammam Debagh - eau brute - qualité physico-chimique – pollution- Guelma.

Abstract

Our study revolves around an idea about the temporal variation of the raw water quality of the dam Hammam Debagh in the Guelma region, which is located in the watershed Bouhamdane, is part of the big basin number 14 called the Seybouse.. The data covered a period of eleven (11) years, from 2005 to 2015, which are carried out by the National Agency for Dams and Transfers (ANBT) / Algeria, at a rate of twelve (12) withdrawals per year. The annual concentrations retained in our study varied from one year to another. From a temporal point of view, raw water contamination at Hammam Debagh dam varies with climatic conditions, being generally low during the winter period and high during periods of low flow.

The interpretation of the chemical analysis results shows that the raw water of the dam Hammam Debagh is slightly polluted and the pollution is of agricultural origin.

Keywords: Dam Hammam Debagh- raw water- physicochemical quality-pollution-Guelma.

* Auteur correspondant : nadjette36.hydro@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

L'eau est devenue un enjeu stratégique mondial dont la gestion, doit impérativement s'intégrer dans une perspective politique de développement durable. Certains auteurs affirment en effet qu'elle sera, au troisième millénaire, un enjeu de guerre comme le pétrole l'a été et l'est encore aujourd'hui [1, 2, 3, 4, 5].

Des investissements considérables ont été consacrés à la construction des barrages, notamment dans l'Est du pays. Cependant, ces eaux de surfaces sont vulnérables face aux diverses pollutions et sont souvent de qualité médiocre. Elles peuvent contenir des quantités non négligeables en matières organiques naturelles telles que les substances humiques mais aussi des composés organiques issus de divers rejets polluants ou de pratiques agricoles intensives [6]. En Algérie, l'eau est une ressource de plus en plus précieuse. La concurrence que se livrent l'agriculture, l'industrie et l'alimentation en eau potable (AEP) pour avoir accès à des disponibilités limitées en eau se répercute négativement sur les efforts de développement de nombreux pays [7].

Compte tenu de la croissance démographique de la ville de Guelma et la détérioration de la qualité de ces eaux, ce barrage pourrait atténuer le déficit en eau de la région [8]. Afin de répondre aux besoins de la population, une étude de caractérisation et d'évaluation de la qualité de l'eau brute du barrage Hammam Debagh est nécessaire. Ce présent travail, qui vise à caractériser la qualité des eaux de ce barrage pour une période de onze années, de 2005 jusqu'à 2015 [3].

2. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le barrage Hammam Debagh (Barrage de Bouhamdane) est situé à 23 km de la wilaya de Guelma puisqu'il est implanté à 3 km à l'amont de la localité de Hammam Debagh (Fig.1), sur l'Oued Bouhamdane, il tire son nom de la zone des sources thermales et il a été mis en service en 1987 [9]. Les principales caractéristiques du barrage sont résumées dans le tableau.1 :

Tableau. 1 : Les principales caractéristiques du barrage Hammam Debagh

Caractéristiques hydrologiques		Caractéristiques du barrage	
Oued	Bouhamdane	Type	TERRE
Capacité initiale	200 hm ³	Hauteur	95 m
Capacité dernier levé	184,35 hm ³	Longueur	430 m
Apport moyen annuel	69 hm ³	Côte de retenue Normale (R.N)	360 m
Envasement annuel	0,53 hm ³ /an	Côte Plus Hautes Eaux (P.H.E)	370,24 m
Surface du bassin versant	1 070 km ²	Déversoirs	COROLLE et SEUIL LIBRE
		Débit d'évacuation	2 240 m ³ /s
		Vidange de Fond	218 m ³ /s

Source : ABHCSM 2016



Figure.1 : Localisation du barrage du Hammam Debagh dans la région de Guelma (source rapport Hammam Debagh 2016)

Le barrage alimente en eau potable (AEP) les agglomérations de Ain Hassainia, Hammam Debagh, Medjez Amar, Ben Djerrah et Guelma. La population de ces agglomérations est estimée à 162488 habitants selon le recensement de l'année 2008 et se répartie comme désigné dans le tableau 2 [10].

Tableau. 2 : Répartition des besoins selon la population

Agglomération	Population (hab)	Besoins (hm ³ /an)
Ain Hassainia	5897	0.32
Hammam Debagh	15384	0.84
Medjez Amar	3575	0.2
Ben Djerrah	8711	0.48
Guelma	128921	7.1

Source ABHCSM2016

Pour l'irrigation le barrage alimente les deux périmètres irrigués Guelma-Boucheouf d'une part, dont la superficie s'étend sur 13.000 ha, et Drean-Besbès d'autre part dans la wilaya d'El Tarf. Les résultats actuels pour la saison d'irrigation 2016 montrent que le volume prélevé pour l'irrigation avait atteint 20 hm³ [10]. Le tableau 3 résume la superficie irrigable, celle irrigée et le taux d'irrigation.

Tableau. 3 : Les superficies irriguées

Superficie irrigable (ha)	Superficie irriguée (ha)	Taux d'irrigation (%)
9250	2401	26

Source ABHCSM2016

La zone d'étude est soumise à un climat méditerranéen, appartenant au domaine humide à sub-humide. Il est caractérisé par des irrégularités mensuelles et annuelles des précipitations [11]. La température moyenne annuelle modérée dans le barrage Hammam Debagh est de l'ordre de 18,6°C. La représentation des résultats de la température en fonction des précipitations (P=2T) définit deux saisons typiques d'un climat méditerranéen, avec une saison sèche et chaude qui s'étend du début du mois de Mai jusqu'au mois de Novembre, et une autre humide et froide qui s'étale du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril.

La géologie de la région a été faite à la base de la synthèse des travaux réalisés sur l'Algérie orientale. Le bassin versant de la Seybouse fait partie de la chaîne alpine de l'Algérie orientale [12]. Cette chaîne est composée par la superposition des unités structurales hétérogènes, dont l'histoire géologique s'étale depuis le Trias jusqu'au Pliocène. Cet édifice complexe est partiellement recouvert par une sédimentation Mio-Pliocène et/ou Quaternaire surtout continentale [13]. La géologie peut-être divisée en trois grands ensembles d'après [14] : (i) un ensemble anté-nappe, (ii) un ensemble Mio-Pliocène (continental, bassin de Guelma) et (iii) un ensemble récent (Pliocène et Quaternaire). La région de Guelma fait partie du domaine néritique de Djebel de Debagh, Héliopolis et le sud de Guelma. Cette unité à faciès carbonaté Jurassique-Crétacé, karstifiée est surmontée par plusieurs nappes de charriages et elle est soumise à de grands accidents tectoniques. La vallée de Guelma est un ancien bassin d'effondrement longtemps fermé où s'est entassé un ensemble varié de sédiments allant du Miocène au Quaternaire. Les mouvements tectoniques du Plio-quaternaire ont une grande influence sur la morphogenèse de la région.

La zone d'étude est classée comme un secteur agricole ; elle est caractérisée par la culture à vaste échelle des différents produits agricoles : légumes (323 ha), cultures industrielles (1711 ha), fourrages (03 ha), arbres fruitiers (353 ha) et céréales (11 ha) [10].

Pour l'industrie, notre région d'étude est caractérisée par les stations de lavage et de carburants au nombre de quinze (15) concentrées sur l'axe Hammam Debagh- Bouhamdane et les unités industrielles (briqueterie), qui déversent leurs rejets dans les affluents de l'Oued Bouhamdane[11]. Les différents types de pollution dans la région d'étude sont la pollution urbaine représentée par les rejets des eaux usées domestiques de la zone d'étude, qui sont jetés, sans traitement préalable dans les Oueds et la pollution de type agricole [3].

3. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Les données utilisées dans le cadre de cette étude proviennent des résultats des analyses chimiques mensuelles durant la période de onze (11) ans : (2005/2015), fournies par l'Agence nationale des Barrages et Transferts (ANBT) d'Algérie [15]. Ces données concernent les paramètres tels que : la température ($T^{\circ}\text{C}$), le potentiel d'Hydrogène (pH), le résidu sec (Rs), l'oxygène dissous (OD), les éléments majeurs ; nitrate (NO_3^-), nitrite (NO_2^-), l'ammonium (NH_4^+), les phosphates (PO_4^{3-}), la demande biologique en oxygène (DBO_5), la demande chimique en oxygène (DCO) et la matière organique (MO).

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1. LE FACIES CHIMIQUE

Le diagramme de Piper des eaux brutes du barrage Hammam Debagh (Fig.2), montre que les cations sont dans le domaine calcique (85%) et accessoirement dans le domaine magnésien (15%) et les anions figurent à (71%) dans le domaine Sulfaté et accessoirement dans le domaine chloruré (29%). Ainsi, on a donc deux principaux faciès chimiques : le Chloruré-magnésien et le Sulfaté – calcique.

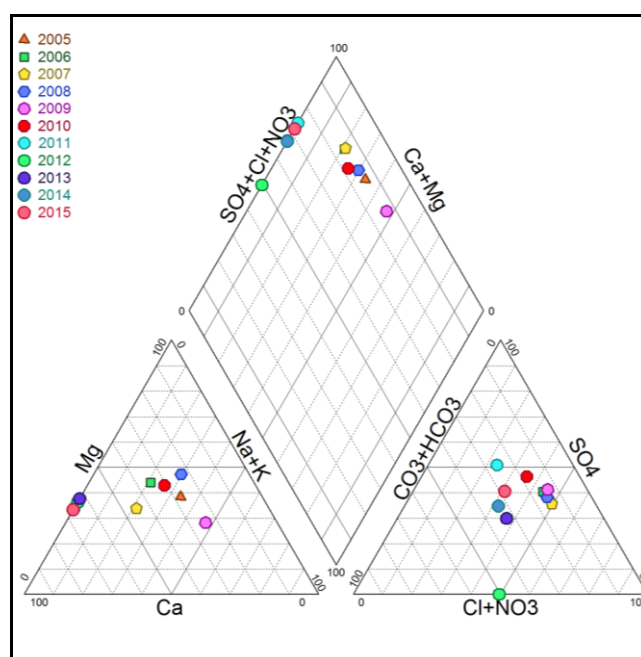


Figure.2 : Représentation graphique des faciès chimiques des eaux brutes du barrage Hammam Debagh sur le diagramme de Piper (2005-2015)

4.2. EVOLUTION DES PARAMETRES DE QUALITE

La qualité des eaux du barrage et sa dégradation s'évalue à l'aide d'un groupe de paramètres de même nature ou de même effet appelé : altération [15].

On peut distinguer six types d'altération :

- Altération minéralisation : la conductivité électrique (CE), les chlorures (Cl^-) et les sulfates (SO_4^{2-}) ;
- Altération matières azotées hors nitrates : l'ammonium (NH_4^+) et les nitrites (NO_2^-) ;
- Altération nitrates : les nitrates (NO_3^-) ;
- Altération matières organiques et oxydables : l'oxygène dissous (OD), la demande biochimique en oxygène (DBO_5) et la demande chimique en oxygène (DCO) ;
- Altération phosphates : les Orthophosphates (PO_4^{3-}) ;
- Altération turbidité : la turbidité.

La qualité de l'eau de surface du barrage Hammam Debagh est définie pour chaque altération dans quatre classes de qualité, ces dernières sont recommandées par l'ABHCSM de Constantine et l'ANBT d'Algérie [15] (Tab.4).

Tableau. 4 : Grille de qualité des eaux de surface

Altération Minéralisation					
Paramètre	Unité	Excellente	Bonne	Passable	Mauvaise
Conductivité électrique	µS/cm	≥180 et ≤400	>400 et ≤2500	<180 ou >2500 et ≤4000	>4000
Chlorures	mg/l	25	200		>200
Sulfates	mg/l	25	250		>250
Altération Matières azotées hors nitrates					
Paramètre	Unité	Excellente	Bonne	Passable	Mauvaise
Ammonium	mg/l	0,05	0,5	4	>4
Nitrites	mg/l	0,05	0,1	0,7	>0,7
Altération Nitrates					
Paramètre	Unité	Excellente	Bonne	Passable	Mauvaise
Nitrates	mg/l	25	50	100	>100
Altération Matières organiques et oxydables					
Paramètre	Unité	Excellente	Bonne	Passable	Mauvaise
Oxygène dissous	%	100	90	50	30
DBO5	mg/l	0	5	10	15
DCO	mg/l	0	20	40	50
Altération Phosphates					
Paramètre	Unité	Excellente	Bonne	Passable	Mauvaise
Phosphates	mg/l	0-0,01	0,01-0,1	0,1-<3	>3
Altération Turbidité					
Paramètre	Unité	Excellente	Bonne	Passable	Mauvaise
Turbidité	NTU	<2	35	70	>105

Source ABHCSM Constantine 2017

4.2.1. ALTERATION MINERALISATION

- LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE (CE)

Selon les résultats de la série d'analyses de l'eau brute du barrage Hammam Debagh, nous avons noté que l'évolution de la conductivité électrique durant la période de 2005 à 2015, nous permet de dire qu'on a une eau de bonne qualité (Fig.3) avec une valeur qui varie entre 428 µS/cm (2014) et 872 µS/cm (2011).

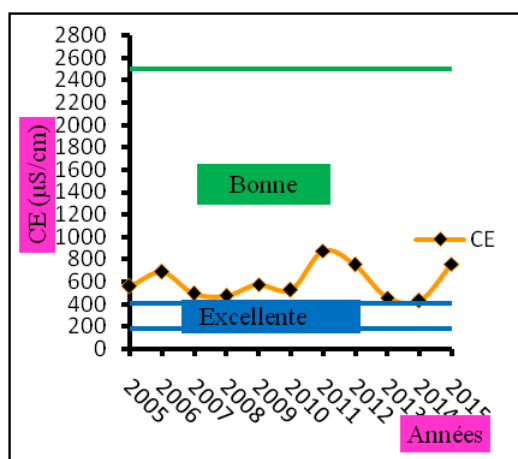


Figure. 3: Courbe d'évolution de CE des eaux du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

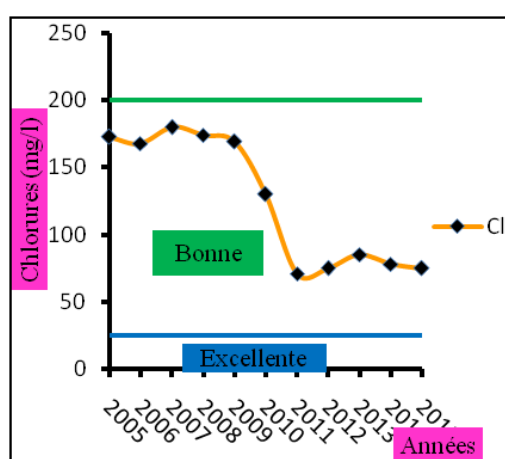


Figure.4: Courbe d'évolution des Cl⁻ des eaux du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

-LES CHLORURES (CL⁻)

Les valeurs en chlorures dans les eaux du barrage Hammam Debagh ne dépassent pas la norme (200 mg /l). La concentration maximale est de 179,98 mg/l enregistrée en 2007 alors que la plus faible

valeur est de 71mg /l enregistrée en 2011; Ces résultats sont conformes aux normes et que ces eaux sont de bonne qualité (Fig.4).

-LES SULFATES (SO_4^{-2})

Les concentrations observées dans les eaux du barrage Hammam Debagh montrent que la valeur moyenne des sulfates ne dépasse pas la norme de 250 mg/l. La valeur maximale est de 233,28 mg/l enregistrée en 2010 tandis que le plus bas niveau est de 95,15mg /l enregistré en 2013. Les eaux sont de bonne qualité vis-à-vis des sulfates. (Fig.5).

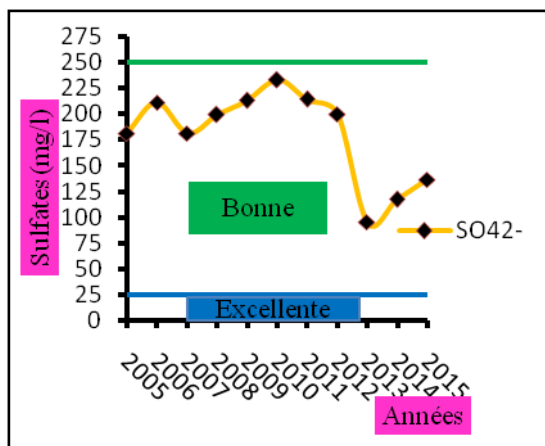


Figure.5 : Courbe d'évolution des SO_4^{-2} des eaux du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

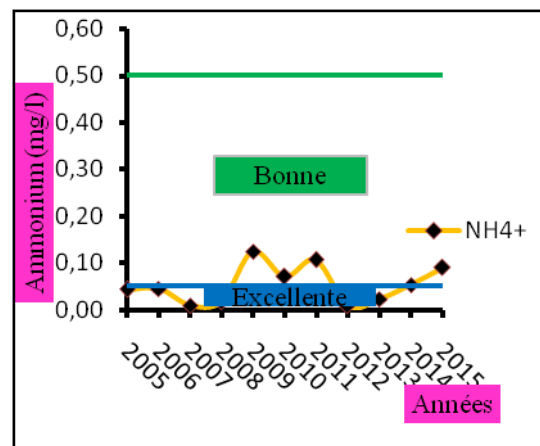


Figure.6: Courbe d'évolution de NH_4^+ des eaux du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

4.2.2. ALTERATION MATIERES AZOTEES HORS NITRATES

- L'AMMONIUM (NH_4^+)

Vis-à-vis de l'ammonium, les eaux brutes du barrage Hammam Debagh sont de qualité excellente durant les années 2005, 2006, 2007, 2008, 2012, 2013 et 2014. Concernant les années 2009, 2010, 2011 et 2015, les eaux sont de bonne qualité. (Fig.6).

-LES NITRITES (NO_2^-)

Durant les années 2005, 2006, 2008, 2010 et 2011, vis-à-vis des nitrites, les eaux sont de qualité excellente. Concernant les années 2007, 2009, 2012, 2013, 2014 et 2015, les eaux du barrage sont de bonnes qualités. (Fig.7).

4.2.3. ALTERATION NITRATES

-LES NITRATES (NO_3^-)

Pour ce qui est des nitrates, les eaux brutes du barrage Hammam Debagh, sont de qualité excellente (Fig.8).

4.2.4. ALTERATION MATIERES ORGANIQUES ET OXYDABLES

-L'OXYGENE DISSOUS (OD)

Les valeurs obtenues pour l'oxygène dissous pendant la période de l'analyse des eaux brutes du barrage Hammam Debagh, montrent deux classes de qualité : la première est la qualité excellente (2007, 2010, 2011, 2013, 2014 et 2015) et le deuxième est la qualité bonne (2005, 2006, 2008, 2009 et 2012). (Fig.9)

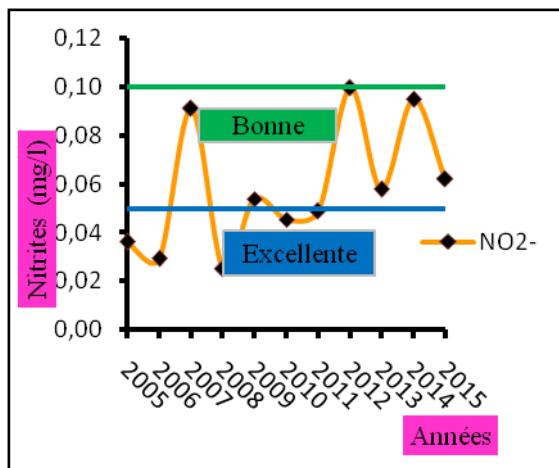


Figure. 7: : Courbe d'évolution des NO₂⁻ des eaux du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

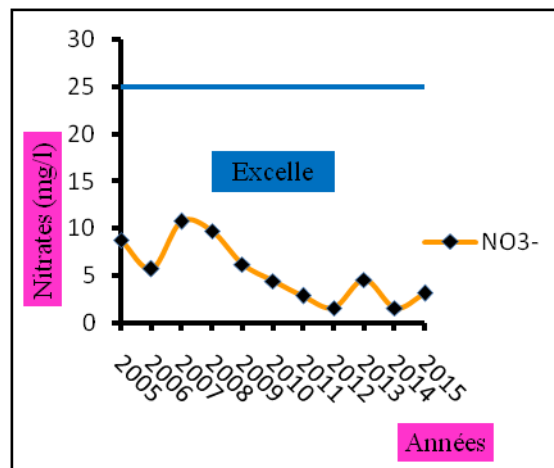


Figure.8: Courbe d'évolution des NO₃⁻ des eaux du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

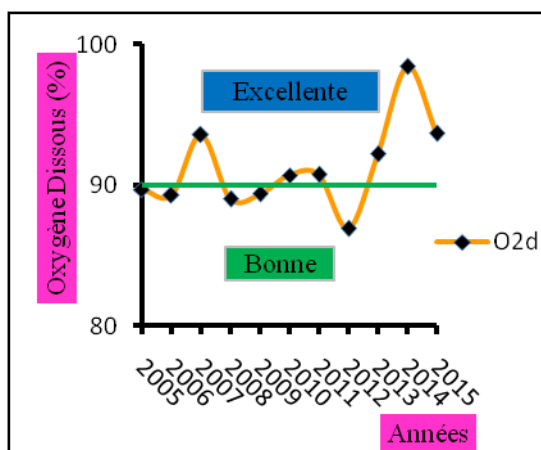


Figure.9 : Courbe d'évolution d'O_{2d} des eaux du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

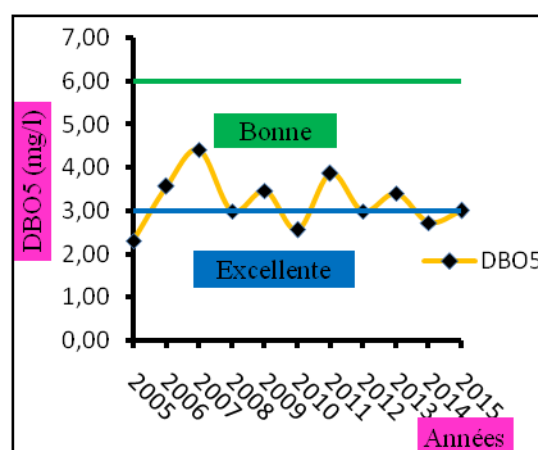


Figure.10 : Courbe d'évolution de la DBO₅ des eaux du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

-LA DEMANDE BIOCHIMIQUE EN OXYGENE (DBO₅)

L'évolution de la DBO₅ montre une eau d'excellente qualité durant les années ; 2005, 2008, 2010, 2012, 2014 et 2015 ; et une eau de bonne qualité au cours des années ; 2006, 2007, 2009, 2011 et 2013. (Fig.10)

-LA DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE(DCO)

D'après la figure.11, on observe que durant toute la période d'observation, la qualité des eaux du barrage est bonne, sauf pour l'année 2014 qui montre des eaux de qualité passable.

4.2.5. ALTERATION PHOSPHATES

-LES PHOSPHATES (PO₄⁻³)

Les valeurs des phosphates des eaux brutes du barrage Hammam Debagh montrent que les eaux sont de qualité passable, durant presque toute la période d'analyse prise en considération, sauf pour les années 2014 et 2015, où les eaux sont de bonnes qualités, vis à vis des orthophosphates.

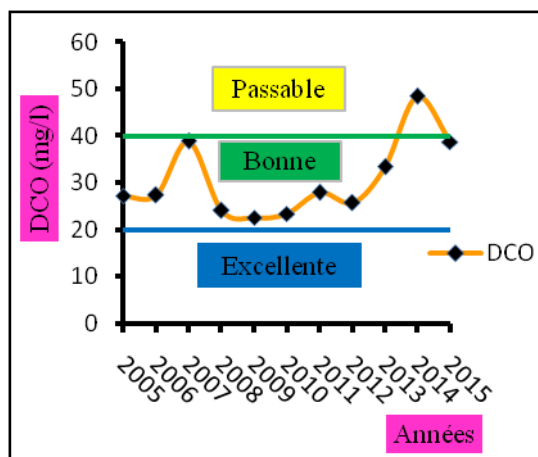


Figure.11 : Courbe d'évolution de la DCO des eaux du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

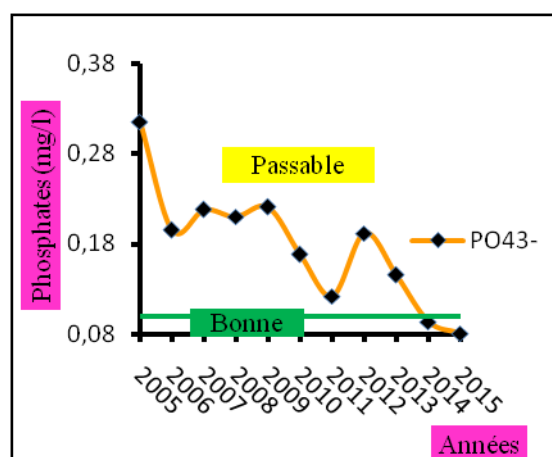


Figure.12 : Courbe d'évolution des PO₄⁻³ des eaux barrage Hammam Debagh (2005-2015)

4.2.6. ALTERATION TURBIDITE

LA TURBIDITE

Vis à vis de la turbidité, les valeurs montrent que les eaux du barrage Hammam Debagh sont de bonnes qualités.

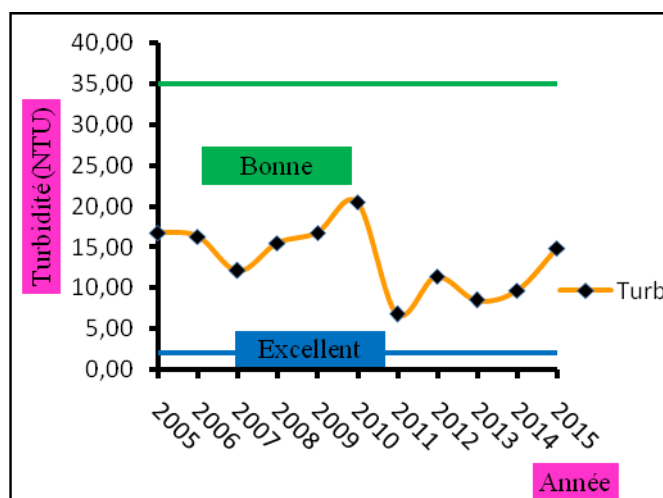


Figure.13: Courbe d'évolution de la turbidité des eaux du barrage Hammam Debagh (2005-2015)

5. CONCLUSION

A la fin de cette étude, les résultats obtenus relatifs à la qualité des eaux brutes du barrage Hammam Debagh mettent en évidence l'impact direct de la pollution globale, générée par les rejets des eaux usées du bassin versant de l'Oued Bouhamdane. La qualité physico chimique des eaux brutes du barrage révèle que ces eaux sont faiblement minéralisées ($CE < 1000 \mu S/cm$).

Les eaux brutes du barrage Hammam Debagh sont caractérisées par deux faciès chimiques dominant : le chloruré – magnésien et le sulfaté - calcique.

Vu les altérations constatées au cours du suivi de l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux brutes du Barrage Hammam Debagh, on constate que du point de vue chlorures, sulfates, conductivité électrique et turbidité, les eaux brutes du barrage Hammam Debagh sont de bonne qualité ; pour les nitrates les normes ont montré que ces eaux sont excellentes ; alors que pour les nitrites, l'ammonium,

l'oxygène dissous et la demande biochimique en oxygène les résultats des analyses ont montré que les eaux sont d'excellente à bonne qualité.

Concernant les phosphates et la demande chimique en oxygène, les eaux du barrage Hammam Debagh sont classées de bonne qualité à passable.

Les études antérieures effectuées par l'ABHCSM de Constantine ont montré qu'en 2005, les eaux du barrage étaient d'une qualité bonne à passable, tandis qu'en 2009 la qualité des ces eaux étaient d'une qualité passable et le type de pollutions qui caractérisaient ces eaux étaient d'origine urbaine et agricole.

Suite à ces résultats, nous recommandons :

- L'implantation d'une station d'épuration (STEP) pour le traitement des eaux usées des villes d'Oued Zenati et de Bordj Sabat et de leurs agglomérations.
- L'installation des stations automatiques de suivi continu de la qualité des eaux du barrage afin de prévenir à toute éventuelle pollution.
- Le recours au traitement biologique à travers l'ensemencement des bactéries assimilatrices de la matière organique excédante et à l'empoissonnement avec des carpes argenté et grande bouche.

REFERENCES

- [1] Guidoum A., 2017. Caractérisation hydrologique et analyse du transport solide en suspension dans trois ensembles hydrographiques du Nord-Est Algérien, Etude de cas dans la Seybouse, les hautes plaines Constantinoises et Chott Melghir (coupe Nord-sud). Thèse de Doctorat en science. Université Mohamed Khider, Biskra. Algérie. 368 p
- [2] Benchaiba L., Gaagai A., 2012. Condition d'écoulement et impact sur la mobilisation des ressources en eau bassin versant de l'Oued Bouhamdane (w. de Guelma, est Algérien), Science Lib Editions Mersenne, Vol.4(120701), 1-11
- [3] Bahroun S., Chaib W., 2017. La qualité des eaux de surface du barrage Mexa Nord-Est Algérien, Journal of water and Land Développement, Vol. 34 (VII-IX), 11-19
- [4] Agence de Bassin Hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue., 2005. Qualité des eaux superficielles dans le bassin hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue, (1998-2003). 48p
- [5] Belkhiri L., Mouni L., Narany T.S., Tiri A., 2016. Évaluation du risque potentiel pour la santé des métaux lourds dans les eaux souterraines en utilisant l'intégration de l'indicateur krigeage et méthodes statistiques multivariées, Eaux souterraines pour le développement durable, Vol.10 (003), 1-27
- [6] Belkhiri L., Mouni L., Boudoukha A., 2012. Evolution géochimique des eaux souterraines dans un aquifère alluvial: Cas d'El Eulma, Est Algérien, Journal des sciences de la terre africaines, Vol. 66-67, 46-55
- [7] Djemai M., Saibi H., Mesbah M., Robertson A., 2017. Evolution spatio-temporelle des caractéristiques physico-chimique de l'eau de la vallée de l'Oued Sebaou (Grande Kabylie, Algérie), Journal de l'hydrologie : Études régionales, Vol.12, 33-49
- [8] Agence de Bassin Hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue., 2009. Qualité des eaux superficielles dans les bassins du Kebir-Rhumel, de la Seybouse et de la Medjerda-Mellegue, (2004-2007). 44p
- [9] Louamri A., 2010. Contribution à l'évaluation des transports solides de l'Oued Bouhamdane à la Station de Medjez Ammar II et le Barrage Hammam Debagh, international network environmental management conflits, Santa Catarina, Brasil, 1-7
- [10] Agence nationale de la gestion intégrée des ressources en eau (A.G.I.R.E)., Agence de bassin hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue (ABHCSM)., 2006. Rapport sur l'analyse de l'année hydrologique (2015-2016) du barrage Hammam Debagh. 13p
- [11] Mansouri Z., 2009. Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (Nord-Est Algérien), Thèse de magister. Université Badji Mokhtar, Annaba. Algérie. 134p
- [12] Durand D.M., 1996. Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Bull.Serv. Carte Géol. Algérie, N.S, n°39, 9.89-131, 9 fig., Alger
- [13] Vila J.M., 1980. La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse Doctorat d'état. Université Pierre et Marie-Curie. Paris VI. 665 p
- [14] Lahondère. J. C., 1987. Les séries ultra telliennes d'Algérie nord-orientale et les formations environnantes dans leur cadre structural. Thèse d'Etat. Université Paul Sabatier. Toulouse. 204p
- [15] Agence nationale des barrages et transferts (ANBT), 2014. Evolution de la qualité physico-chimique des eaux du Barrage Hammam Debagh, 10p
- [16] Mouchara N., 2009. Impactes des lâchées du barrage Hammam Debagh sur la qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie amont (NE Algérien). Thèse de magister, Université Badji Mokhtar, Annaba. Algérie. 141p

Analyse aeroélastique des paliers à structure à feuilles en régime stationnaire

Aeroelastic analysis of the air foil bearings in steady state

Youcef Amine Masmoudi ^{*1,2} & Ammar Haiahem ¹

¹Laboratoire de Mécanique Industrielle, Université Badji Mokhtar B.P. 12, Annaba, Algérie.

²Research Center in Industrial Technologies, P.O. Box 64, Cheraga 16014, Algiers, Algeria.

Soumis le : 18 /07/2017

Révisé le : 19 /05/2018

Accepté le : 04 /06/2018

ملخص:

في العقود الأخيرة، الآلات التوربينية عرفت تطورا ملحوظا بهدف تخفيف وزن العناصر الدورانية للآلات والحفاظ على البيئة و كذلك للحصول على احسن أداء ممكن في التشغيل. العناصر الرئيسية في الآلات التوربينية هي المحامل الإيروديناميكية (الديناميكية الهوائية) التي تعمل على حمل الأعمدة الدورانية ذات السرعات العالية. في هذه الورقة نقوم بدراسة المرونة الديناميكية للمحامل الهوائية في حالة التشغيل المستمر. الهيكل يتكون من صفائح مرنة مموجة (المطبات) مثبتة على صفيحة عليا صلبة و التي تشكل مع العمود الدوار والهواء ملامسة إيروديناميكية مرنة. وقد تم انشاء نموذج عددي مبني على أساس معادلة رينولدز ونموذج تشوه مرن خاص بالصفائح المموجة بدلالة ضغط الهواء، ابعاد الصفائح وخصائصها الميكانيكية. النموذج المدروس الذي يعتبر غير خطي يمكن حله باستعمال التفريد بالفروق المحدودة مع تطبيق طريقة نيوتن رافسون. نتائج الحسابات تبين توزيع الضغط وسمك فلم الهواء وكذلك الخصائص المتعلقة بالتماس بين السائل والهيكل تحت شروط تشغيل معينة.

الكلمات المفتاحية: محامل الديناميكية الهوائية - المرونة الديناميكية - سمك فلم الهواء - قوة الرفع - هيكل الصفائح المموجة.

Résumé :

La turbomachine connaissait durant ces dernières décennies un développement particulier dans le but d'alléger les éléments de machines tournants et de préserver l'environnement tout en améliorant les performances de fonctionnement. Les éléments clés dans la turbomachine sont les paliers aérodynamiques qui soutiennent les rotors tournants à grandes vitesses. Dans ce papier, nous nous intéressons à l'étude aeroélastique d'un palier circulaire à structure à feuilles (aérodynamique) en régime permanent. La structure déformable se constitue de feuilles ondulées (bumps) fixées sur une feuille supérieure rigide qui forme avec le rotor et l'air un contact élasto-aérodynamique. Une modélisation numérique a été développée basée sur l'équation de Reynolds et un modèle exprimant les déformations élastiques des bumps en fonction de la pression aérodynamique, la géométrie des bumps et ses propriétés mécaniques. La résolution de ce problème qui est non-linéaire se fait par discrétisation différences finies avec l'utilisation de la méthode de Newton-Raphson. Les résultats montrent la distribution de la pression et le champ de hauteur du film ainsi que d'autres caractéristiques de l'interaction fluide-structure et du comportement aérodynamique du palier dus aux conditions de fonctionnement données.

Mots clefs : palier aérodynamique, aeroélastique, structure à feuilles, épaisseur du film, portance.

Abstract:

In recent decades, turbomachinery has known a special development with the aim of lightening rotating components of machinery and preserving the environment all for improving operating performances. The key elements in the turbomachinery are the air foil bearings that support rotors rotating at high speeds. In this paper, we are interested in the aero-elastic study of air foil bearing in stationary régime. The deformable structure contains a corrugated foils (bumps) fixed on a top-foil rigid which forms with rotor and air an elasto-aerodynamic contact. Numerical modeling was developed based on the Reynolds equation and an elastic deformation model of the bump depending on aerodynamic pressure, bump geometry and its mechanical properties. This problem non-linear is resolved using finite difference discretization and Newton-Raphson method. Finally, the calculations show the pressure distribution and field of film thickness as well as other fluid-structure interaction characteristics due to the functional conditions.

Keywords: air bearing, aero-elastic, foil structure, film thickness, charge capacity.

* Auteur correspondant: youcefamine82@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

Les préoccupations majeures que nous rencontrons dans la turbomachine se trouvent à la conception des éléments machine tournants à grandes vitesses qui servent à un fonctionnement stable et durable. Depuis, la première conception d'un palier à feuilles installé dans une machine tournante à grande vitesse, a vu le jour en 1969 [1]. Par la suite, on a introduit plusieurs types de paliers aérodynamiques à feuilles. Parmi ces paliers, il y a ceux à feuilles ondulées (bumps) qui semblent avoir été largement acceptés à cause de leur excellente performance [1]. Dans la littérature, des études ont été menées récemment sur les paliers aérodynamiques et particulièrement ceux à feuilles, dits aussi paliers compliants qui étaient d'un intérêt grandissant [2]. L'utilisation de l'air ambiant comme lubrifiant permet de réduire la puissance dissipée par frottement [3, 2] et de préserver l'environnement. En effet, les paliers aérodynamiques offrent beaucoup d'avantages que ceux hydrodynamiques classiques et ceux à roulements [1]. En contrepartie, ils ont une capacité de charge inférieure à celle des paliers hydrodynamiques [2].

En aéronautique, de nombreuses installations basées sur la turbomachine telles que ventilateurs, turbines et compresseurs, sont employés dans les systèmes ACM (Air Cycle Machines) [4]. Les systèmes de conditionnement d'air (Environmental Control System) servant à offrir un environnement sain et confortable pour l'équipage et les passagers dans les avions, sont guidés en rotation par des paliers et butées aérodynamiques. Vu que les rotors sont plus petits et plus légers pour des raisons de poids et d'encombrement, et que la vitesse de rotation est élevée, la turbomachine peut être de plus en plus performante pour des conditions de fonctionnement de plus en plus sévères [4]. En fait, la plupart des études n'ont pas mis en considération l'effet de friction entre les bumps et le fourreau rigide et aussi entre les bumps et la feuille supérieure [5].

Heshmat et al [6] ont effectué une multiple configuration analysant l'influence du choix de la géométrie des structures, et des paramètres opérationnels sur le comportement aérodynamique des paliers. Leur modélisation est basée sur l'équation de Walowit [6]. L'équation de Reynolds incompressible a été utilisée en supposant que le fluide s'écoulant entre la feuille supérieure et le rotor est bien l'air ambiant. Ils ont utilisé des solutions graphiques ou tabulées pour des gammes de géométries et de paramètres opérationnels donnés. Ils ont calculé la capacité de charge (portance aérodynamique) et le couple de frottement fluide en appliquant la méthode des différences finies (FDM). Ils en ont déduit que la stabilité du rotor tournant peut être gérée par les structures déformables qui jouent le rôle d'amortisseurs et de ressort, ainsi que cela sert à réduire le risque de mésalignement et permet de sélectionner la rigidité qui convient avec une bonne répartition des bumps.

Une étude menée par Carpino et Peng [7] visant les caractéristiques statiques des bumps dans les paliers aérodynamiques, en appliquant la méthode des éléments finis (EFM), a montré que les résultats obtenus par les deux méthodes EFM et DFM sont identiques. Ils ont calculé le coefficient d'amortissement équivalent à celui visqueux dérivé de l'équation de l'énergie dissipée. Une autre étude portant sur les caractéristiques statiques des paliers aérodynamiques, a été présentée par Khonsari et Peng [8]. Ils ont utilisé un profil de pression en direction axiale en tenant compte de la compressibilité du lubrifiant et de la compliance du palier. Afin de prédire la charge portante maximale, ils ont introduit un profil de hauteur minimale arbitraire de 11μ .

Swanson [9] a proposé un simple modèle du palier aérodynamique, qui remplace le bump par deux ressorts avec deux liens rigides. Il a mis en calculs une charge dépendante de la force de friction et a montré que cette approche a une bonne concordance avec données et résultats expérimentaux. Il est à noter que dans des études antérieures, la déformation de la feuille supérieure de la structure est ignorée en la considérant comme rigide [5].

Zywica et al [10] ont mené une étude ayant pour but de tester la compatibilité d'un modèle numérique qui analyse les caractéristiques statiques et dynamiques d'un palier aérodynamique à structure à feuille appelés aussi paliers compliants. Certains paramètres sont calculés en utilisant des résultats expérimentaux en considérant la géométrie des bumps et de la feuille supérieure comme irrégulière. Une simulation numérique basée sur la méthode des éléments finis a été employée afin de résoudre ce problème. Comme résultats, ce modèle permet d'optimiser le design de la structure et d'analyser le comportement aeroélastique du palier aérodynamique.

Une autre méthode de calcul basée sur des paramètres linéarisés du palier aérodynamique en utilisant des résultats expérimentaux, a été publiée par Hoffmann et al. [11]. En imposant un profil de pression couplé avec un modèle bidimensionnel et en considérant la structure non-linéaire (bump) comme deux ressorts liés (modèle link-spring), un modèle aeroélastique a été mis au point. Les résultats de calculs dépendent du chargement et de la friction pour chaque bump en incluant l'impact du jeu diamétral, de la structure linéaire et de celle non linéaire pour de très petites perturbations. Il a été montré que l'effet de la structure linéaire sur le contact est presque relativement négligeable, alors que le jeu diamétral a un effet important quant le chargement et la friction totale sont faibles. La comparaison avec des résultats expérimentaux montre qu'il y a une bonne corrélation avec ceux du modèle numérique [11]. Une étude expérimentale portant sur les paliers aérodynamiques à structures à feuilles avec différents jeux radiaux et diamètres du rotor a été effectuée. Hou et al. [12] ont trouvé que la stabilité du rotor peut être satisfaite dans une large gamme de jeux diamétraux. Ainsi, dans une gamme de vitesses de rotation très élevées jusqu'à 90000 tr/min, le jeu diamétral optimal peut être défini. Le jeu diamétral est pris à partir de 0 et l'amplitude synchrone maximale est prise moins de 20 μm . Leurs résultats montrent que la pression dynamique offre une capacité de charge suffisante avec un fonctionnement stable du rotor, ainsi que l'effet des changements du jeu diamétral sur les bumps et sur le comportement du palier est très considérable [12].

Paouris et al. [13] ont étudié la relation entre la géométrie de la feuille supérieure et les bumps, la charge portante du palier et l'épaisseur du film d'air dans le cas des paliers aérodynamiques fonctionnant en régime stationnaire (ou chargement statique). La méthode des éléments finis a été utilisée pour résoudre le problème et analyser le comportement aeroélastique du palier aérodynamique. Les déformations élastiques de la feuille supérieure et des bumps, le champ de pression et la charge portante pour différentes géométries ont été calculés [13].

Ce papier présente une modélisation numérique analysant le comportement aeroélastique d'un palier aérodynamique à feuilles. La structure contient un nombre défini de bumps déformables et sa feuille supérieure est considérée comme rigide afin de simplifier le modèle (figure 1). Nous avons choisi d'étudier un palier de longueur finie (rapport longueur/ diamètre égale à 1) ce qui veut dire que l'équation de Reynolds s'écrit en deux dimensions ; axiale selon la longueur du palier et circonférentielle en développant le palier de 0 à 2π .

L'objectif de notre étude est d'analyser l'influence du choix des matériaux ou des épaisseurs des bumps sur le comportement aeroélastique du palier en utilisant un modèle simplifié. Le problème à modéliser est non-linéaire et traite le cas d'un palier aérodynamique en régime stationnaire (ou permanent) en introduisant le modèle élastique d'Heshmat. Dans ce modèle, le rotor est supposé rigide et les forces de friction dans la structure déformable sont supposées négligeables. D'autre part, nous avons choisi de ne pas prendre en compte l'effet des rugosités des surfaces, puisque nous n'aborderons pas les problèmes de contacts secs (phase arrêt et démarrage). Autrement dit, notre étude porte sur le comportement aeroélastique des paliers lorsque le film d'air est déjà formé pleinement entre le rotor et la feuille supérieure.

La discrétisation par différences finies et la méthode de Newton-Raphson sont utilisées pour la résolution du problème. Nous pouvons calculer le champ de pression, de déplacement (déformation de bumps) et les caractéristiques statiques du palier. L'influence du choix de l'épaisseur des bumps et du nombre de bumps constituant la structure, sur les déformations élastiques et la pression maximale d'air, sera aussi présentée graphiquement.

2. FILM D'AIR

Le fluide lubrifiant qui est bien l'air ambiant se caractérise par son nombre de compressibilité dépendant de sa viscosité dynamique, la vitesse de rotation du rotor et le jeu entre le rotor et la feuille supérieure. L'air est considéré comme isotherme, visqueux et laminaire. Le circuit de lubrification par air ambiant permet de simplifier fortement la conception de la machine ce qui signifie que la machine n'a pas besoin d'une source d'air comprimé pour y être injecté en tant que lubrifiant. La viscosité de l'air permet de limiter les puissances dissipées à cause du faible frottement ainsi qu'elle est peu sensible à l'élévation de température. De plus, l'air perdu garde ses propriétés et l'usure en fonctionnement est quasi inexistante [4]. La figure 1 montre le palier aérodynamique à structure à feuilles (technologie MITI) choisi pour l'étude.

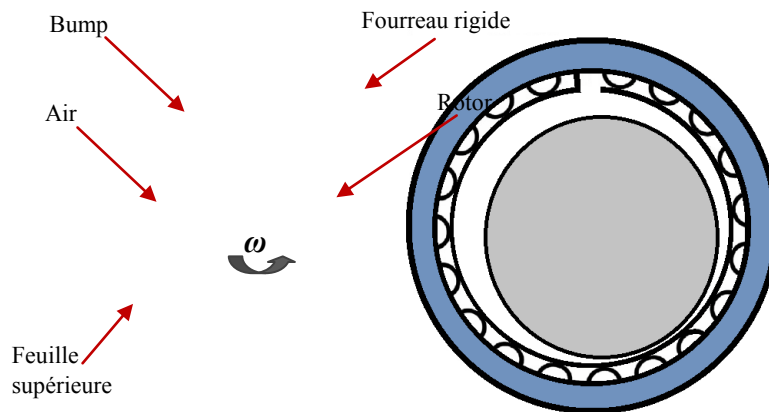


Figure 1. Palier aérodynamique à structure à feuilles (technologie MITI)

3. DESCRIPTION DU MODELE

Le palier que nous avons choisi dans notre étude, appartient aux types de la technologie MITI, utilisés abondamment dans la turbomachine. Il paraît que l'étude de ce type de paliers est beaucoup plus complexe que celle d'autres types (paliers à ressort et paliers à patins par exemple), dans la mesure de tenir compte des déformations survenant en fonctionnement. Pourtant, les modèles employés pour les problèmes de structures déformables sont généralement plus simples que ceux employés pour d'autres technologies [3].

Dans notre étude, le coussinet est constitué d'une feuille supérieure rigide fixée sur des feuilles ondulées. Le rotor forme avec le coussinet un film d'air, en fonctionnement (figure 2). Le principe de fonctionnement dans le cas du régime stationnaire est bien le rotor tournant à une vitesse constante, génère un champ de pression et un champ de hauteur du film d'air. Ce champ crée des déformations au niveau des feuilles ondulées ce qui modifie le champ de hauteur, donc modifie encore le champ de pression. Par conséquent, le rotor doit changer de position en même temps et ainsi de suite. Le chargement dans ce cas est statique, c'est-à-dire qu'il n'y a que le rotor qui applique par son poids une charge statique verticale.



Figure 2 : Schéma du modèle étudié

3.1 Equations du problème

En fonctionnement, l'épaisseur du film d'air est très faible devant ses autres dimensions, ce qui signifie que nous sommes dans le domaine de la mécanique des films minces visqueux.

L'air est un fluide visqueux, laminaire et isotherme. Le régime stationnaire est obtenu après stabilisation du rotor mis en marche. Il s'agit donc de déterminer la hauteur minimale du film (l'épaisseur minimale du film) d'air et calculer la capacité de charge aérodynamique, ainsi que le champ de pression d'air que subissent les bumps. Le champ de pression et de hauteur du film se calculent en résolvant l'équation de Reynolds déduite des équations fondamentales de la mécanique des milieux continus pour un fluide Newtonien [4]. Dans un repère Eulérien, en appliquant le principe de conservation de la masse et la loi fondamentale de la dynamique. Le principe de conservation de la masse :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u}) = 0 \dots\dots\dots(1)$$

La loi fondamentale de la dynamique pour un fluide Newtonien :

$$\rho \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = \rho f_i + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} \dots\dots\dots(2)$$

La loi du comportement Newtonien :

$$\sigma_{ij} = (-p + \lambda \theta^*) \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} \dots\dots\dots(3)$$

L'équation de Reynolds peut être simplifiée dans le cas des paliers aérodynamiques en supposant que le milieu est continu et l'écoulement de l'air est laminaire. Les forces massiques et celles d'inertie sont négligeables. La courbure dépendant de la géométrie du palier développé et le glissement entre l'air et les parois sont négligés. Quant au fluide lubrifiant, il est considéré comme gaz parfait et isotherme avec un écoulement iso-visqueux. Finalement, la viscosité ne varie pas suivant l'épaisseur du film qui est très faible devant la longueur et la largeur du contact. L'équation de Reynolds simplifiée sous forme adimensionnée dans des coordonnées cylindriques: s'écrit comme suit:

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \left(PH^3 \frac{\partial P}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial Z} \left(PH^3 \frac{\partial P}{\partial Z} \right) - \Lambda \left(\frac{\partial(PH)}{\partial \theta} \right) = 0 \dots\dots\dots(4)$$

Avec : Λ est le nombre de compressibilité :

$$\Lambda = \frac{6 \mu_D \omega}{P_{amb}} \left(\frac{R_r}{C_c} \right)^2$$

D'où : μ_D viscosité dynamique de l'air, ω vitesse de rotation du rotor, P_{amb} pression ambiante, R_r rayon du rotor et C_c jeu radial d'assemblage.

Les variables adimensionnées sont :

$$P = \frac{p}{P_{amb}}, H = \frac{h}{C_c}, Z = \frac{z}{R_r}.$$

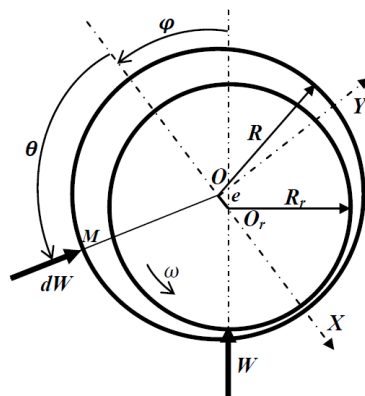


Figure 3 : Forces appliqués dans le film d'air

L'épaisseur du film adimensionnée d'après la géométrie du palier en tenant compte des déformations élastiques des bumps, s'écrit comme suit :

$$H = 1 + \varepsilon \cos \theta + U \dots\dots\dots(5)$$

Avec ε est l'excentricité relative du rotor e/C_c et U est l'expression des déformations élastique radiales adimensionnés des bumps dues au champ de pression aérodynamique.

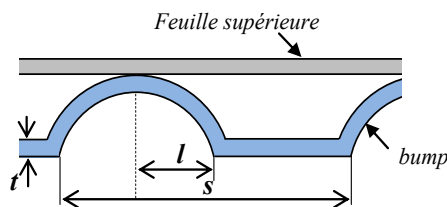


Figure 4. Géométrie des bumps

Le modèle de Heshmat permet de prendre en compte les dimensions du bump, module de Young, coefficient de Poisson et le coefficient de compliance du matériau constituant les bumps [6]. Par ailleurs, la rigidité de la structure est considérée comme répartie uniformément sur toute la surface du palier. De plus, nous pouvons noter que le champ de déformation des bumps est en fonction de la différence du champ de pression aérodynamique avec la pression ambiante $(p - p_{amb})$, écrit sous forme adimensionnée [3], [6] et [10] :

$$U = \alpha (P - 1)$$

Avec : α est le coefficient de compliance des bumps (figure 2) [6]:

$$\alpha = \frac{2p_{amb}s}{C_c E} \left(\frac{l}{t_b} \right)^3 (1 - \nu^2) \dots\dots\dots(6)$$

Les déformations élastiques de la structure à feuilles se produisent à cause des effets de la pression aérodynamique. En se basant sur le fait que les déformations élastiques dépendent de la pression aérodynamique, nous pouvons utiliser l'hypothèse qui dit que la déformation en un point ne dépend que de la pression en ce point. Le choix d'utiliser cette hypothèse est bien convenable dans le cas des structures à feuilles ondulées souvent employées dans les applications industrielles [6].

La résolution de l'équation (4) ne peut être effectuée par voies analytiques et vu que la géométrie du palier après développement devient simple et facile à être discrétisée, l'équation peut être résolue numériquement par différences finies. Pour un système non-linéaire que donne l'approximation différences finies centrées, il est recommandé d'utiliser la méthode de Newton-Raphson pour le résoudre.

Conditions aux limites

De façon générale, nous pouvons imposer des pressions égales à la pression ambiante dans les deux extrêmes du palier aérodynamique : $z = 0$ et $z = L$. Quant à la circonférence du palier, trois types de conditions aux limites peuvent être admises :

- Conditions de Sommerfeld suppose que le fluide est continue et la pression prend toujours des valeurs positives.
- Conditions de Reynolds considère que le débit de lubrifiant est continu et que dans un point donné en circonférence la pression s'annule.
- Conditions de Gumbel considère que le fluide peut être discontinu et que les valeurs de pressions négatives doivent être remises à zéros.

Dans notre cas, lorsque la pression d'alimentation est supposée égale à celle ambiante, les valeurs de la pression qui sont inférieures à cette dernière c'est-à-dire $P < 1$, doivent être remises à la pression ambiante elle-même, ou $P \rightarrow 1$. Par conséquent, ceci nous conduit à choisir les conditions de Gumbel.

3.2 Interaction fluide-structure

L'interaction fluide-structure s'effectue en prenant en compte les déformations élastiques dépendant de la pression, dans la résolution de l'équation de Reynolds. De ce fait, nous devons nous initier par un champ de hauteur sans déformation, qui lui-même détermine le champ de pression s'appliquant sur les bumps tout en modifiant de nouveau le champ de hauteur. Par ce dernier, nous recalculons le champ de pression et ainsi de suite, jusqu'à avoir convergence des déformations. Cette interaction se réalise distinctement par la mise au point de deux boucles, l'une pour calculer le champ de pression et l'autre pour le champ de hauteur.

3.3 Méthode de résolution du problème

Afin d'appliquer la discrétisation par différences finies centrées, le palier doit être développé dans le sens axial. Le maillage peut se faire simplement et régulièrement bien que la géométrie du film d'air soit peu complexe. Les variables s'écrivent donc sous la forme suivante :

$$\theta = i \cdot \Delta\theta \text{ et } Z = j \cdot \Delta Z$$

Avec : $\Delta\theta = 2\pi/N - 1$ et $\Delta Z = L/R_r(M - 1)$

Après discrétisation dans un point (i, j) , l'équation de Reynolds (4) peut s'écrire sous la forme suivante:

$$f_{i,j}(P_{i-1,j}, P_{i,j-1}, P_{i,j}, P_{i+1,j}, P_{i,j+1}) = 0$$

avec :

$$\begin{aligned} f_{i,j} = & H_{i,j}^3 \frac{(P_{i+1,j} - P_{i-1,j})^2}{4\Delta\theta^2} \\ & + 3P_{i,j} H_{i,j}^2 \frac{(H_{i+1,j} - H_{i-1,j})(P_{i+1,j} - P_{i-1,j})}{4\Delta\theta^2} \\ & + P_{i,j} H_{i,j}^3 \frac{(P_{i+1,j} - 2P_{i,j} + P_{i-1,j})}{\Delta\theta^2} \\ & + \left(\frac{D}{L}\right)^2 H_{i,j}^3 \frac{(P_{i,j+1} - P_{i,j-1})^2}{4\Delta Z^2} \\ & + 3P_{i,j} H_{i,j}^2 \left(\frac{D}{L}\right)^2 \frac{(H_{i,j+1} - H_{i,j-1})(P_{i,j+1} - P_{i,j-1})}{4\Delta Z^2} \\ & + P_{i,j} H_{i,j}^3 \left(\frac{D}{L}\right)^2 \frac{P_{i,j+1} - 2P_{i,j} + P_{i,j-1}}{\Delta Z^2} \\ & - \Lambda P_{i,j} \frac{H_{i+1,j} - H_{i-1,j}}{2\Delta\theta} - \Lambda H_{i,j} \frac{P_{i+1,j} - P_{i-1,j}}{2\Delta\theta} \end{aligned} \tag{8}$$

En tenant compte des conditions aux limites de la pression, le système obtenu doit contenir $(N-2) \times (M-2)$ équations.

Au voisinage des pressions P nous supposons les petites variations δP et nous pouvons développer les fonctions $f_{i,j}$ en série de Taylor. L'expression (8) peut s'écrire comme suite [12]:

$$f_{i,j}(P + \delta P) - f_{i,j}(P) = \sum_{k=1}^{(N-2)(M-2)} \frac{\partial f_{i,j}}{\partial P_k} \delta P_k + o(\delta P^2) \dots \dots \dots (9)$$

Nous pouvons écrire ce développement sous la forme matricielle suivante:

$$[J]\delta P = -[f] \dots \dots \dots (10)$$

avec $[J]$ est la matrice Jacobienne :

$$J_{i,j,k} = \frac{\partial f_{i,j}}{\partial P_k}$$

Ce système matriciel peut se résoudre par la méthode de Gauss. Chaque vecteur δP obtenu est alors ajouté au vecteur de pression : $P^{l+1} = P^l + \delta P$. Le test de convergence de ce système se fait par la condition suivante :

$$Erreur = \max_k \left| \frac{P_k^{l+1} - P_k^l}{P_k^l} \right| \leq tolerance$$

3.4 Algorithme de calcul

La figure 5 montre l' algorithme d'interaction fluide-structure.

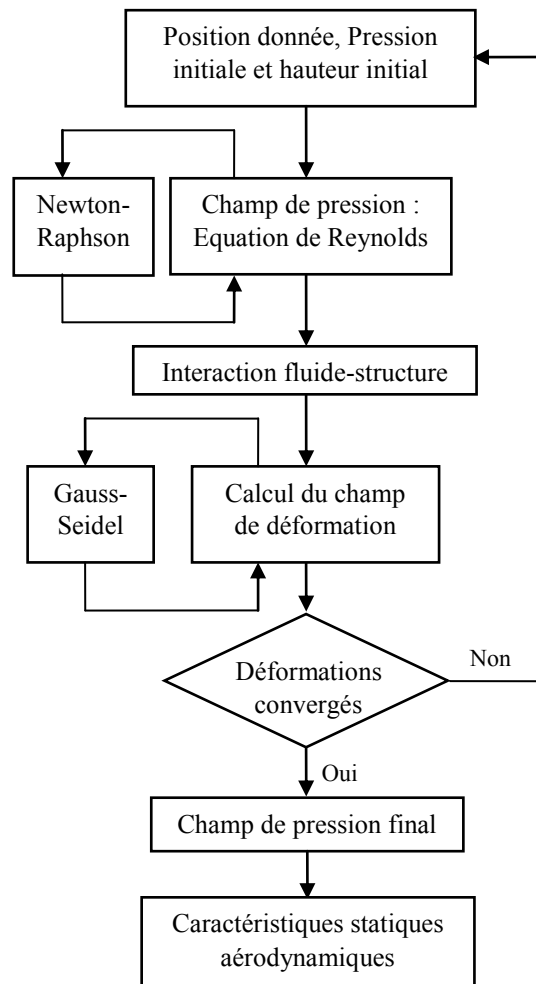


Figure 5 : Algorithme d'interaction fluide-structure

Dans une position d'équilibre donnée ε_0 et un champ de pression initiale P_0 avec un champ de hauteur sans déformation ($U = 0$), le calcul du champ de pression aérodynamique adimensionnée P se fait tout en remplaçant l'expression du film d'air (5), dans l'équation (6). A partir du nouveau champ de

pression obtenu, nous recalculons à nouveau le champ de hauteur modifié H . Ce dernier se remplace à nouveau dans l'équation (8) pour qu'un nouveau champ de pression se recalcule et ainsi de suite, jusqu'à convergence des résultats (figure 5).

En ce qui concerne la validation de ce modèle, nous pouvons assurer sa compatibilité avec d'autres modèles en se basant sur les calculs d'un palier rigide ($\alpha = 0$). A partir de ce dernier, nous pouvons nous assurer que l'algorithme de calculs soit bien approprié.

4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les caractéristiques géométriques du palier étudié sont mentionnées sur le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques géométriques du palier étudié.

Longueur L	$50 \times 10^{-3} \text{ m}$
Rayon R_r	$25 \times 10^{-3} \text{ m}$
Jeu radial C_c	$40 \times 10^{-6} \text{ m}$
Epaisseur des bumps t_b	$0.1 \times 10^{-3} \text{ m}$
Rayon des bumps l	$1.125 \times 10^{-3} \text{ m}$
Pas des bumps s	$3.17 \times 10^{-3} \text{ m}$
Modul de Young E	$214 \times 10^9 \text{ Pa}$ - Inconel X-750 $60 \times 10^9 \text{ Pa}$ -Aluminium
Coefficient de Poisson ν	0.29

4.1 Pression aérodynamique

La distribution de la pression aérodynamique obtenue par intégration de l'équation de Reynolds (figure 6) illustre la zone des valeurs maximales dite active et une autre prenant les valeurs égales à 1 ce qui signifie qu'elles sont égales à la pression ambiante d'après les conditions aux limites. Nous pouvons constater que les valeurs maximales de la pression sont en demi-longueur du palier ($L/2$). Cette zone de concentration de forces aérodynamiques créées par l'appui du rotor sur la structure déformable, nous intéresse à l'étude du comportement aérodynamique des paliers à air, vu qu'elle se caractérise par l'épaisseur du film minimale, pression maximale et déformation maximale des bumps.

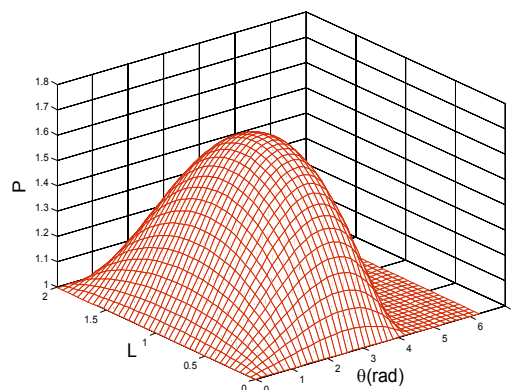


Figure 6. Champ de pression aérodynamique adimensionnée ; $L/D=1$, $\varepsilon=0.6$, $\alpha=1$, $\Lambda=1$.

La figure 7.a montre le profil de la pression de la moitié du palier ($L/D=1$), pour une excentricité relative $\varepsilon=0.6$ et un nombre de compressibilité $\Lambda=2$ avec trois valeurs de compliance $\alpha=(0, 1, 1.5)$.

Nous constatons premièrement que la pression augmente de façon considérable avec l'augmentation du nombre de compressibilité et surtout pour un palier rigide. Aussi, il y a une marge importante entre pression maximale pour $\alpha=0$ et celle pour $\alpha=(1, 1.5)$, ce qui explique l'influence de la structure élastique sur le contact aérodynamique. Ainsi, comme il a été expliqué auparavant, augmenter la compliance implique que la pression aérodynamique diminue.

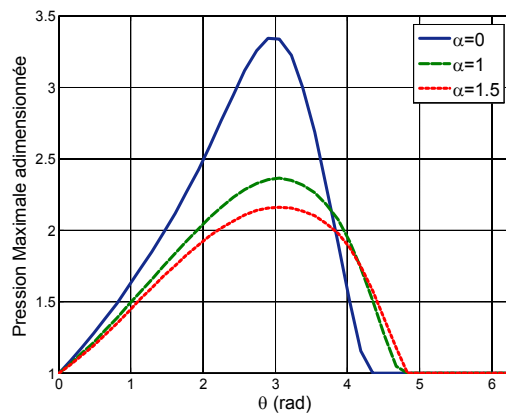


Figure 7.a. Pression maximale en demi-longueur du palier ; $\varepsilon = 0.6$, $\Lambda = 2$.

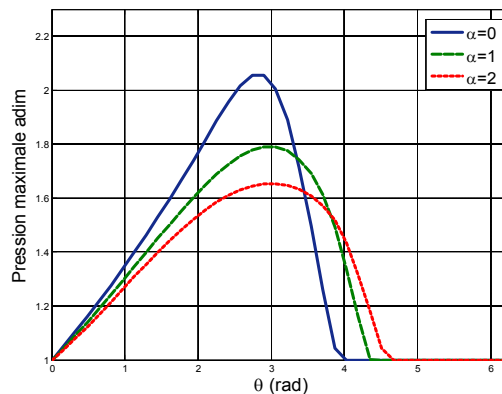


Figure 7.b. Pression maximale en demi-longueur du palier ; $\varepsilon = 0.6$, $\Lambda = 1$.

Dans la figure 7.b pour $\Lambda=1$, $\varepsilon=0.6$ et $\alpha=(0, 1, 2)$, les valeurs de pression prennent des valeurs inférieures à celle pour $\Lambda=2$ et surtout pour le palier rigide. Nous constatons aussi que les valeurs de pression diminuent en augmentant la compliance. La coordonnée cylindrique qui sépare les deux zones, prend des valeurs différentes très proches et est obtenue par la remise des valeurs $P_{i,j} < 1$ à des valeurs $P_{i,j} = 1$. De ce fait, le nombre de compressibilité et la compliance semblent pouvoir jouer un rôle important comme étant des paramètres d'optimisation du fonctionnement des paliers via ce modèle.

4.2. Epaisseur du film d'air

L'un des caractéristiques principales dans les contacts aérodynamiques est bien l'épaisseur du film lubrifiant qui permet de mieux comprendre et étudier les comportements aeroélastique en statique (comme dans notre cas) et aeroélastique en dynamique des paliers à structure à feuilles. Ainsi, une comparaison entre épaisseur du film dans un palier à air rigide et un autre à feuilles sera présentée.

Une présentation en deux dimensions (θ, Z) du champ de l'épaisseur du film pour un palier rigide et un autre à feuilles est montrée dans la figure 8 et 9. Pour le palier à feuilles ($L/D = 1$), avec $\varepsilon = 0.6$, $\Lambda = 1$ et $\alpha = 1$, le champ de hauteur du film montre clairement une déformation vers le haut dans la zone active qui prend des valeurs maximales en demi longueur ($L/2$), donc un champ de hauteur plus élevé. En revanche, pour $\alpha = 0$, la figure 9 nous montre comment le champ de hauteur sans déformations doit se manifester. Ces modifications des champs de hauteur dans les paliers à feuilles ont un lien direct avec le chargement statique que fait le rotor tournant. Autrement dit, c'est bien le champ de pression qui provoque ces modifications du champ de hauteur.

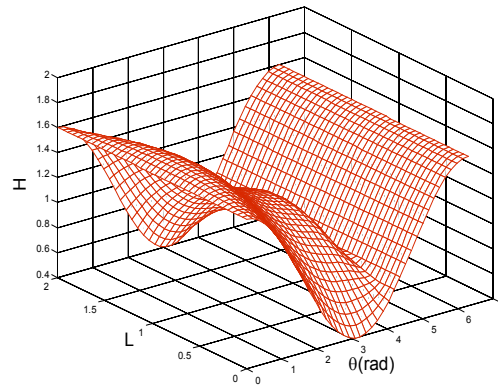


Figure 8. Champ de hauteur adimensionnée ; $L/D = 1$, $\varepsilon = 0.6$, $\alpha = 1$, $\Lambda = 1$.

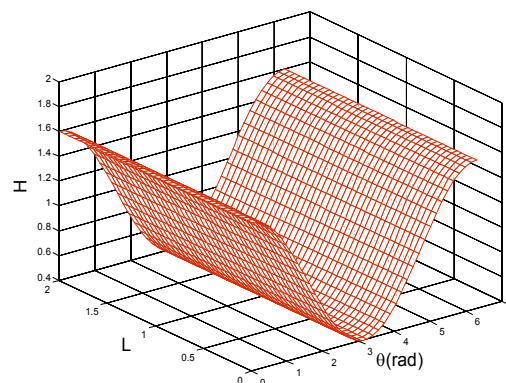


Figure 9. Champ de hauteur adimensionnée ; $L/D = 1$, $\varepsilon = 0.6$, $\alpha = 0$, $\Lambda = 1$.

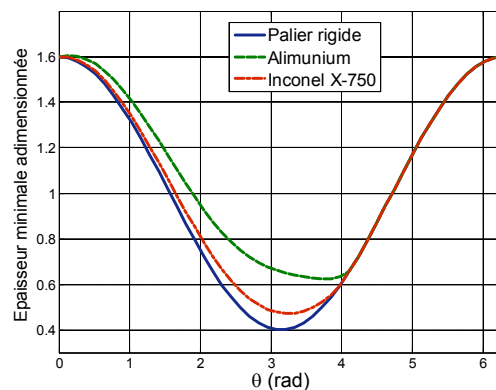


Figure 10: Influence du choix du matériau sur l'épaisseur du film d'air; demi-longueur du palier ; $\varepsilon = 0.6$, $\Lambda = 1$.

La figure 10 représente le profil de l'épaisseur minimale du film d'air développé en demi-longueur du palier pour $\alpha = 0$ et deux différentes compliances (structures en : Aluminium et Inconel X-750) à une position d'équilibre donnée par $\varepsilon = 0.6$ et $\Lambda = 1$. Il est évident que l'épaisseur du film d'air prend des valeurs de plus en plus grandes avec l'augmentation de la compliancance surtout pour la structure à base d'Aluminium ayant une épaisseur plus grande. Par ailleurs, nous constatons que les différences entre les épaisseurs minimales du film pour les trois cas sont situées seulement dans la zone active. Nous pouvons faire rappel aux conditions de Gumbel qui signifie que les dépressions éventuelles dans la zone non-active reviennent à la pression ambiante.

4.3. Déformation des bumps

Comme la géométrie des bumps pourrait influencer le comportement aeroélastique du palier, nous nous sommes proposés de présenter les valeurs de déformations maximales en faisant varier l'épaisseur t_b . Dans la figure 11, nous constatons que pour des épaisseurs entre 1.7 et 3.3, les déformations maximales ont presque les mêmes valeurs pour bumps en Aluminium et Inconel X-750, alors que pour des épaisseurs entre 0.5 et 1.3, les déformations augmentent en diminuant l'épaisseur. Pour une épaisseur très petite $t_b = 0.5$, les feuilles sont très minces et sensibles au chargement aérodynamique. D'autre part, il y a une grande différence entre le cas de bumps en Aluminium et ceux en Inconel X-750.

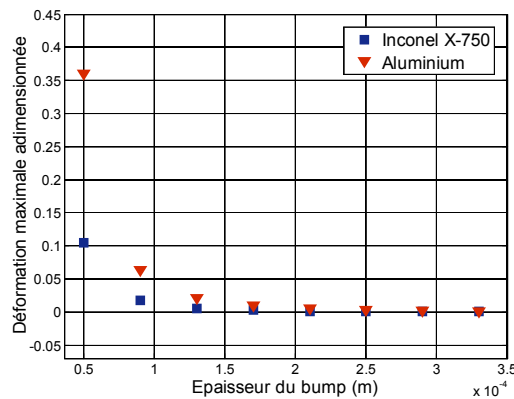


Figure 11. Déformation maximale en fonction de l'épaisseur du bump; $L/D = 1$, $\varepsilon = 0.6$, $\omega = 40000$ tr/min.

La figure 12 montre qu'en augmentant la vitesse de rotation à 60000 tr/min, les déformations maximales prennent des valeurs plus grandes par rapport à celles pour 40000 tr/min surtout pour bumps en Aluminium. Comme dans la figure 9 les déformations sont presque identiques pour des épaisseurs entre 1.7 et 3.3. De ce fait, nous pouvons en dire que mettre en considération un tel choix du matériau de bumps et de l'épaisseur, peut aider à une conception pratique, facile et légère via un modèle relativement simple. Il a été noté que la vitesse de rotation du rotor a un effet considérable dans l'aéroélasticité des paliers aérodynamiques.

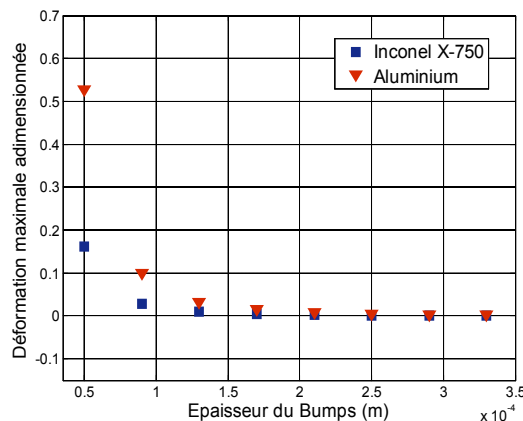


Figure 12. Déformation maximale en fonction de l'épaisseur du bump; $L/D = 1$, $\varepsilon = 0.6$, $\omega = 60000$ tr/min.

De la même façon, nous avons présenté les variations des déformations maximales pour différentes valeurs de la vitesse de rotation (figure 13).

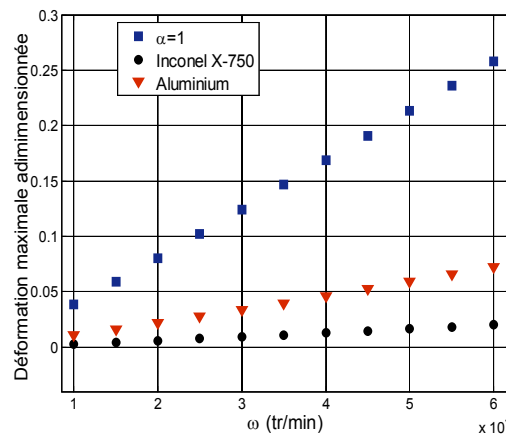


Figure 13. Déformation maximale en fonction de la vitesse de rotation du rotor; $L/D=1$, $\varepsilon=0.6$

Nous constatons que pour des vitesses de plus en plus grandes, les déformations tendent vers des valeurs de plus en plus grandes. Ainsi, les déformations prennent des valeurs plus grandes pour les bumps en aluminium que pour ceux en Inconel X-750. Pour la compliance $\alpha=1$ et des vitesses très grandes, proviennent clairement des valeurs de déformation très élevées, ce qui modifie fortement l'épaisseur du film d'air.

4.4 Portance aérodynamique

La figure 14 montre la variation de la charge portante adimensionnée que peut supporter le palier, pour quelques valeurs de la vitesse de rotation. Nous constatons que la charge prend des valeurs très proches pour différentes compliances ($\alpha=1$, aluminium et Inconel X-750). Autrement dit, en termes de chargement statique dans les paliers à air le choix du matériau de la structure déformable n'a une influence significative qu'avec un régime de fonctionnement sévère caractérisé par la position d'équilibre ε , obtenue par imposer une charge statique radiale.

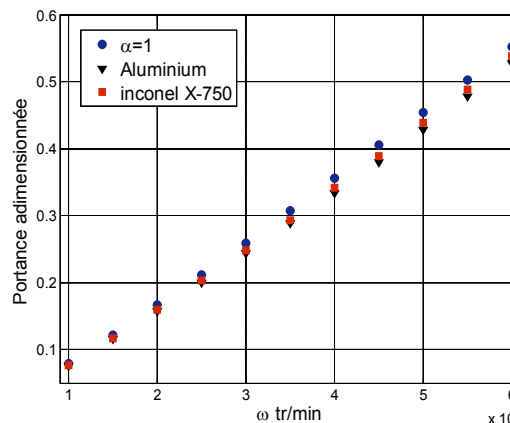


Figure 14. Charge portante en fonction de la vitesse de rotation du rotor; $L/D=1$, $\varepsilon=0.6$

Afin de bien illustrer ce qui précède concernant la figure 14, nous avons tracé dans la figure 15 des courbes de la charge portante en fonction de la compliance α . Lorsque notre travail est consacré à l'étude statique du comportement aérodynamique, nous avons calculé la charge portante pour quelques positions que peut prendre le rotor en faisant varier la compliance de 0.1 à 2.5. Par conséquent, nous pouvons noter que l'influence de la compliance n'est beaucoup plus significative que pour $\varepsilon=0.6$; sachant que l'excentricité relative peut nous indiquer la nature du chargement s'il est grand, moyen ou faible dans la zone du convergent.

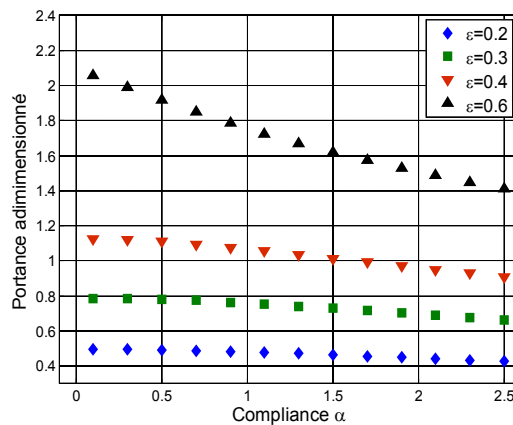


Figure 15. Charge portante en fonction du coefficient de compliance; $L/D=1$, $\Lambda=1$.

4.5. Nombre de bumps

D’après le model de Heshmat, il nous semble intéressant de voir l’influence du choix de la géométrie globale de la structure mince déformable définie par le nombre de bumps.

A cet effet, dans la figure 16, nous avons calculé la pression maximale adimensionnée pour quelques nombres de bumps choisis (29, 32, 34, 36, 38 et 41) tout en tenant compte des géométries de bumps qui conviennent à la dimension globale de la structure. Il est clair que plus le nombre est grand plus la pression maximale augmente, ce qui peut être expliqué par le fait que la structure devienne plus rigide avec des déformations de plus en plus faibles.

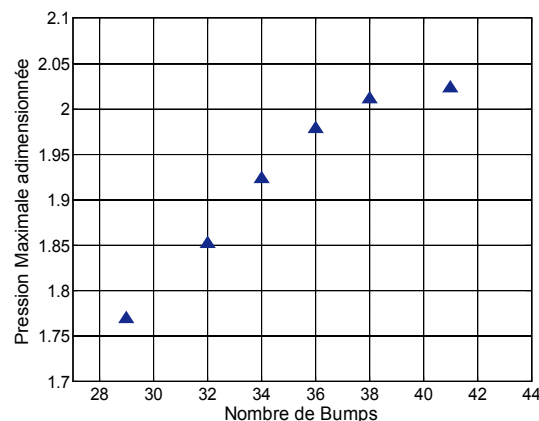


Figure 16 : Pression maximale en fonction du nombre de bumps; $L/D=1$, $\epsilon=0.6$, $\Lambda=1$.

5. CONCLUSION

Nous avons employé un modèle relativement simplifié, développé par Heshmat qui traite le problème aeroélastique d’un palier à feuilles en régime stationnaire afin de pouvoir étudier et analyser l’influence du choix de la structure à feuilles en termes de sa géométrie (épaisseur et nombre de bumps) ainsi que le coefficient de compliance dépendant du module de Young du matériau. Ce modèle est basé sur la résolution de l’équation de Reynolds avec l’épaisseur du film d’air modifiée. La résolution a été effectuée en utilisant la discrétisation par différences finies avec l’application de la méthode de Newton Raphson.

Les résultats ont montré le champ de pression et de hauteur du film pour le cas d’un palier rigide et celui à feuilles. Nous avons aussi vu l’influence du choix de l’épaisseur et du matériau des bumps sur le comportement aérodynamique des paliers. La vitesse de rotation est un paramètre important dans l’aérodynamique et est choisie dans des gammes de valeurs très élevées.

Finalement, tirant profit de ce modèle, bien qu'il soit simplifié nous pouvons dire qu'il est bien flexible et applicable pour une vaste analyse aéroélastique des paliers aérodynamiques. Il permet aussi d'inclure différentes conditions de fonctionnement et de changer la géométrie de la structure souple.

REFERENCES

- [1] Feng K, Kaneko S, 2010. Analytical Model of Bump-Type Foil Bearings Using a Link-Spring Structure and a Finite-Element Shell Model. *Journal of tribology*, Vol. 132 (021706): 1-11.
- [2] Iordanoff I, Bousaid B, Meziane A, Berthier Y, 2008 : Effect of internal friction in the dynamic behavior of aerodynamic foil bearings. *Tribology international*, Vol. 41, 387-395.
- [3]. Andrés L. S, Kim T. H, 2008: Analysis of gas foil bearings integrating FE top foil models. *Tribology International*, Vol. 42, 111-120.
- [4]. Barzem L, Bousaid B., Rocchi J, 2009 : Etude d'un palier aéroélastique en régime permanent. 19ème Congrès Français de Mécanique Marseille, 24-28 août.
- [5] Lee Y.B, Park D.J, Kim C.H, Kim S.J, 2008: Operating characteristics of the bump foil journal bearings with top foil bending phenomenon and correlation among bump foils. *Tribology International*, Vol. 41, 221–233.
- [6]. Heshmat H, Walowit J.A Pinkus O, 1983: Analysis of Gas Lubricated Foil Journal Bearings, *Journal of Lubrication Technology*, Vol 105, 647.
- [7] Peng J.P, Carpino M, 1994: Coulomb Friction Damping Effects in Elastically Supported Gas Foil Bearings. *Tribology Transactions*, Vol. 37(1): 91–8.
- [8]. Kim T.H, Andrés L.S, 2008: Heavily Loaded Gas Foil Bearings: A Model Anchored to Test Data. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, Vol. 130 (012504) :1-8.
- [9] Swanson E. E, 2006 : Bump Foil Damping Using a Simplified Model. *Transactions of the ASME, Journal of Tribology*, Vol. 128: 542– 550.
- [10] Zywica G, Kicinski J, Baginski P, 2016: The Static and Dynamic Numerical Analysis of the Foil Bearing Structure. *Journal of Vibration Engineering and Technologies*, Vol. 4(3): 213 – 220.
- [11] Hoffmann R, Munz O, Pronobis T, Barth E, Liebich R, 2016: A valid method of gas foil bearing parameter estimation: A model anchored on experimental data. *Journal of Mechanical Engineering Science*, Vol.0(0):1-18.
- [12]. Hou Y, Ma1 B, Yang S, Chen X, Zheng Y, Chen S, 2015: Experimental study on bump-foil gas bearing with different diametric clearance configurations. *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 29 (5) : 2089 - 2095.
- [13]. Paouris L.I, Bompos D.A, Nikolakopoulos P.G, 2013: Simulation of static performance of air foil bearings using coupled fem and CFD techniques. *Proceedings of ASME Turbo Expo 2013: Turbine Technical Conference and Exposition, GT2013*, June 3-7, 2013, San Antonio, Texas, USA.

NOMENCLATURE

C_c	Jeu radial du palier compliant (m)
D	Diamètre du palier (m)
E	Module de Young (Pa)
e	Excentricité du rotor (m)
$f_{i,j}$	Equation de Reynolds discrétisée par différences finies
f_i	Forces volumiques
h	Epaisseur du film d'air (m)
H	Epaisseur du film adimensionnée
J	Matrice Jacobéenne
L	Longueur du palier (m)
l	Rayon du bump (m)
p	Pression aérodynamique (Pa)
P_{amb}	Pression ambiante
P	Pression aérodynamique adimensionnée
P_0	Pression initiale de calcul itératif
R_r	Rayon du rotor (m)
s	Pas des bumps (m)
t_b	Epaisseur du bump (m)
U	Déformations élastiques adimensionnées des bumps
u_i	Vitesses des particules fluide
V	Vitesse de rotation du rotor m/s
W	Portance aérodynamique adimensionnée
x	Coordonnée circonférentielle
x_i	Positions des particules fluide
z	Coordonnée axiale
Z	Coordonnée axiale adimensionnée
α	Compliance des bumps
θ	Coordonnée circonférentielle angulaire
θ^*	Taux de dilatation cubique
λ, μ	Coefficients de lamé
δ_{ij}	Symbole de Kronecher
σ_{ij}	Tenseur des contraintes
ν	Coefficient de Poisson
μ_D	Viscosité dynamique de l'air (Pa.s)
ε	Excentricité relative du rotor
ε_0	Excentricité relative initiale du rotor
ε_{ij}	Tenseur de déformation
Λ	Nombre de compressibilité
ω	Vitesse angulaire de rotation (Rad)

Modélisation numérique bidimensionnelle de l'effet de chargements des revêtements de tunnels circulaire et non circulaire en présence d'écoulement

Two-dimensional numerical modeling of the loading effect on circular and non-circular tunnel coverings in the presence of flow

Said Kechida^{*1,3}, Farid Bouchelghoum², Fares Laouacheria³ & Hocine Amarchi³

¹Laboratoire de recherche sols et hydraulique, université badji mokhtar, bp 12, annaba, 23000, Algérie.

²Office national d'assainissement Sétif.

³Département d'hydraulique, Université Badji Mokhtar, BP 12, Annaba, 23000, Algérie.

Soumis le : 18/09/2017

Révisé le : 30/05/2018

Accepté le : 04/06/2018

ملخص

تعتبر دراسات الحمولات المختلفة على دعم الأنفاق، وأثار تدفق المياه ذات أهمية نظرية وتطبيقية كبيرة ولكن هذا النوع من الدراسات لم يولى الأهمية المناسبة نظراً لتعقيدها خاصة في الأوضاع الهيدروميكانية المقترنة التي تتطلب مدة حسابية طويلة. في هذا العمل، سوف نقوم بدراسة إمكانية أخذ بعين الاعتبار دور المياه وتأثيره في نهج مبسط المتمثل في الحسابات الميكانيكية الكلاسيكية. ومع ذلك، فإن انتهاج الفصل يتميز بغاية البساطة في التنفيذ. ويسمح هذا المنهج، إذا كنا نفترض حساب في المجال الهرن في تحليل أولي، من الظواهر المعقدة، مثل إعادة توزيع الإجهاد على بطانة النفق في وقت الإصلاح الجزئي للنفق. لذلك، نقدم دراسة رقمية لتأثير تدفق المياه على نفق بشكل دائري باستخدام Flac2D و Flac3D. وتبين هذه الدراسة أن النمذجة الرقمية تسمح بتوفير عناصر من التفكير مثيرة للاهتمام.

الكلمات المفتاحية: النمذجة الرقمية - Flac3D - نفق - بطانة - اقتران هيدروميكانيكي.

Résumé

Le problème des chargements différés sur le soutènement des tunnels, et des effets d'écoulement d'eau, sont des problèmes d'un grand intérêt pratique mais relativement peu abordés en raison de leur complexité surtout en mode hydromécanique couplé qui nécessitent de grands temps de calcul. Dans ce travail, on examine la possibilité de prendre en compte le rôle de l'eau dans une approche simplifiée, qui se ramène à un calcul mécanique classique. Pour autant, une approche découplée présente l'avantage d'être extrêmement simple à mettre en œuvre, et elle permet d'aborder, si l'on se contente d'un calcul élastique en première analyse, des phénomènes complexes, comme la redistribution des contraintes sur le revêtement d'un tunnel lors d'une réparation partielle. Donc, on présente une étude numérique de l'effet de l'écoulement d'eau sur un tunnel circulaire à l'aide du code de calcul numérique explicite Flac2D et Flac3D. Cette étude montre que la modélisation numérique peut permettre de fournir des éléments de réflexion intéressants.

Mots clés : Modélisation numérique – Flac – tunnel – revêtement – couplage hydromécanique.

Abstract

The problem of differed loadings on the tunnels support, and the water flow effects, are problems of a big convenient interest but landed relatively little especially because of their complexity in coupled hydromechanical mode that require of big calculation times. In this work, we examine the possibility to take in account the role of water in a simplified approach that amounts to a classic mechanical calculation. For as much, an uncoupled approach presents the advantage to be extremely simple to put in work, and it permits to land, if we are content with an elastic calculation in first analysis, of the complex phenomena, as the stress redistribution on the tunnel liner at the time of a partial repair. Therefore, we present a numerical study of water flow effect on a circular tunnel with using the explicit numeric code Flac2D and Flac3D. This study shows that the numeric modelling can permit to provide elements of interesting reflection.

Key words: Numeric modelling – Flac3D – tunnel – liner – hydromechanical coupling.

*Auteur Correspondant : said_kechida@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

Le dimensionnement des revêtements de tunnels repose sur l'estimation des efforts qui s'exercent sur eux. L'une des approches couramment utilisées est la méthode du solide composite [1] [2]. Elle repose sur une modélisation mécanique du revêtement et du terrain comme des milieux continus et permet de tenir compte des particularités géométriques et géotechniques de l'ouvrage ainsi que des différentes phases de réalisation. En pratique, elle est souvent utilisée en considérant une coupe en section transversale du tunnel et du terrain encaissant. Le caractère tridimensionnel du processus de creusement du tunnel est introduit au moyen de la méthode de *convergence-confinement* [3][4] qui permet de simuler l'avancement du front par l'intermédiaire d'un paramètre adimensionnel λ caractérisant les efforts d'excavation à appliquer sur le bord de la galerie dans les différentes phases de calcul [5][6]. Dans cette représentation bidimensionnelle par Flac2D, le caractère tridimensionnel est pris en compte au moyen de la méthode de relaxation.

Cette approche doit être complétée par une étude du comportement différé du massif à long terme autour du tunnel. En pratique, la prise en compte de l'évolution à long terme des efforts dans le revêtement du tunnel est cependant peu courante. Cette évolution dépend de l'évolution des matériaux constituant le revêtement, du fluage des terrains, des phénomènes de gonflement (dans certaines roches) et de l'évolution du régime hydraulique. On s'intéresse ici plus particulièrement à ce dernier phénomène.

Parmi les études sur le sujet, on peut citer l'étude de Atwa (1996), qui a réalisé des calculs couplés pour étudier l'évolution des tassements de surface à long terme due à la consolidation autour des tunnels [7]. El Houari Boucif (2015) a étudié le comportement mécanique tridimensionnel des tunnels en présence d'eau [8]. Cependant, Zadjajoui (2016) a utilisé la méthode des éléments finis pour analyser les écoulements autour de tunnels en conditions bidimensionnelles et en régime transitoire [9].

En s'intéressant particulièrement à l'influence de la perméabilité du revêtement des tunnels. Benamar (1996) a pris en compte les couplages hydromécaniques pour étudier le lien entre la vitesse d'avancement du front de taille et les contraintes calculées dans le revêtement à la fin de la construction [10].

On discute dans la suite les sollicitations dans le revêtement induites par les évolutions de la pression du fluide dans le massif, et au moyen de les prendre en compte dans un calcul numérique découplé. Les résultats obtenus sont comparés avec les méthodes couramment utilisées pour prendre en compte la charge d'eau dans le calcul des sollicitations imposées au revêtement.

2. POSITION DU PROBLEME

On considère un tunnel creusé dans un massif saturé. La construction est modélisée en deux étapes (fig. 1) :

- l'excavation du tunnel, que l'on simulera en appliquant sur le contour de la zone excavée un déconfinement total (ce qui correspond au cas où le revêtement serait mis en place loin derrière le front de taille) ;
- la pose du revêtement proprement dite. Compte tenu du choix fait à l'étape précédente pour le taux de déconfinement, le revêtement n'est pas chargé à l'issue de la construction (on néglige son poids propre).

À l'issue de la construction, il règne dans le terrain un champ de pression interstitielle qui résulte du déconfinement lié à l'excavation, donc différent de la pression hydrostatique initiale. À long terme, on suppose en première analyse que la pression redevient hydrostatique, et on se propose de calculer les efforts dans le revêtement du tunnel.

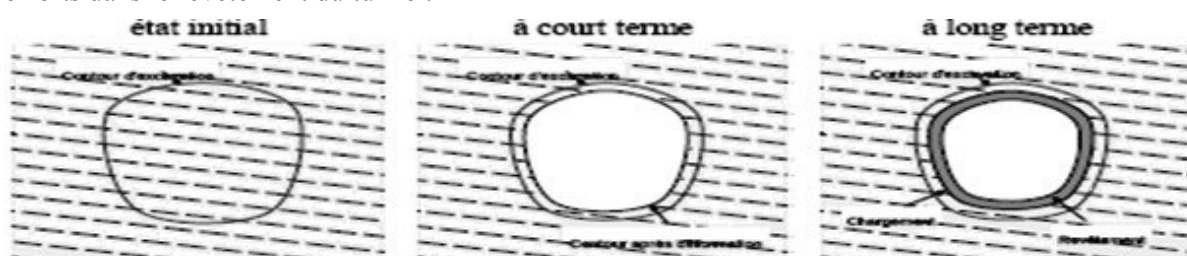


Figure 1. États initial, à court terme et à long terme.

Dans la suite, on ne s'intéresse qu'à la situation à court terme, immédiatement après l'excavation, et à la situation à long terme, après rétablissement de la pression hydrostatique. L'analyse est conduite en supposant que le terrain encaissant peut être modélisé comme un milieu élastique.

2.1. Formulation du problème à court terme

On suppose qu'il règne initialement dans le massif de sol un champ de contraintes géostatique σ^0 et un champ de pression p^0 hydrostatique. On étudie tout d'abord la situation immédiatement après l'excavation ($t=0^+$), en considérant que le creusement est suffisamment rapide pour que l'évolution du terrain soit non drainée. On note σ^{0+} et p^{0+} les champs de contraintes et de pression à court terme dans le massif. On désigne par $\delta\sigma = \sigma^{0+} - \sigma^0$ et $\delta p = p^{0+} - p^0$ les variations du champ de contraintes et de pression entre cette configuration et la configuration initiale. La formulation du problème est la suivante :

$$\text{div } \delta\sigma = 0 \quad (\text{Équation d'équilibre}) \quad (1)$$

$$\delta\sigma = (\lambda_0 + k_w / n) \text{tr}(\varepsilon) \mathbf{1} + 2\mu\varepsilon \quad (\text{Loi de comportement}) \quad (2)$$

$$\delta p = -k / n \text{tr}\varepsilon \quad (\text{Conservation de la masse d'eau en conditions non drainées}) \quad (3)$$

A laquelle on ajoute les conditions aux limites mécaniques :

$$\xi = 0 \text{ sur le plan } z=0$$

$$\delta\sigma n = -\sigma^0 n \text{ sur le contour de l'excavation}$$

L'excavation du tunnel cause une perturbation des champs de contraintes et de déformations, qui se traduit par une perturbation du champ de pression hydraulique. Le problème peut être résolu numériquement avec des caractéristiques mécaniques non drainées. Cette perturbation de la pression se dissipe ensuite au cours du temps après la pose du revêtement ; jusqu'au rétablissement de l'état hydrostatique.

2.2. Problème à long terme

L'évolution de la surpression se traduit par une redistribution des contraintes dans le massif entre la situation à court terme après l'excavation et la situation à long terme. La prise en compte de la variation de la pression du fluide dans un milieu poreux élastique est analogue à la prise en compte d'une variation de température dans un milieu thermoélastique ; elle passe par la définition d'un champ de forces volumiques associées à la variation de pression entre les instants considérés. Cette variation est égale à $-\delta p$ si l'on suppose que, à long terme, la pression revient à sa valeur initiale hydrostatique (en réalité, si le revêtement n'est pas imperméable, le champ de pression atteint un état stationnaire qui ne coïncide pas avec l'état hydrostatique de départ, mais que l'on peut obtenir au moyen d'un calcul hydraulique découplé). Le code Flac2D dispose d'une option permettant de prendre en compte ce type de chargement dans un calcul découplé, dans lequel le comportement élastique linéaire est cette fois décrit par les modules drainés [11]:

$$\delta\sigma = \lambda_0 \text{tr}(\varepsilon) \mathbf{1} + 2\mu\varepsilon - \delta p \mathbf{1} \quad (\text{Loi de comportement}) \quad (4)$$

Le rétablissement de la pression se traduit par une déformation du terrain, qui est gênée par la présence du revêtement du tunnel, plus rigide que lui. Il en résulte une mise en charge du revêtement, qui est l'objet des discussions qui suivent.

3. MODELISATION NUMERIQUE DECOUPLEE ET COMPARAISON AVEC LE MODE COUPLE PAR FLAC2D

Les calculs ont été réalisés en configuration bidimensionnelle. Dans le but d'étudier l'influence de la géométrie du tunnel sur la redistribution du chargement sur le revêtement due à la variation de la pression, deux maillages ont été considérés (fig. 2 et 3) : le premier contient un tunnel *circulaire* et le deuxième contient un tunnel *non circulaire*. Le diamètre du tunnel est de 10 m et l'axe se trouve à une profondeur de 25 m.

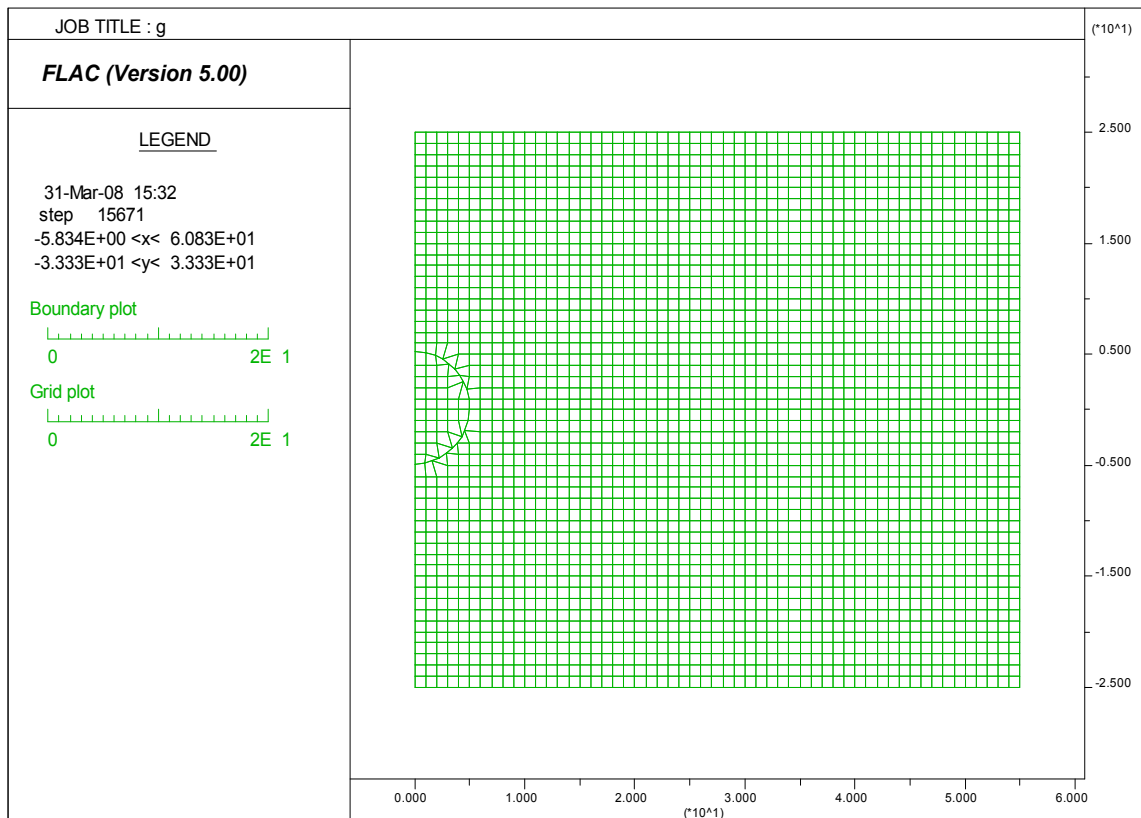


Figure 2. Maillage utilisé pour le calcul numérique (cas d'un tunnel circulaire).

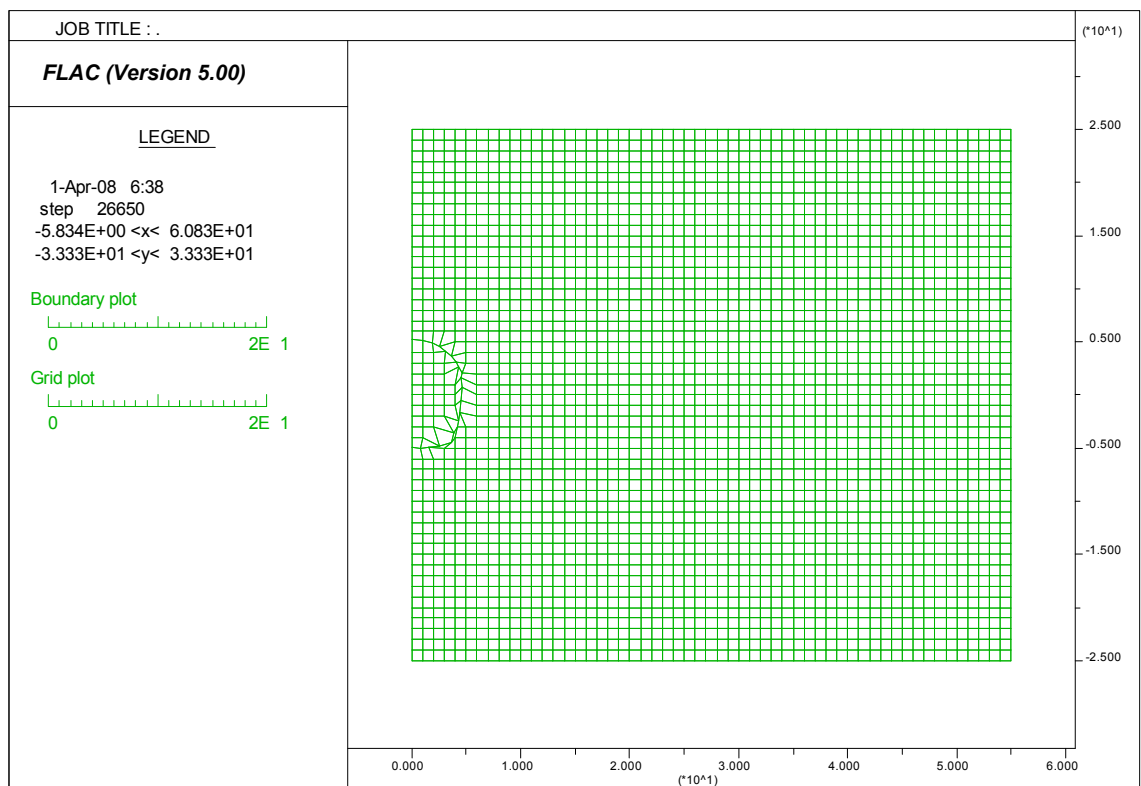


Figure 3. Maillage utilisé pour le calcul numérique (cas d'un tunnel non circulaire).

Les caractéristiques mécaniques et hydrauliques utilisées pour les calculs sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques mécaniques utilisées pour les calculs numériques. (Nguyen, 2003) [12].

	Court terme	Long terme
Module d'Young (KPa)	115238.10	100000
Coefficient de Poisson	0.498	0.3
Poids volumique du sol γ (KN/m ³)		20
Poids volumique de l'eau γ_w (KN/m ³)		10
Module de compressibilité de l'eau (MPa)		2000
Porosité de la couche de sol		0.2

On récapitule rapidement la démarche à suivre pour réaliser la simulation décrite ci-dessus avec Flac2D. Partant d'un maillage comptant trois groupes (intérieur du tunnel, revêtement, terrain), on enchaîne les trois étapes suivantes :

- la première étape consiste à chercher l'état des contraintes et des déplacements à court terme. On réalise un calcul *non drainé*, avec le code Flac2D, en adoptant pour le terrain un comportement *élastique* linéaire *isotrope* avec des paramètres « *non drainés* », l'intérieur du tunnel étant constitué d'éléments auxquels on attribue un *module nul*. Le chargement imposé est un chargement surface de type forces d'excavation (commande *Model null* du code Flac2D) [11], avec un taux de déconfinement égal à 1 (100%);
- la deuxième étape consiste à relire le fichier de résultats issu du calcul précédent pour calculer la pression aux nœuds du maillage. Ce calcul nécessite, l'utilisation de la fonction FISH "EXTRAP.FIS" pour extrapoler les variables de la zone-basée aux nœuds du maillage [11].
- la troisième étape consiste à calculer les déplacements induits par la variation de la pression à long terme, à l'aide d'un calcul mécanique (avec la commande *Set Mech On*), dans lequel le chargement est un champ de pression de fluide, la réponse mécanique qui résulte de la variation de pression interstitielle est calculée. Le mode de calcul d'écoulement est bloqué et le module volumique de l'eau est mis à *zéro*. Le mode de calcul mécanique est permis en faisant des calculs en déformations larges.

L'état initial des contraintes est spécifié supposant qu'aucun écoulement n'est présent. La densité du sol donnée dans le Tableau 1 est considérée d'être la valeur non saturée, et supposant une valeur de 10 m/s² pour la gravité, la contrainte totale verticale calculée au fond du modèle (profondeur de 50 m) est alors -1.1 MPa. Une variation linéaire basée sur cette valeur est entrée pour les contraintes *yy*, en utilisant la commande *Initialnstress*. Les composantes des contraintes *xx* et les contraintes *zz* sont aussi entrées, basé sur le rapport des pressions des terres au repos, $K_o = 0.5$, donc, $S_{xx}=S_{zz}= S_{yy}*0.5= -0.55\text{MPa}$.

Les calculs de *l'écoulement des eaux* souterraines sont bloqués. On calcule l'état initial des contraintes. Le modèle devrait être très près d'un état de l'équilibre. Pour assurer qu'une distribution des contraintes uniformes est développée dans le modèle, l'option *Solve Initial Equilibrium as elastic model* est sélectionnée [11]. En revanche, la prise en compte d'un comportement élastoplastique dans un calcul découplé est plus délicate. Il est alors nécessaire de réaliser un calcul couplé, à l'aide du mode de calcul hydromécanique couplé de Flac2D, mais la mise en œuvre est moins simple que celle d'un calcul découplé.

4. RESULTATS DU CALCUL DES EFFORTS INDUITS DANS LE REVETEMENT AVEC FLAC2D

Les figures 4 et 5 montrent le champ de pression à court terme calculé avec la procédure précédente, pour un champ de contraintes initiales dans le massif géostatique avec un coefficient de poussée des terres au repos de $K_o=0,5$ pour un tunnel circulaire et non circulaire. On montre que la variation de pression ne varie pas de manière simple sur le bord de l'excavation (à noter que la charge hydraulique initiale est uniforme et prend la valeur $h = 50\text{m}$ où $P=500000\text{Pa} = 500\text{KPa}$).

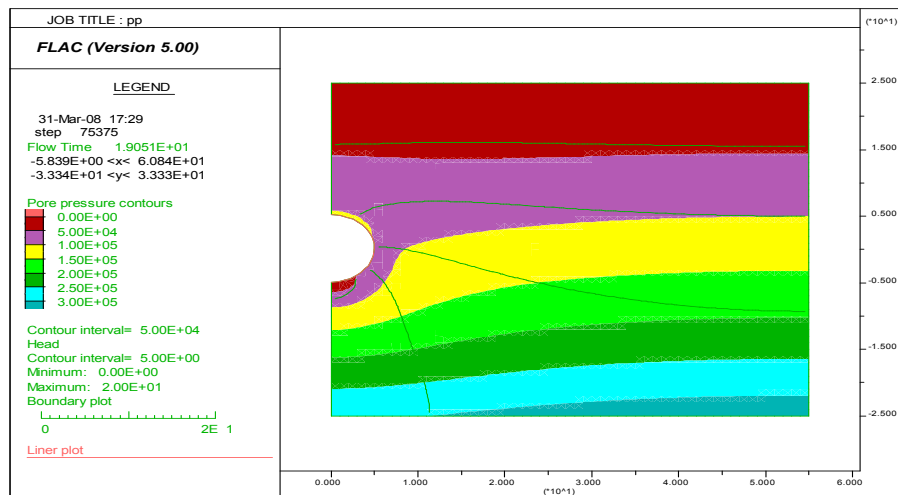


Figure 4. Distribution de la charge hydraulique à court terme due à l'excavation (cas d'un tunnel circulaire). Flac2D.

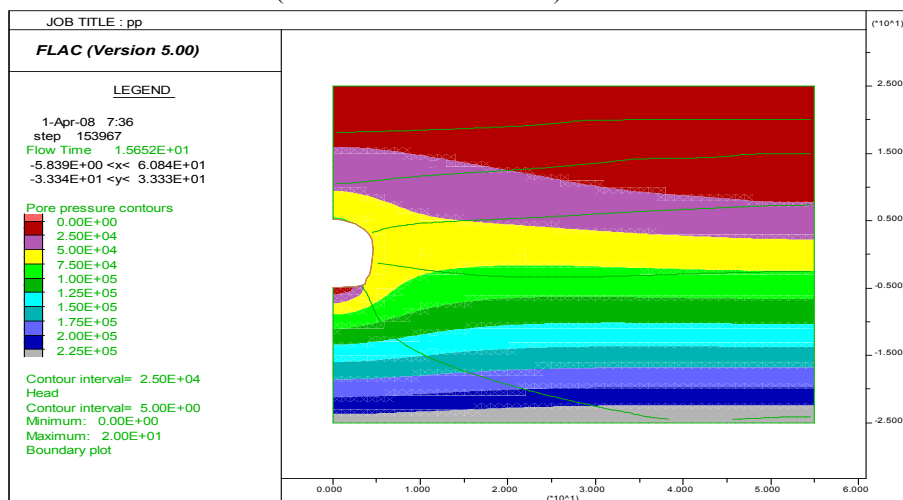


Figure 5. Distribution de la charge hydraulique à court terme due à l'excavation(cas d'un tunnel non circulaire). Flac2D

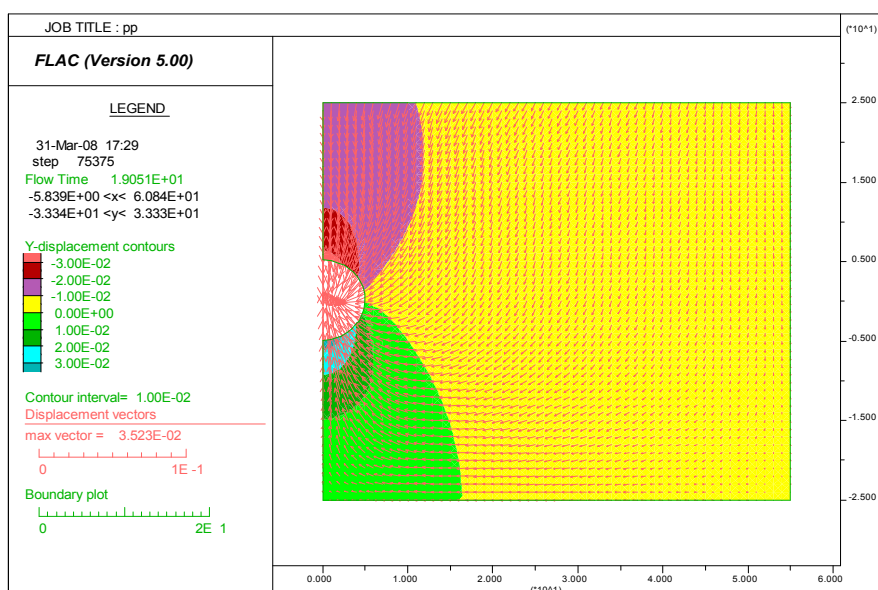


Figure 6. Champ et vecteurs de déplacements dans le maillage après installation du revêtement du tunnel circulaire. Flac2D.

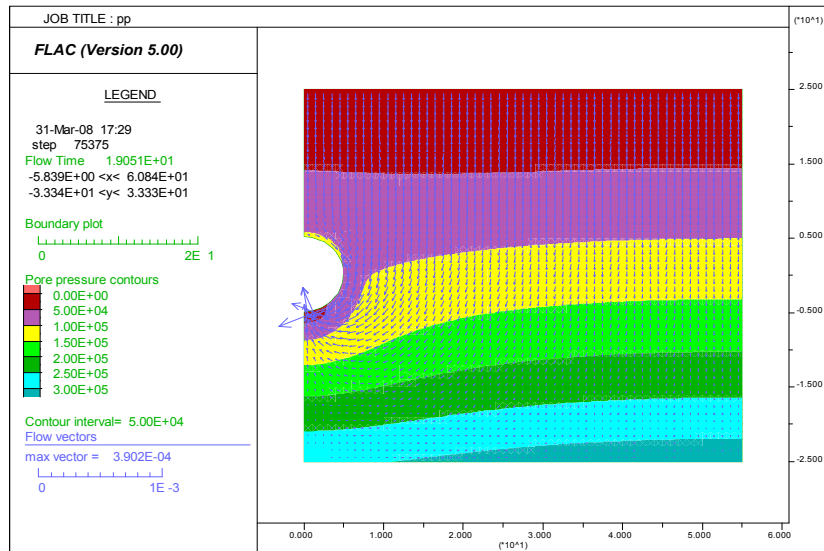


Figure 7. Champ de pressions interstitielles et vecteurs d'écoulement dans le maillage après installation du revêtement du tunnel circulaire. Flac2D.

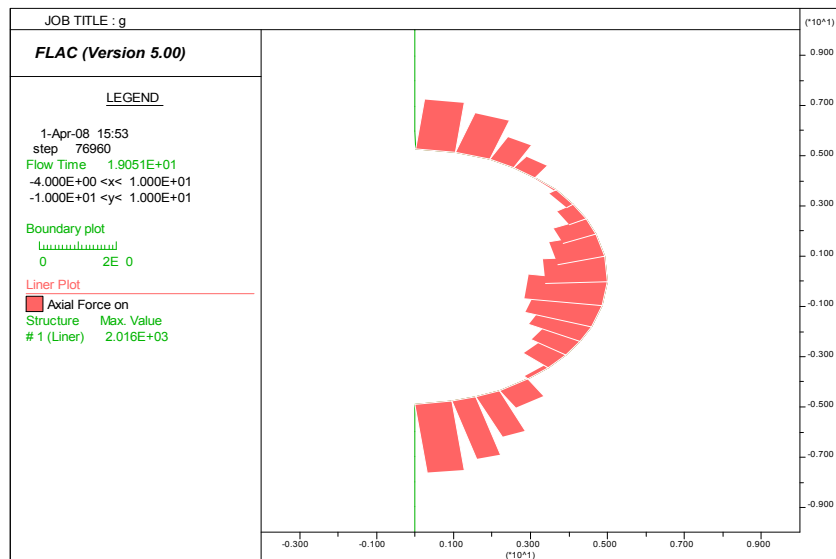


Figure 8. Effort normal sur le revêtement du tunnel circulaire. Flac2D.

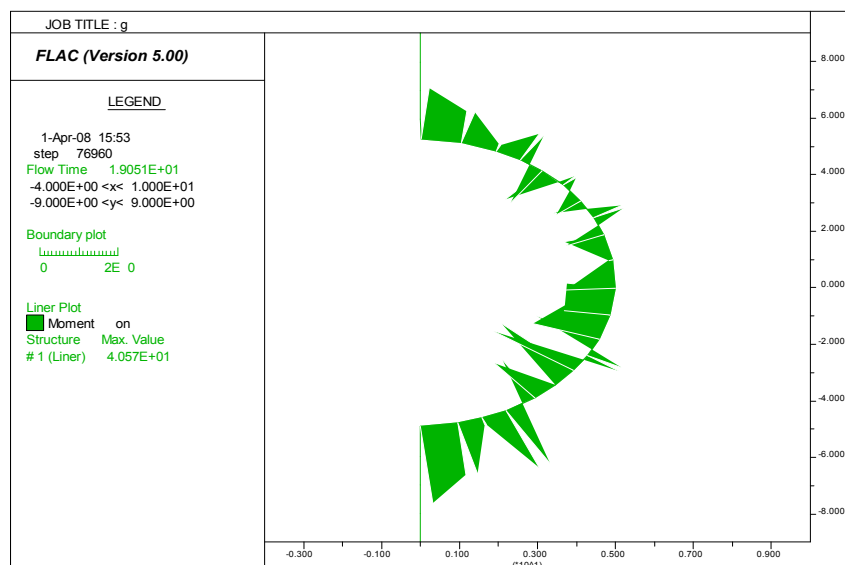


Figure 9. Moment fléchissant sur le revêtement du tunnel circulaire. Flac2D.

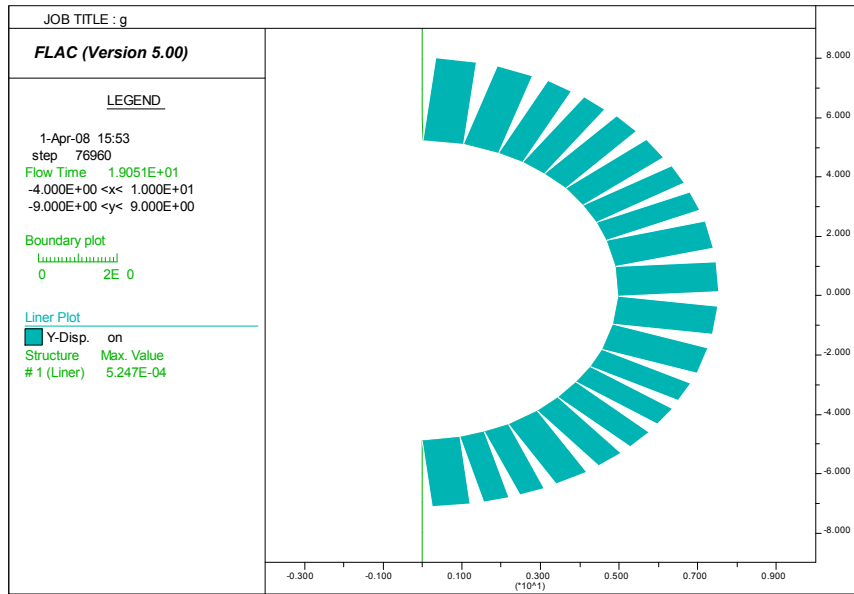


Figure 10. Déplacements verticaux sur le revêtement du tunnel circulaire. Flac2D.

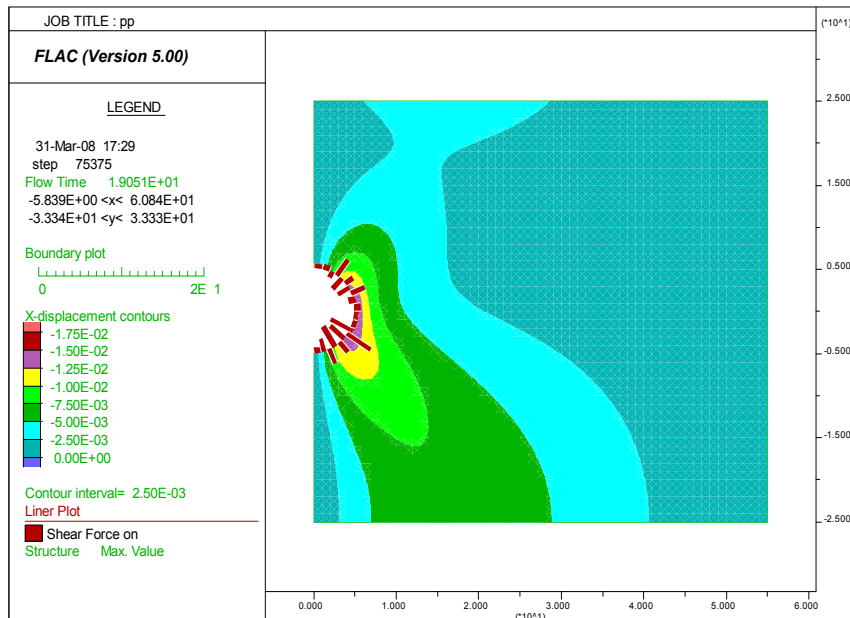


Figure 11. Champ de déplacements horizontaux dans le maillage et force de cisaillement sur le revêtement du tunnel circulaire. Flac2D.

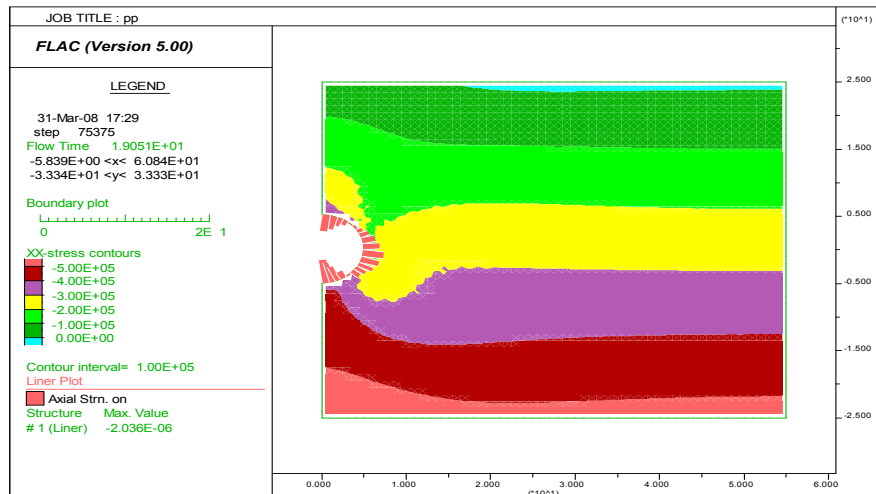


Figure 12. Champ de contraintes totales horizontales dans le maillage et déformation du revêtement du tunnel circulaire. Flac2D.

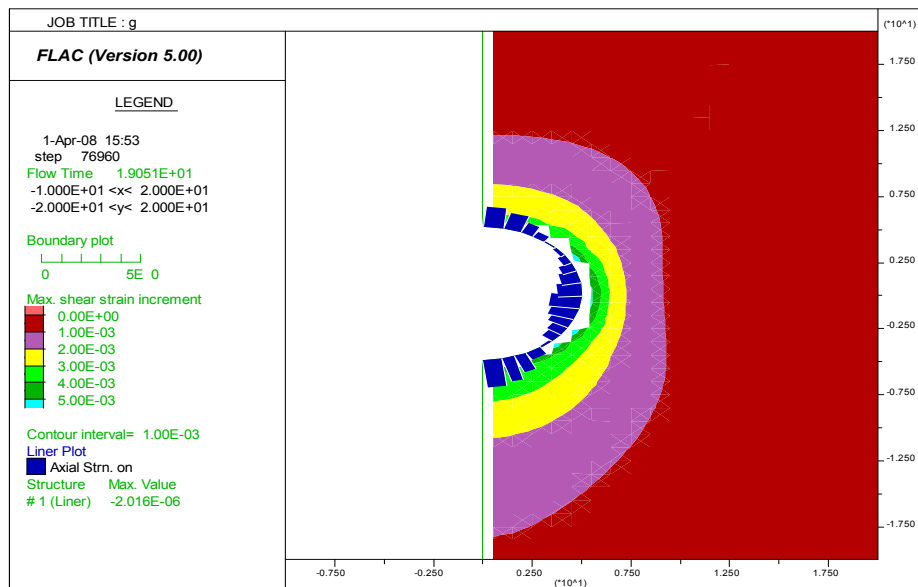


Figure 13. Champ de déformations du sol dans le maillage et déformation du revêtement du tunnel circulaire. Flac2D.

Note : Il est intéressant de remarquer que, dans le cas où la pression initiale du sol sur le contour de la cavité est uniforme ($K_o=1$), le chargement d’excavation n’induit aucune variation de volume et donc pas de variation de la pression.

Les figures 14 et 15 montrent la distribution de la charge hydraulique à court terme calculée par la solution découplée sur la coupe EF à 0,5 mètres du contour d’excavation. Une comparaison avec une solution couplée (à l’aide du mode de calcul hydromécanique couplé du code Flac2D) donne une concordance parfaite dans le cas d’un tunnel circulaire et moins bonne dans le cas d’un tunnel non circulaire.

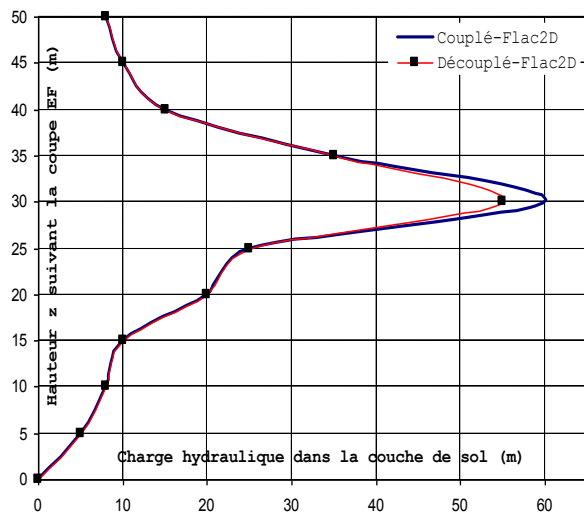


Figure 14. Distribution de la charge hydraulique à court terme sur la coupe EF. (Cas du tunnel circulaire). Flac2D.

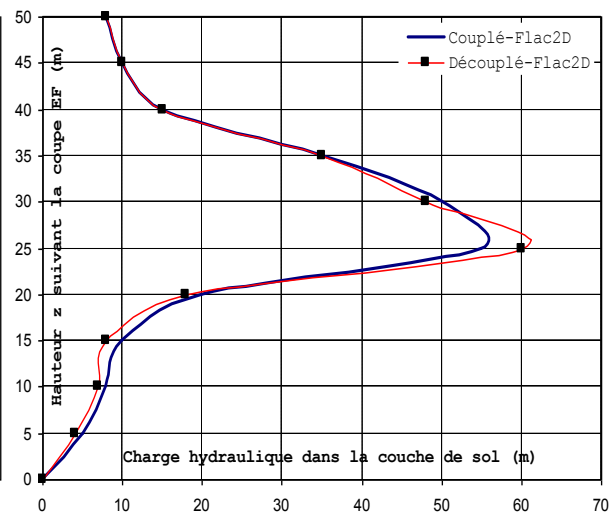


Figure 15. Distribution de la charge hydraulique à court terme sur la coupe EF. (Cas du tunnel non circulaire). Flac2D.

Les figures 16 et 17 présentent la contrainte normale à long terme sur le revêtement dans le cas des tunnels circulaire et non circulaire. Cette correction due à l’effet hydraulique à long terme est de 60 kPa pour une contrainte effective horizontale initiale de l’ordre de 130 kPa (à 25m de profondeur pour $K_o=0,5$).

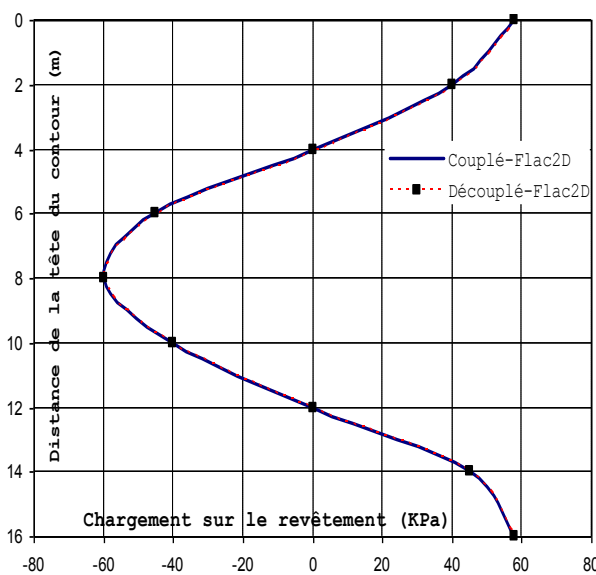


Figure 16. Contrainte normale sur le revêtement due à la variation de la pression (Cas du tunnel circulaire). Flac2D.

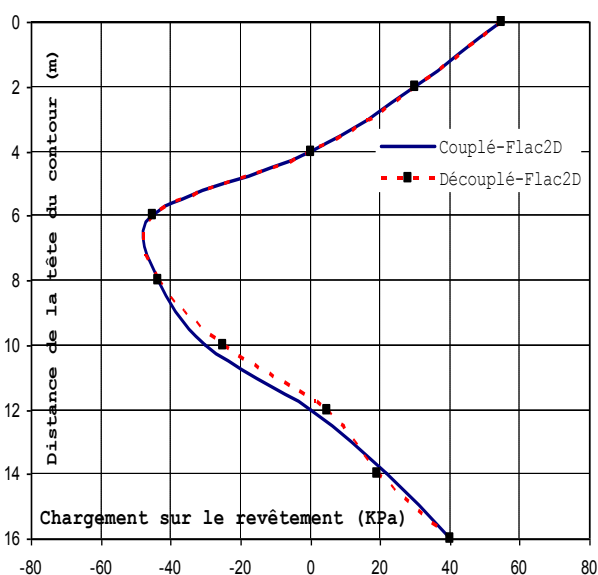


Figure 17. Contrainte normale sur le revêtement due à la variation de la pression (Cas du tunnel non circulaire). Flac2D.

Les figures 18 et 19 présentent le déplacement vertical de la surface du massif dû à la variation de la pression interstitielle à long terme dans le cas des tunnels circulaire et du tunnel non circulaire.

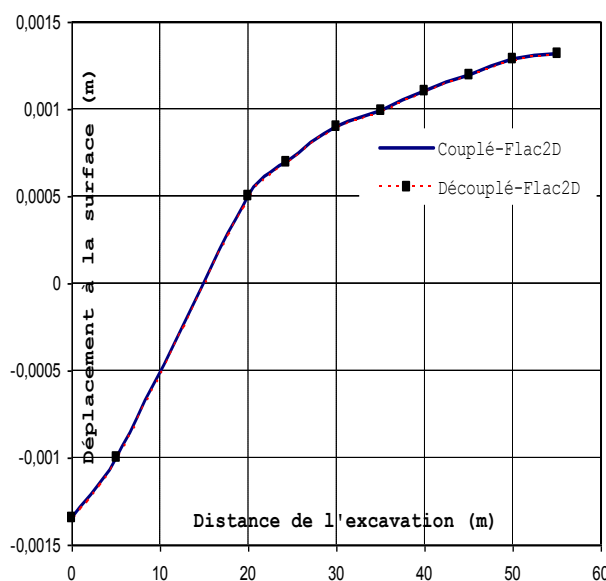


Figure 18. Déplacement vertical de la surface du massif. (Cas du tunnel circulaire). Flac2D.

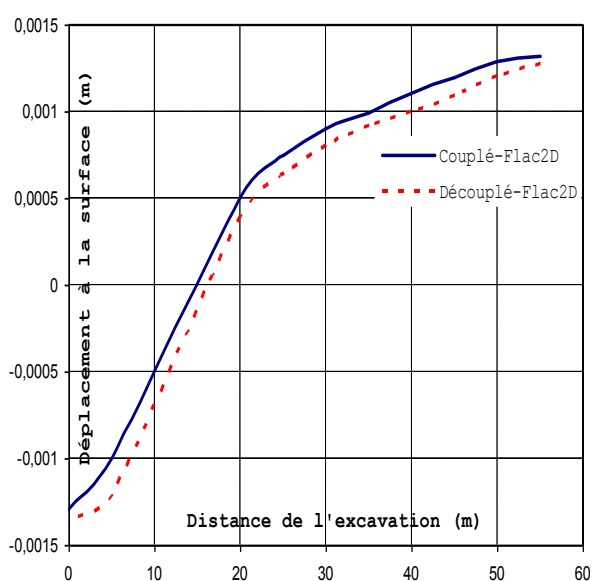


Figure 19. Déplacement vertical de la surface du massif. (Cas du tunnel non circulaire). Flac2D.

Sur les figures 16, 17, 18 et 19, on peut constater que la solution découplée présentée dans le paragraphe précédent donne une concordance parfaite avec les résultats issus d'un calcul couplé (avec le mode de calcul hydromécanique couplé du code Flac2D) dans le cas du tunnel circulaire. Dans le cas du tunnel non circulaire, la concordance est moins satisfaisante.

5.APPLICATION DIRECTE DE LA CHARGE HYDRAULIQUE ET OPTION RELAXATION DU CODE FLAC2D

5.1.Comparaison avec l'application d'une pression hydrostatique

Une façon simple de prendre en compte l'effet différé de l'évolution du champ de pression est d'appliquer une pression hydrostatique supplémentaire sur le revêtement. Cette pression est simulée dans Flac2D par la fonction FISH APPLY_GAP_PRESS.FIS appliquée sur le revêtement en béton [11]. Sur les figures 21 à 24, on compare le chargement sur le revêtement et les déplacements à la surface obtenus par cette méthode avec ceux donnés par l'approche précédente.

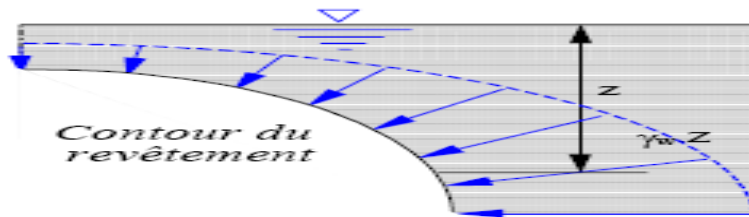


Figure 20. Chargement de type hydrostatique.

On voit que l’application d’une pression de type hydrostatique conduit à surestimer légèrement le chargement sur le revêtement et sous-estimer légèrement les déplacements à la surface du massif. En premier lieu, lorsque le niveau de l’eau est changé, l’eau est rétablie partout dans le sol et le revêtement imperméable en béton. En deuxième lieu, afin d’appliquer une pression au revêtement en béton, on utilise une fonction FISH qui calcule les forces aux nœuds de revêtement qui correspondent à la pression de l’eau. La fonction, “APPLY_GAP_PRESS.FIS exécute cette opération [11]. Cette fonction accède les variables des éléments du revêtement associées avec le revêtement en béton.

5.2.Confrontation des résultats

On présente sur les figures 21 à 24une comparaison des résultats des différents moyens utilisés pour prendre en compte cet effet hydraulique : le calcul découplé, le calcul avec l’application d’une pression hydrostatique sur le revêtement : le calcul avec l’utilisation de la fonction FISH APPLY_GAP_PRESS.FIS, et le calcul avec prise en compte du couplage (avec le mode de calcul hydromécanique couplé du code Flac2D).

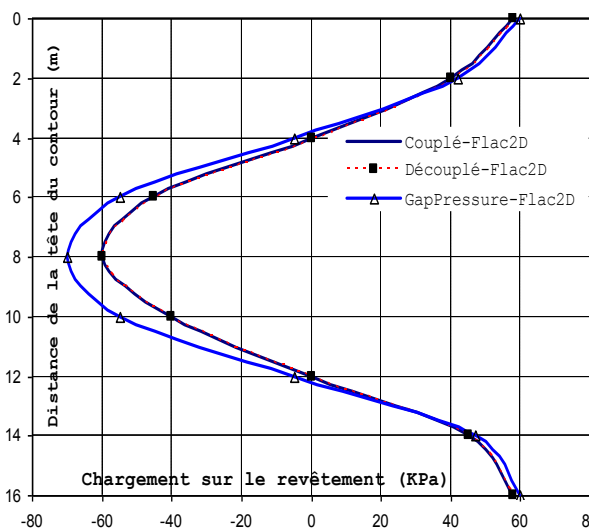


Figure 21. Contrainte normale sur le revêtement due à la variation de la pression (cas du tunnel circulaire). Flac2D.

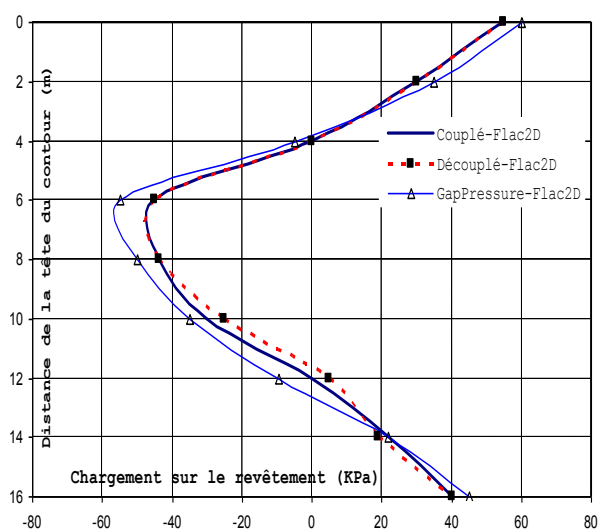


Figure 22. Contrainte normale sur le revêtement due à la variation de la pression (cas du tunnel non circulaire). Flac2D.

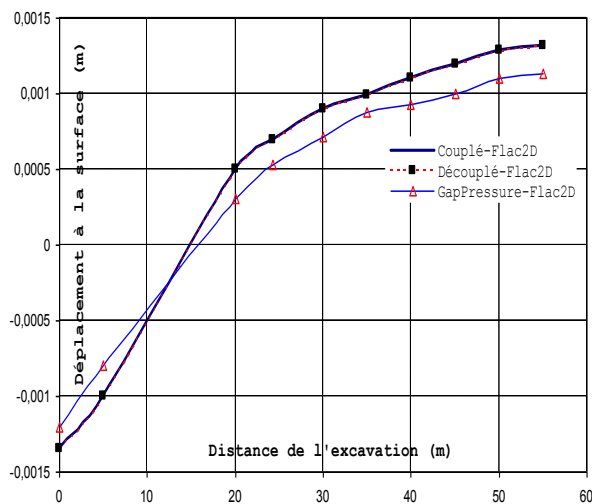


Figure 23. Déplacement vertical de la surface du massif (cas du tunnel circulaire). Flac2D.

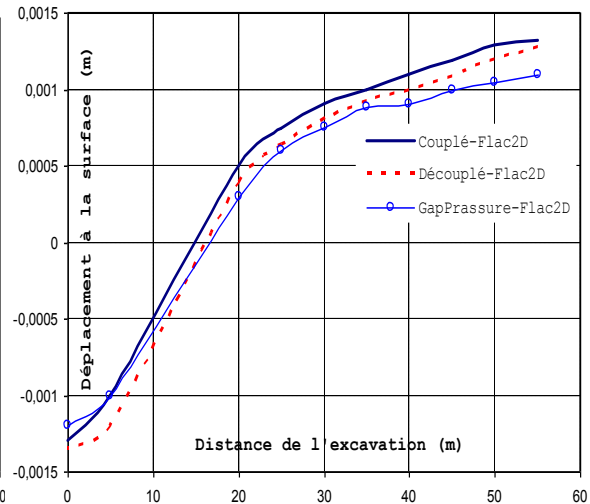


Figure 24. Déplacement vertical de la surface du massif (cas du tunnel non circulaire). Flac2D.

6. CAS DU REVÊTEMENT SEMI PERMEABLE

Jusque-là, on a considéré que le revêtement du tunnel est parfaitement imperméable, de sorte que le champ de pression hydraulique à long terme peut être considéré comme hydrostatique. En réalité, il peut arriver que le revêtement ne soit pas imperméable. Le tunnel constitue donc dans ce cas un drain permanent et le champ de pression à long terme atteint un *état stationnaire* qui n'est pas hydrostatique. La prise en compte de cet effet dans le calcul découplé se réalise en rajoutant un calcul de diffusion pour déterminer le champ de pression à long terme en fonction de la *perméabilité* du revêtement. Dans ce cas, le revêtement est suffisamment poreux. L'eau exerce une pression sur ce revêtement ; cette pression cause des efforts normaux pour se développer dans le revêtement. Donc, l'eau est rétablie partout dans le sol et le revêtement semi-perméable. Les figures 25 et 26 montrent les déplacements à la surface du massif ainsi que la contrainte normale sur le revêtement due à la variation de la pression interstitielle à long terme pour différentes perméabilités du revêtement. La perméabilité a une influence primordiale sur des déplacements, mais il n'en est pas de même pour le chargement sur le revêtement.

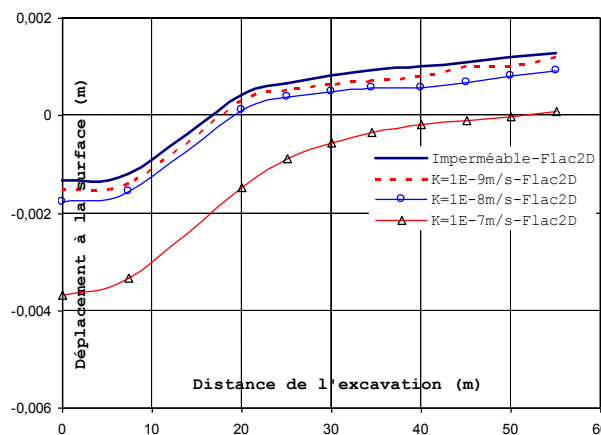


Figure 25. Déplacement vertical de la surface du massif (cas du tunnel circulaire) en fonction de la perméabilité du revêtement (m/s). Flac2D.

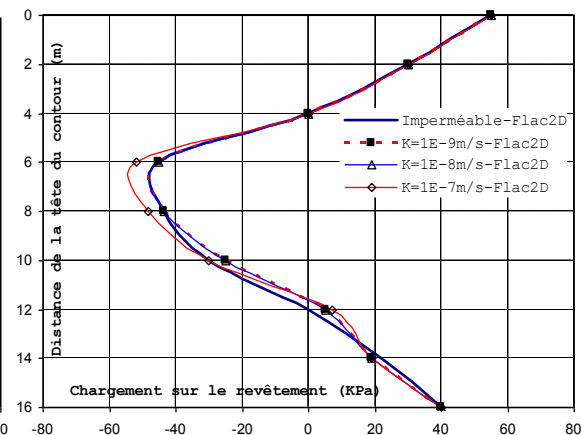


Figure 26. Contrainte normale sur le revêtement (cas du tunnel circulaire) en fonction de la perméabilité du revêtement (m/s). Flac2D.

7. INFLUENCE DU TAUX de DECONFINEMENT

Le caractère tridimensionnel du processus de creusement du tunnel est introduit dans la configuration bidimensionnelle au moyen du taux de déconfinement λ définissant les efforts d'excavation à appliquer sur le bord de la galerie en fonction du degré d'avancement du front de taille [1][2] (Panet, 1995). Avant l'arrivée du front de taille, l'état des contraintes dans le massif correspond à l'état naturel

initial et le taux de déconfinement λ est nul. Au fur et à mesure que le front approche de la section étudiée, le taux de déconfinement augmente jusqu'à la valeur $\lambda=1$, obtenue à une certaine distance après le passage du front (fig. 27).

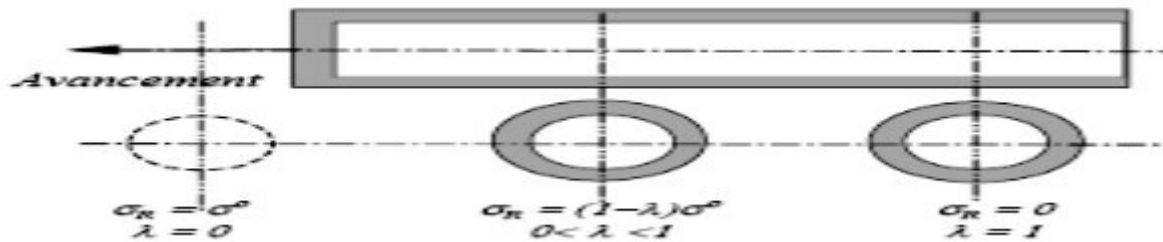


Figure 27. Variation du taux de déconfinement.

La figure 28 présente une comparaison des résultats du chargement sur le revêtement issus des calculs avec prise en compte de la variation de pression à long terme (AVP) pour $\lambda=1$ et $\lambda=0,5$ et sans prise en compte de la variation de la pression à long terme (SVP) avec $\lambda=0,5$. On voit bien que le calcul sans prise en compte de la variation de pression sous-estime le chargement sur le revêtement. La Figure 29 montre l'influence de la variation du taux de déconfinement sur le chargement du revêtement dans les calculs avec prise en compte de la variation de pression à long terme. Plus le taux de déconfinement est petit, plus le chargement sur le revêtement à long terme lié à la variation de pression est petit, et le chargement à long terme lié au déconfinement est grand, et donc le chargement total est grand.

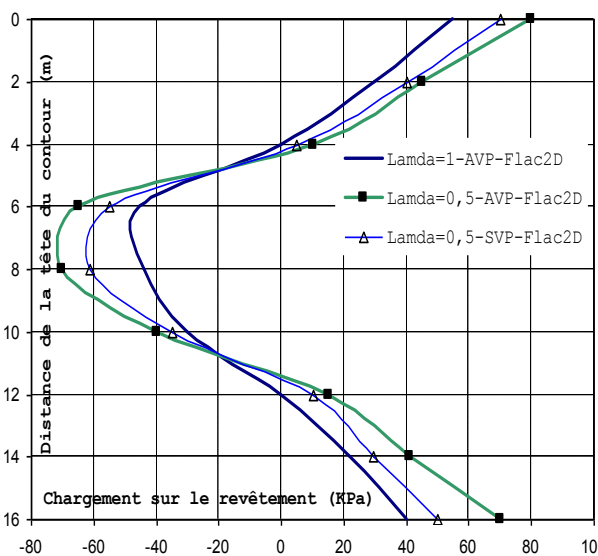


Figure 28. Contrainte normale sur le revêtement (kpa) avec (AVP) et sans (AVP) prise en compte de la variation de la pression. Flac2D.

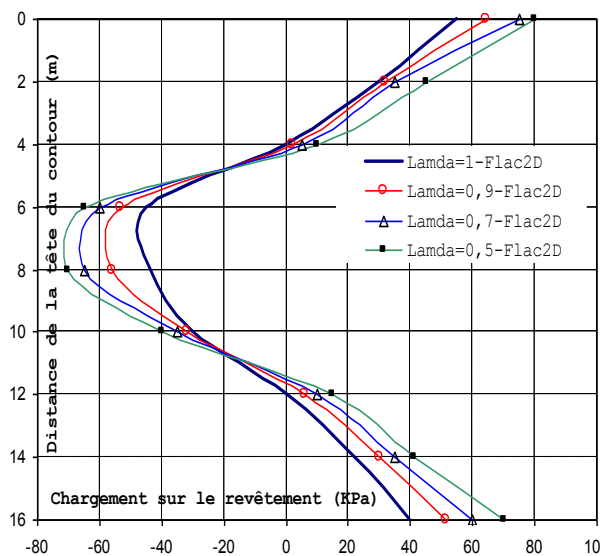


Figure 29. Contrainte normale sur le revêtement (kpa) en fonction du taux de déconfinement. Flac2D.

8. ANALYSE DES RESULTATS ET REMARQUES

L'évolution à long terme du champ de pression autour d'un tunnel induit un chargement différé sur le revêtement. Dans cette partie du travail, on a montré comment il est possible de prendre en compte dans les calculs découplés. Du point de vue des efforts obtenus, ces calculs donnent une correction du chargement due à l'effet hydraulique à long terme de 60 kPa pour une contrainte initiale σ'_h de l'ordre de 130 kPa. Par ailleurs, une comparaison du chargement sur le contour du revêtement et des déplacements à la surface montre que l'estimation calculée en appliquant de manière forfaitaire une pression hydrostatique sur le revêtement peut *surestimer légèrement* le chargement sur le revêtement ainsi que *sous-estimer légèrement* les déplacements à la surface du massif. Il est donc nécessaire de prendre en compte la variation de la pression hydraulique à long terme. Enfin, la démarche pour prendre en compte la variation de pression dans les calculs découplés est simple à mettre en œuvre, même pour des problèmes complexes.

9. CONCLUSION

Le problème des chargements différés sur le soutènement des tunnels, et des effets de la réparation d'une partie du revêtement, sont des problèmes d'un grand intérêt pratique mais relativement peu abordés en raison de leur complexité surtout en mode hydromécanique couplé qui nécessitent de grands temps de calcul. On a essayé de proposer ici une première approche simplifiée de ces problèmes, qui montre que la modélisation numérique peut permettre de fournir des éléments de réflexion intéressants.

L'étude présentée ici avait donc pour but d'illustrer les applications possibles des calculs découplés pour la prise en compte du couplage hydromécanique et d'étudier l'influence du temps de calcul: elle est donc comparée au mode de calcul couplé (à l'aide du mode de calcul hydromécanique couplé du code Flac3D). Une comparaison avec cette dernière donne une concordance parfaite dans ce cas de tunnel circulaire en 3D et les calculs mécaniques prennent un laps du temps moins comparés aux calculs couplés.

Donc, on s'est attaché à mettre en œuvre l'approche découplée pour étudier les chargements différés sur le soutènement des tunnels et l'effet de la réparation d'une partie du soutènement. Les résultats montrent que les variations de la pression de l'eau dans le sol jouent un rôle *très important* sur la redistribution des *contraintes*, mais l'approche reste limitée au cas élastique.

REFERENCES

- [1] Szechy K., 1970. Traité de construction des tunnels. Ed. DUNOD. 701p.
- [2] Vermeer P.A., Möller S.C. & Ruse N. 2003. On the application of numerical analysis in tunnelling. 12th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (12ARC), Singapore.
- [3] Panet M., 1979. Time-Dependent Deformations in Underground Works, Proceedings of the 4th *ISRM* Congress (Montreux), Rotterdam, A. A. Balkema and the Swiss Society for soil and Rock Mechanics, Vol, 3, 279-289.
- [4] Panet M., 1995. Le calcul des tunnels par la méthode convergence-confinement. Presses de l'école Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 177 p.
- [5] AFTES, La méthode convergence-confinement. Tunnels et Ouvrages Souterrains, 2002, 79-89.
- [6] Svoboda T., Mašín D., 2010. Convergence-confinement method for simulating NATM tunnel evaluated by comparison with full 3D simulations, International Conference Underground Constructions - Transport and City Tunnels, Prague.
- [7] Atwa M., 1996. Analyse numérique des écoulements d'eau et de la consolidation des sols autour des tunnels creusés dans l'argile. Thèse de Doctorat., Ecole des Ponts et Chaussées, Paris, 476 p.
- [8] El Houari Boucif N., 2015. Contribution à l'étude mécanique et hydraulique des tunnels en configuration tridimensionnelle. Thèse de Doctorat. Université Aboubekr Belkaid. Tlemcen. Algérie,
- [9] Zadjoui A., (2016). Analyse de régime hydrique autour des tunnels en régime transitoire, Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur, Nancy.
- [10] Benamar I. 1996. Etude des effets différés dans les tunnels profonds. Thèse Doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 205p.
- [11] Itasca Consulting Group, 2005. Inc. *Flac2D Manual version 5.0*. Minneapolis, Minnesota.
- [12] Nguyen P. D., 2003. *Modélisation numérique des soutènements d'excavation*. Thèse de LCPC, Paris, France, 288p.

Nomenclature

k : pente la courbe de déchargement-rechargement

n : porosité du sol

p^{o+} : champs de pression

p^o : pression hydrostatique

t : *temps*

$\text{tr}\varepsilon$: variation de la déformation

λ : taux de déconfinement

σ'_h : contrainte initiale

σ^o : contraintes géostatique

σ^{o+} : champs de contraintes

$\delta\sigma$: variations du champ de contraintes

δp : variations du champ de pression

ε : tenseur de déformation

k_w : module de compression du fluide

.

Alterations in concrete samples due to Alkali–Carbonate–Reaction ‘ACR’**Altérations dans les échantillons de béton en raison de la réaction alcali carbonate 'ARC'**Nadjette Rehamnia^{*1}, Mohamed Fouzi Habita¹, Fouzia Bouabdallah² & Noureddine Ferhoune²¹ *Laboratoire Génie Civil, Département de Génie Civil, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Badji Mokhtar, BP 12, Annaba, 23000, Algérie.*² *Département de Génie Civil, Faculté des Sciences et Sciences Appliquées, Université Larbi Ben M'hidi, BP 358, Oum El Bouaghi OEB, Algérie.**Soumis le : 23 /10/2017**Révisé le : 03/05/2018**Accepté le : 20/05/2018***المخلص**

مرض تفاعلات الوسط القلوي مع الركام (ت.ق.ر) مع مرور الزمن يسبب تدهور في المباني الخرسانية في مجال منشآت الهندسة المدنية بفضل مادة أملاح صلبة نافخة وهذا ما يمنح ضغط خلالي يؤدي إلى ظهور التشققات و التشقق على شكل خلايا. هذا المقال يتناول بحث مدته ستة أشهر و تناول إستخراج تأثير (ت.ق.ك) على عينات خرسانية « (A) المرجع ، و (B - C) المصابة بتفاعل (ت.ق.ك) ». الأعراض المرضية تم ملاحظتها مجهريا، كيميائيا و فيزيو- ميكانيكيا. النتائج الهامة تم تحليلها في الخرسانة المصابة بتفاعل (ت.ق.ك) مثل: فقد اللون، البقع أو الهالات ، الإنتفاخات، و المكونات الكيميائية...الخ.

الكلمات المفتاحية: خرسانة - ركام - قلوي - تفاعل - كربونات

Résumé

La pathologie de l'Alcali Agrégat Réaction (AAR) au fil du temps détruit les constructions en béton dans le domaine du génie civil, à cause d'un gel solide expansif qui mène à une pression interstitielle jusqu'à la fissuration et le faïençage. Cet article montre une recherche de six mois de durée et qui étudie les effets de l'ARC sur des échantillons en béton « (A) témoin et (B, C) attaqués par l'ACR ». Des symptômes d'endommagement ont été observés microscopiquement, chimiquement et physico-mécaniquement. Des résultats importants ont été analysés au béton atteint de l'ACR comme : la décoloration, les auréoles, les gonflements, les composants chimiques, ...etc.

Mots clés : Béton – Agrégat – Alcali – Réaction – Carbonate.**Abstract**

The Alkali-Aggregate-Reaction pathology (AAR) over time destroys concrete constructions in the civil engineering field, because of an expansive solid gel that leads to interstitial pressure until cracking and checking-cracks. This article shows a six-month search for the ACR effects on concrete samples "(A) control and (B, C) affected by ACR ". Damage symptoms were observed microscopically, chemically and physico-mechanically. Significant results have been analyzed in ACR concrete such as: discoloration, aureole, swelling, chemical components, etc.

Key words: Concrete – Aggregate – Alkali – Reaction – Carbonate.^{*} *Corresponding author: nadjetrehamnia@yahoo.fr*

1. INTRODUCTION

In the Civil Engineering field, reactive aggregates used in concrete material present an extreme risk to the engineering structure's life when exposing to a high alkali environment. To prevent in constructions attained by 'AAR', it's necessary to interest to this pathological damages and their mechanisms which are given as several descriptions by the international researchers. Some ones think that 'ASR' damages are due to a destructive solid gel as a main cause with Silico-calco-sodic nature [1]. Other researchers said that the hydrostatic pressure of hydrate silicate in concrete paste is the demolition reason [2]. Other authors think that alteration appeared due to the OH⁻ ions attacks to silanol- siloxane groups with gel formation which is expanse by imbibitional pressure; this pressure is the difference between water pressures in gel and pore [3, 4, 5, 6, 7, 8]. Some authors said that the expansive gel took place by silica absorption to Ca²⁺, Na⁺ and OH⁻ ions [9]. By another way 'ACR' is the most complex reaction and there are two contradictory deterioration opinions. The first opinion talks about soluble reactants « Dolomite and alkali hydroxide » that gives expansion, which provides 'AAR' cracks also [10]. Second one considerate 'ACR' as another form of 'ASR', the dedolomitisation increases if microcrystalline quartz is presented in dolomitic granulate. Hence the 'ASR' gel formed in the dolomitic aggregates caused the concrete deteriorations [11, 12, 13, 14, 15]. This research series on mortar bars and concretes confirmed that the 'AAR' problem is present in our country since (2008), and a high reactive aggregate was detected by the same team research at the Civil Engineering laboratory (UBMA) [16]. This granulate contained dolomite in the limestone stone with a few amount of silicate, it was used in this experimental works. The Algerian authorities didn't have any official census about the 'AAR' issue in the attained structures. So in this article, we are intending to attract the local authorities' intention to investigate against 'AAR' attacks like the international comity. We also want to continue discovering the 'ACR' damages, using several scales to explain what happen in a local concrete matrix. Especially when found results presented that 'ACR' damages were different from mortar, reinforced concrete and concrete; which are established by the same local building material with one mix design and have put in the similar conditions and experiments. For these objectives different produced specimens were tested in a laboratory at 'AAR' favourable conditions. Various parameters are chosen to analyse the 'ACR' attacks on the structural concretes in limited conditions: content alkali 1.25 %, moisture 100 % and more than temperature 40 °C.

2. EXPERIMENTS

2.1. Materials

The cement used: Portland cement CPJ-42.5 grade, according to ASTM and ACNOR standards; produced by Hadjar-Essoud cement work (Skikda). The cement composition used in concrete mix design is shown in the table 1.

Table.1: Physicochemical and mechanical characteristics of cement used CPJ- 42.5

Chemical characteristics (%)						
C ₃ S 55-65	C ₂ S 10-25	C ₃ A 8-12	C ₄ AF 7-13	Clinker ≥ 74	Limestone 0	Slag ≤ 20
Physical characteristics						
Initial & Final setting time minutes	Expansion		Mortar Shrinkage		Blaine	Density
	mm		µm/m		cm ² /g	g/cm ³
≥ 60	150-250		≤ 10		≤ 800	3300-4000
Mechanical characteristics						
Age/Strength	Compression test			Bending test		
Days	3	7	28	7	28	
MPa	≥12	≥19	≥28	5.0-6.5		6.2-8.5

Alkalis could be with high rates to activate internal chemical reactions between (Alkali and Reactive aggregates), they came from two sources in concrete: Alkalis cement which were with a weak content 0.3 % Na₂O_{eq} and additional alkalis to the water (Sodium-Potassium solutions) for mixing as shown in equation (1) according to Canadian and French standard codes: AFNOR-587; AFNOR-585; AFNOR-594 and ACNOR-14A.

$$Na_2O_{eq} (\%) = [Na_2O + 0.658K_2O] (\%) \tag{1}$$

The concrete mix design had a water-cement and a cement-aggregate ratio as shown in the second equation:

$$w/c = 0.4 \quad \text{and} \quad c/a = 1 / 2.25 \tag{2}$$

Aggregates used were highly reactive; they are tested with accelerated tests for ‘AAR’ detection on mortar bars in the previous research works in UBMA laboratory, which gives an ‘ACR’ as chemical reaction [17]. These sands and gravels were taken with the same type (Limestone) from the quarry of Bouhachana - Guelma. Their grading curve was in the figure 1, according to the French standards, satisfied the physical test requirements: AFNOR-301; AFNOR-304; AFNOR-309; AFNOR-554; AFNOR-555 and AFNOR.EN-933.2 [18-23]. Distributed on three following classes:

- Crushed gravel (15-25) mm
- Crushed gravel (5-15) mm
- Crushed sand (0-5) mm (fineness modulus 2.75 FM).

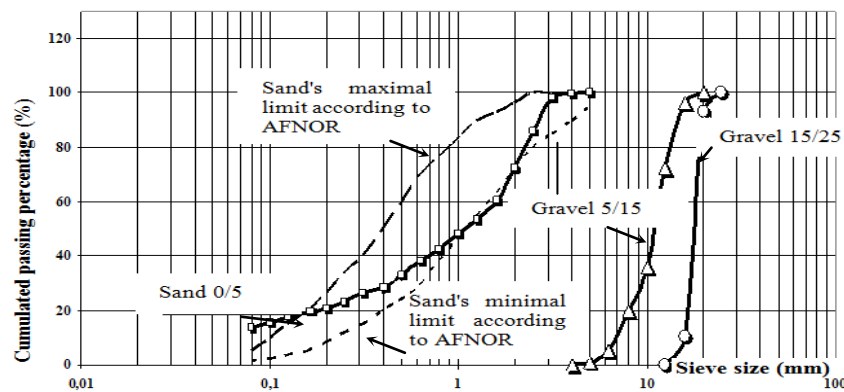


Figure.1: The grading curve.

To produce an ordinary concrete, its same mix design was based on Dreux Gorisser's Method for two concretes (A and B) of 350 kg/m^3 . Standards codes AFNOR-451 or ACNOR-5C were used to casting and slump tests [24, 25]. Samples were demoulded 24 to 48 hours after casting; cured for 30 minutes at 23°C according to AFNOR-405, resealed and heated to 20° and 48°C ; the moisture was 100 % to accelerate 'AAR' attack table 2 [26].

Table.2: Concretes mix-Design and storage conditions for specimens used

Constituent Concrete types	Sand 0-5 kg/m^3	Gravel 5-15 kg/m^3	Gravel 15-25 kg/m^3	Concrete kg/m^3	H_2O L/ m^3	Alkali NaOH & KOH kg/m^3	Storage (T, RH) ($^\circ\text{C}$, %)
A	740	430	715	350	157	- -	(20, 100)
B	740	430	715	350	157	2 3	(50, 100)

For all samples, the reference length was measured just before storage to start the program tests

(Tab. 3):

- Reference Concrete (A): [RH= 100 %; T= 20°C ; $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 0.3 \%$]

- Reactive Concrete (B): [RH= 100 %; T= 48°C ; $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 1.25 \%$], alkalis addition are as shown in equation (1).

Table.3: program tests for all structural elements used with concretes (A and B)

Concrete types	Form and dimension of specimens cm			Age weeks	Doping in $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ %	Number
1A	Cylinder (h 22, \varnothing 11)	Prism 7x7x28	Cube 10x10x10	26	0.3 Reference Concrete (A)	3
2A				13		3
3A				4		3
1B	Cylinder (h 22, \varnothing 11)	Prism 7x7x28	Cube 10x10x10	26	1.25 Doped Concrete (B)	3
2B				13		3
3B				4		3
Total						18

In table 4 specimen forms were cylindrical, prismatic and cubic shape; they were prepared according to the Canadian and French standards for measuring length variations due to the 'AAR'.

Table.4: Specimen preparation according to ASTM, ACNOR and AFNOR standards

Specimen types cm	Test according to AFNOR and ACNOR	Length changes test due to 'AAR'
Cylinder (h 22, \varnothing 11)	AFNOR-400 AFNOR-406 or ACNOR-2C ACNOR-3C and ACNOR-1D	ACNOR-14A and AFNOR-587
Prism 7x7x28	AFNOR-407 and ACNOR-14A	ACNOR-14A and AFNOR-587
Cube 10x10x10	AFNOR-407	ACNOR-14A and AFNOR-587

2.2. Tests

In literatures we can accelerate this chemical reaction when we have high levels of reactivity in aggregates, high alkalinity in concrete paste, important temperature and moisture also [27, 28]. In this research, experiments are studied in various parameters and at different scales with microscopic examination, physico-mechanical characteristics... etc.

2.2.1. Physico-chemical changes

1. Expansion test for concrete

We have used ACNOR-A14 test in alkali reactive concrete or (AFNOR- 594 or AFNOR-587 modified test); which is for expansion detection due to 'AAR' without specifying the reaction type, but the physical changes especially in the longitudinal direction (length) [29,30, 31]. Specimens are equipped with inserts in the longitudinal direction for all samples; the cubes are fitted for both directions. Returning to initial measurements, two concrete sample types (A and B) lengths are taken with a digital comparator (1/1000) mm one time each month for six months after 4, 13 and 26 weeks of storage. (Fig.2)

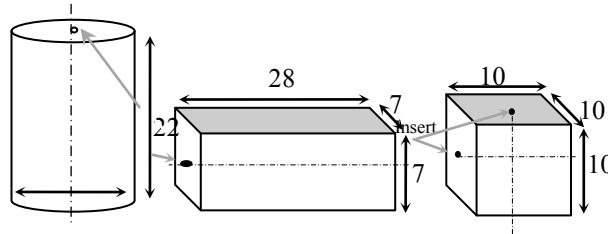


Figure.2: Cylinder specimens (h 22, Ø 11) cm, prisms 7 x 7 x 28 cm and cubes 10 x 10 x 10 cm.

2. Textural alterations in concrete attacked by 'ACR'

Textural study of these alterations mainly means monitoring symptoms: colour concrete, cracks with their form and evolution during the storage time, checking-cracks and network formation. Then we have represented cracks by (Opening cracks-Time) graph bars; checking-cracks by (Mesh per surface-Time) graph bars and discoloration by Photography method is used by with a digital camera as a control Method. With a fissurometer device used also for opening cracks measurement to monitor evaluating 'ACR' cracks and formed meshing per external surface sample [32, 33]. So three scales are used for this study type:

- Macroscopic scale for internal and external concrete matrix; photos are just taken.
- Mesoscopic scale with a magnifying glass; the magnification was 24 times (M24X).
- Microscopic scale for this examination a Polarized Optical Microscopy 'P.O.M' is used with photographing; that took place in the geology department (UBMA) on a thin section (30 x 45) mm as shown in the figure 3.

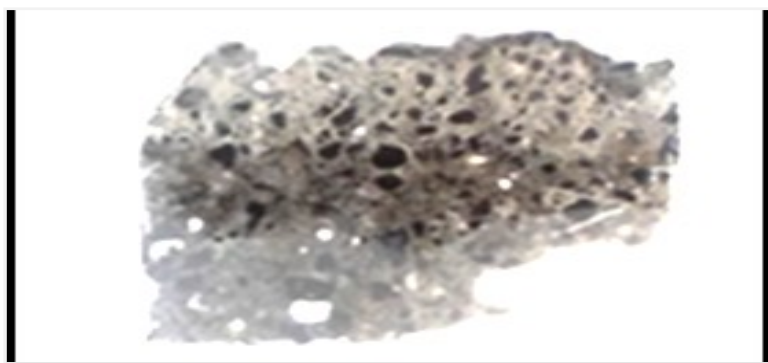


Figure.3: Thin section '30 x 45' mm for microscopic examination

- Chemical analyses (X-ray fluorescence XRF) are done according to AFNOR test code NF P 15- 467 in Hadjar-Essoud cement work laboratory (Skikda); for concrete mix design and ‘AAR’ gel also.

2.2.2. Mechanical characteristics

In this article, the same specimens of retractometer tests with concrete types (A and B) were tested for compression and traction behaviours. First, cylinder and cube samples were chosen for compression tests according to standard codes AFNOR-406 and ACNOR-9C [34, 35]. A hydraulic machine was used in this test which referenced by Weissgerber with 200 tonnes as a stroke machine, with static loading at regular load intervals (10 KN). We could represent these tests by (Failure strength -Time) curves. Then, prism specimens were tested with bend testing (four points) in concordance with (AFNOR-407) to identify indirectly the tensile strength [36].

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Physical study

3.1.1. The length change tests

After be stored for 4, 13 and 24 weeks concretes noted by (3A, 2A, 1A) and (3B, 2B, 1B) during expansion test the Reference concretes (A) present normal shrinkage with safety external faces for all sample types. However, for all specimen types the doped concretes (B) show expansions of ‘AAR’ attacks as in figure.4.1 comparing with figure.4.2 of Larive’s Method (Three-tangents-method TTM) [37]. The (Expansion- Time) curves showed that the cylindrical samples (2B and 3B) concrete; the expansion is in two first phases (1 and 2) only. Then, the specimens of (1B) have a complete expansion form, which is similar to the Larive’s shape as (S form) with four phases from 1 to 4.

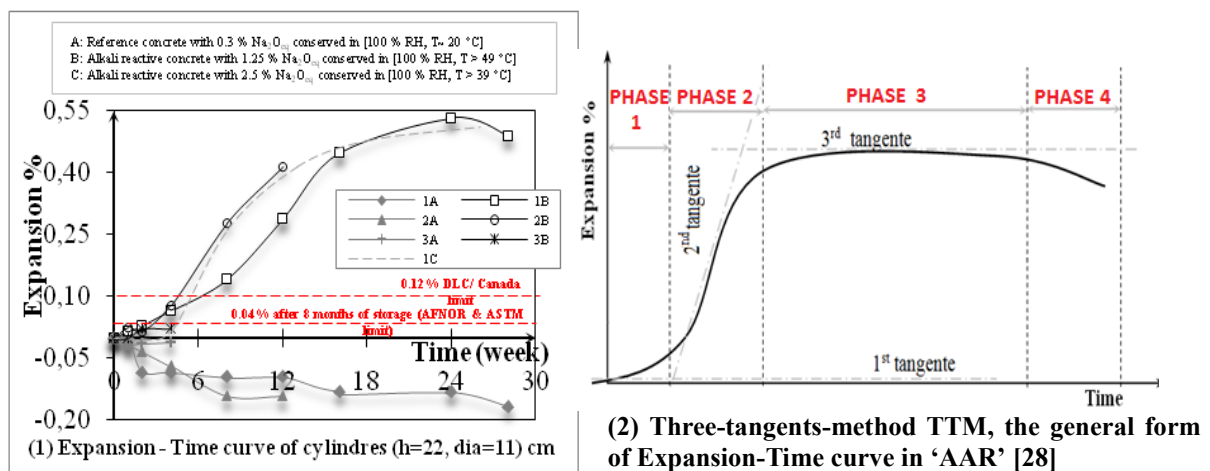


Figure.4: Expansion test with cylindrical samples (h 22, Ø 11) cm with (3B, 2B and 1B) concrete from 1 to 24 storage weeks.

In the prismatic samples noted by (1B), the expansion curve had a linear form along the length change test which conducts to save the four phases with an unclear manner even for (2B and 3B) in the figure 5.

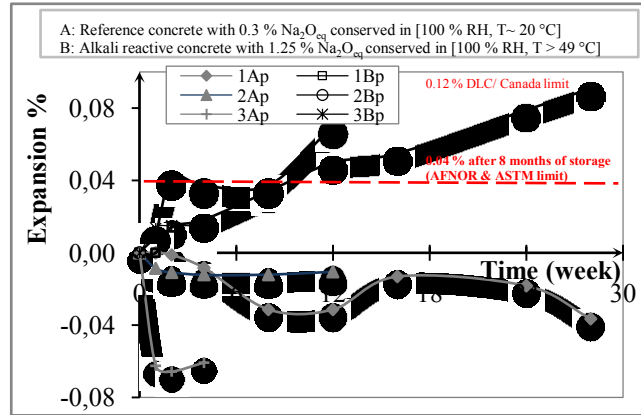


Figure.5: Expansion test with prismatic samples (7 x 7 x 28) cm with (3B, 2B and 1B) concrete from 1 to 24 storage weeks.

In expansion curves in the figure 6 of cubic specimens with (1B, 2B and 3B) concretes; the expansion phases were incomplete in both directions horizontally and vertically.

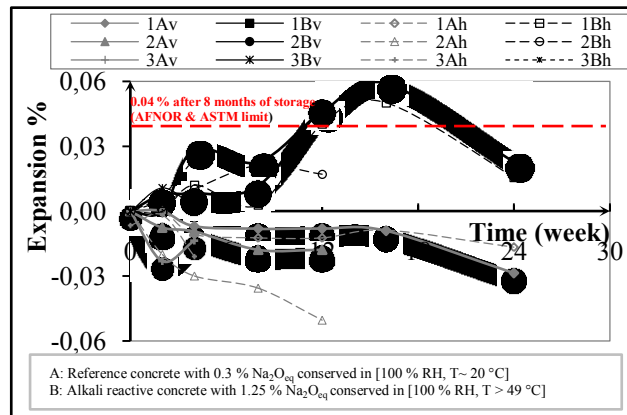


Figure.6: Expansion test with cubic specimen (10 x 10 x 10) cm with (3B, 2B and 1B) concrete from 1 to 24 storage weeks.

After 6 months of expansion test in cylinders (1B) had an extreme expansion with (5.34 ‰) comparing with Mohamed (1.34%, the aggregate used is Opal) [33], prism shown (0.9 ‰) comparing with Habita (1‰) [38], the cubes were (0.59; 0.50) ‰ in the both directions vertical and horizontal. However, as we have said that concrete (A) presented shrinkage for all sample types with an extreme rate in cylinders of (-1.66 ‰). Our aggregate reactivity is important in (B) concretes; it's confirmed that the aggregate used is "Highly reactive" with DLC limit- Canada as tabulate in the table 5. These expansion rates put these aggregates as "Reactive Aggregate" for the American and French code tests ASTM-1105.95 and AFNOR-587 [31, 39].

Table.5: The expansion limits according to standards ASTM, ACNOR and AFNOR

Test	Original test	Sample cm	Curing		Na ₂ O _{eq} %	Expansion limit %
			T °C	RH %		
ACNOR 94 ACNOR-14	ASTM	7.5 x 7.5 x 28.5 Concrete	38 ± 2	Moist room or reactor AFNOR RH (isn't specified)	0.9 ± 0.1	Measures time 1, 2, 4, 8, 13, 18, 26, 39, 52 weeks Limit (isn't limited)
AFNOR 90 AFNOR-587 Replaced by AFNOR-594 (2004)	AFNOR-585 on mortar bars 2.5 x 2.5 x 28.5 and ACNOR-14	7 x 7 x 28	38	100	1.25	Measurement at: 1, 2, 3, 4, 6,8, 12 months Limit > 0.04 % at 8 months
AFNOR 90 AFNOR-585	ASTM C227	2.5 x 2.5 x 28.5	38	100	1.25	-

3.1.2. 'ACR' alterations' investigation

In this research, the Macroscopic and Mesoscopic scales present two monitoring kinds: internal and external examination of concrete samples without magnification device; photos are taken to be physically analysed.

- External texture: in the external faces for all samples during 24 weeks of test; concrete textures are different from (A to B) concretes: (A) showed a normal texture aspect (no deteriorations). Though, (B) type was attacked by 'ACR' damages after a few storage days; expansion was appeared with concrete discoloration due to the white 'AAR' gel which was as fine grain coming from internal to external concrete matrix until a completely whitish colour for face samples. This moving gel was in the pores, aggregates, cracks as shown in figure 7.

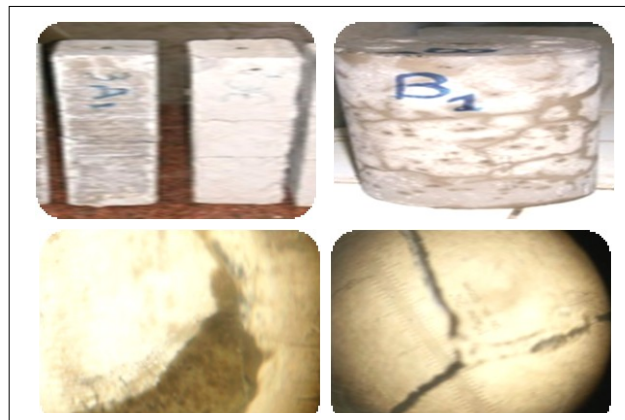


Figure.7: Cracks, checking cracks, gel exudation and discoloration faces in the cylinder and prismatic samples with (B) concrete during 6 storage months (M24X).

In other hand, at the first conservation month and as a function of storage time crack started, could be measured, with 120 ° as angle which noted also by Y-Form (Isle of Man's form), in three directions propagated (3D) until giving the polygonal form of 'AAR' checking cracks networks. The first micro-cracks were seen at the specimen boundaries; the biggest open crack was about 1.0 mm measured in cubic samples (M24X). Then we had saved (0.65) and (0.34) mm in the cylinder and prism elements successively comparing with Habita (0.1mm in the cylinder 16x32cm) [40]. Cracks graph bars started approximately at 1 month, checking cracks graph bars had taken place at 3 months in figures 8 and 9.

The (Mesh-Time) graph bars had achieved by extreme mesh numbers with (15306.1, 9001.5 and 4671.8) Mesh/m² for the prisms, cubes and cylinders respectively.

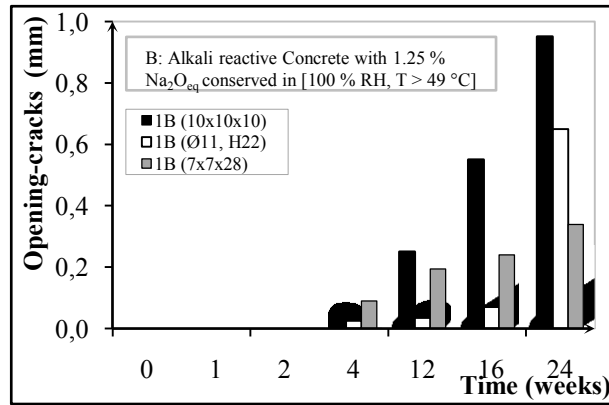


Figure.8: Opening-cracks evolution in ACR concrete (B) with specimens: cylinder (h 22, Ø 11) cm, prisms (7 x 7 x 28) cm and cubes (10 x 10 x 10) cm, after 6 storage months.

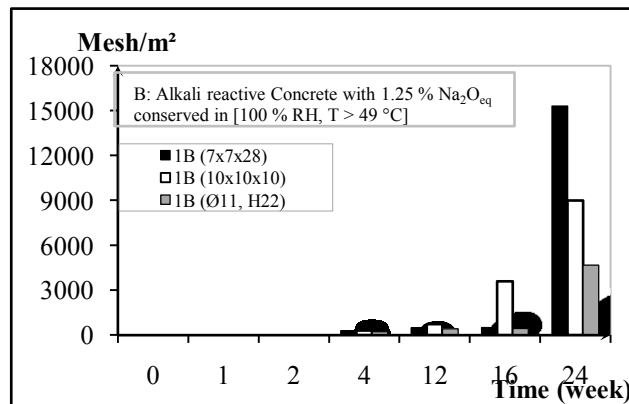


Figure.9: Checking cracks evolution in cylindrical specimens (Ø11, H22) cm, prisms (7 x 7 x 28) cm, cubes (10 x 10 x 10) cm with concrete B attacked by ‘AAR’ after 6 storage months.

- Internal texture: after mechanical tests when analysing internal concrete in the middle area of the failure section in the prismatic specimens with (7 x 7) cm dimension; abnormal discolorations are seen with a similar colour (Brown) and shape in all (B) samples which known by (AAR AUREOLES). This aureoles appear clearly beyond two months in 7 x 7 x 28 cm prisms with doped concrete (2B) and the gel was on the pulled granulate especially in (granulate-cement) adherence area. On the other hand, (A) concrete remained a normal internal textures equally without aureoles (fig. 10).

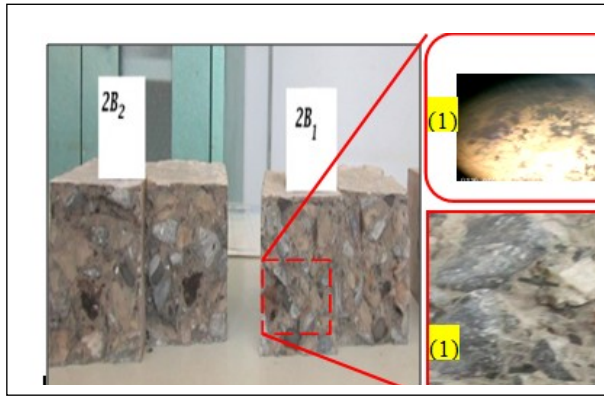


Figure.10: Brown aureoles and ‘AAR’ gel around granulates in samples with prismatic section 7 x 7 x 28 cm in doped concrete (2B) with 3 months age (M24X).

Around some aggregates in (B) concrete aureoles with brown colour are present as in the ‘ASR’ case, Shrimmer author has thought that the ‘ASR’ gel appears with movement from granulate to the cement paste frequently [41]. It could be the silica effect for our concretes because we have about 20 % of SiO₂ in the aggregate used in figure 11.2. Chemical components of some used materials as quarry aggregates and cement, also produced materials as ‘ACR’ Gel are in figure 11.

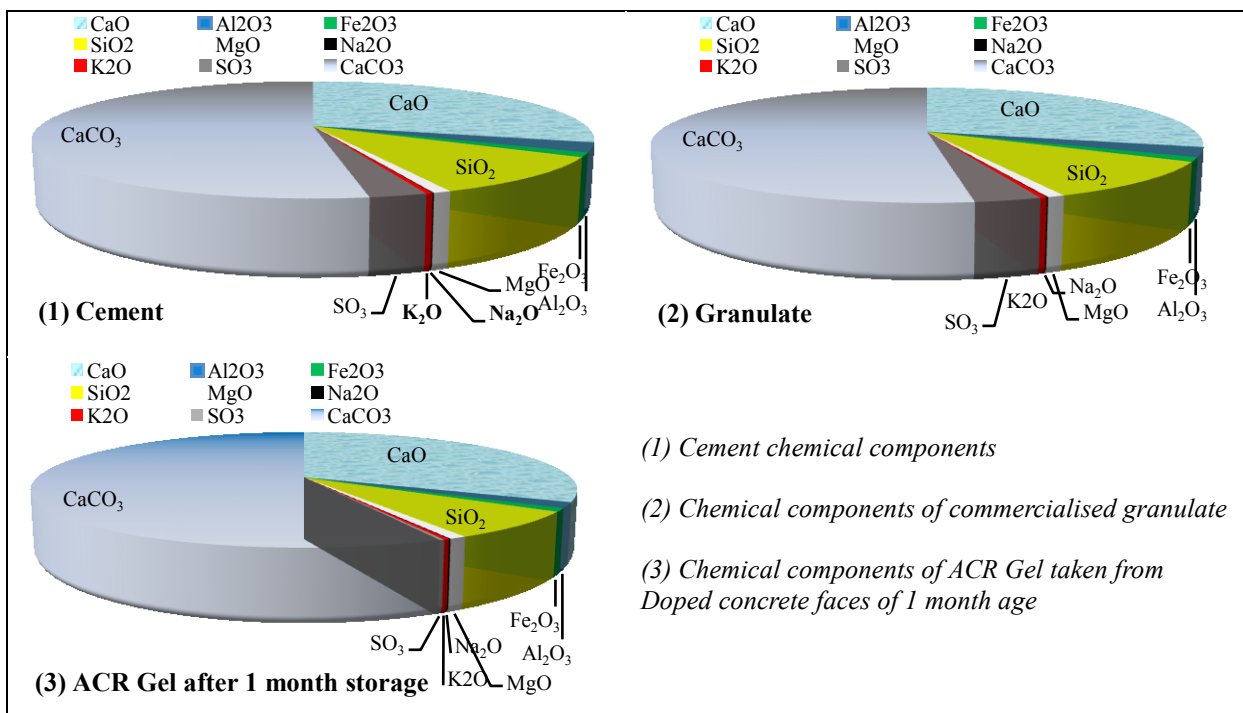


Figure.11: Chemical components of cement, ACR Gel at 1 month aging and commercialized quarry granulate tested by XRF test and plotted in 3D with Excel- STAT professional.

In the internal cross area of prismatic specimens with (B) concretes, gel appears around the pulled granulate and aureoles appear also in the mortar section adherence that around this granulate. These observations guide us to think about the gel and the aureoles effect on the (cement-granulate) adherence, because we have scouted two aggregate types in specimen cross sections which are: Pulled and crashed granulates. When counting these tow aggregate types and comparing them in (B & A)

concretes we could see easily the gel and aureoles effect on the adherence zone (fig. 12). Figure 12 presents pulled granulate percentage, crashed granulate and aureoles also in (A and B) prisms cross section 7 x 7 cm when we have a symmetric behaviour and simultaneously increasing and decreasing:

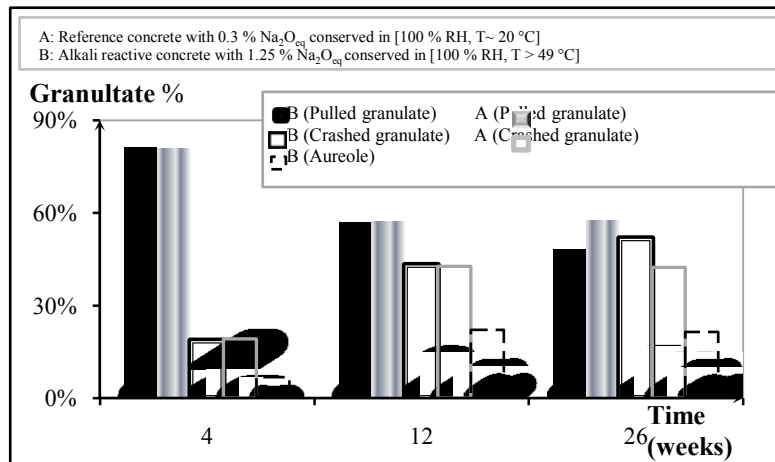


Figure.12: Pulled and crashed granulates distribution in the cross section (7 x 7) cm at the prism's middle section 7 x 7 x 28 cm in concretes (A and B) of 28 days, 3 et 6 storage months after bending test.

- The pulled granulate percentage had a good cohesion because it indicates a weak number in it; it also means when structural element is loaded strengths can pass through cement paste to granulate successfully. So, 80 % of pulled granulate at first test month significant that 'Cement-Granulate' cohesion is weak for the both concretes (A and B).
- After the 3rd month; the cohesion has increased and showed 60 % for pulled granulate in both concretes also but Aureoles are more than 20 %; at that age 'ACR' gel formation and opening cracks are considerable as shown in the figure 8. Hence; (A and B) concrete strength is progressing as a function of time and formed gel participated by compacting the concrete matrix when filling cavities.
- At the end of the 6 month test; we could see some stability by maintaining of the crashed and pulled granulate percentage and even the aureole amount; it indicates chemical reaction's last stage for strength and 'ACR' alterations. We noted a small difference between (A and B) concretes because of the gel diffusion through crack network in the concrete external skin.

Microscopic examination, to analyse these concretes the petrography method is chosen; samples were on a thin section (45 x 30 x 1.5) mm analysed in the Geology department laboratory (UBMA). Many photos were taken from the structural elements's skin in the concretes (A and B) when this method is applied by means of the polarized optical microscopy POM. We choose some photos to identify the concrete matrix components in the reference concrete (A) we try to compare them with the affected concrete (B) in order to extract the 'ACR' effects microscopically.

In the first storage month; the concrete sands (A) were drowning in cement paste its boundaries were badly seen. The gravels were with black cracks coming from the origin rock which is Limestone; this stone type has a broken aspect usually. These cracks are parallel cracks sometimes filled with a white material noted by Calcite (CaCO_3) in the figure 13.1. At the 'cement-granulate' adherence area when it was Marly limestone aggregate this area was clear with about 60 μm of width; and when it was a limestone aggregate this area contained empty cracks as shown in figure 13.2. At the first storage month the alkali reactive concrete sands (B) were composed from Limestone and some Quartz rocks;

the boundaries were clearly seen. The gravels were composed from dark Marly Limestone and Limestone stones also and rich in microfossil; and boundaries were clearly seen with grey colour and the circular pores but cracks were in cement paste only.

The ‘AAR’ gel was absent from granulate and cement paste; it equally absent from cracks and pores observed for both concretes (A and B) at this early age of the first month storage.

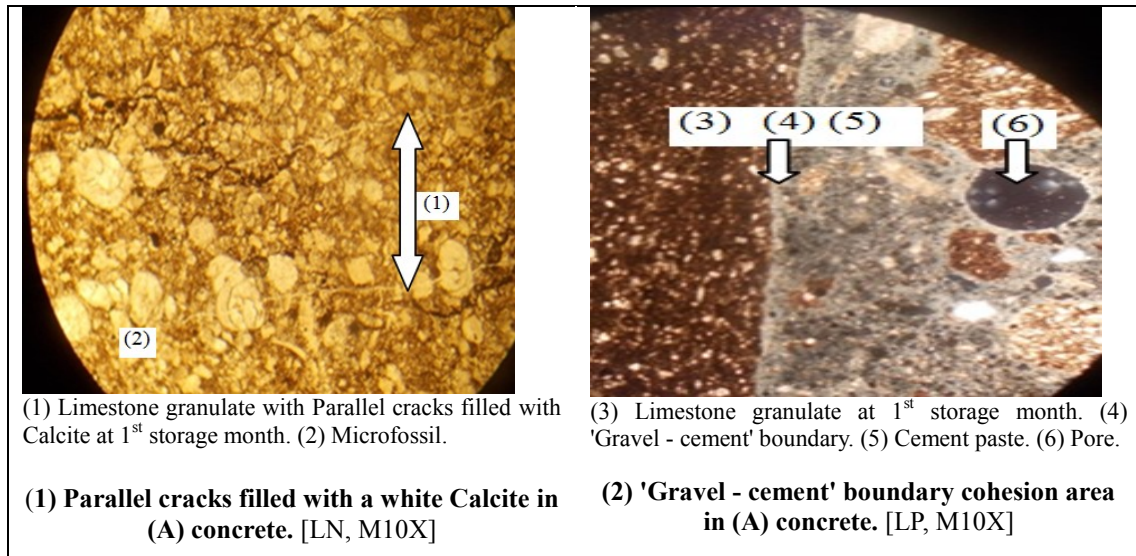


Figure.13: Microscopic examination by means of POM in geology laboratory of UBMA

3.2. Mechanic characteristics

The graph bars of compressive and tensile failure strengths presented the progress of these mechanical characteristics for both concretes used (A and B) for all samples in the first test month when textural alterations are in early stage in the figure 14. The concrete strengths (A) were more important during these tests than (B) concretes; except at 3 months when (B) was higher than (A) in compressive behaviour. At three storage month, ‘AAR’ gel filled concrete pores and made our material more compact; so it participated in strength cross. Then, when gel had moved through these cavities, pores and network cracks to the exterior medium; the concrete compactness became weaker and strength decreased.

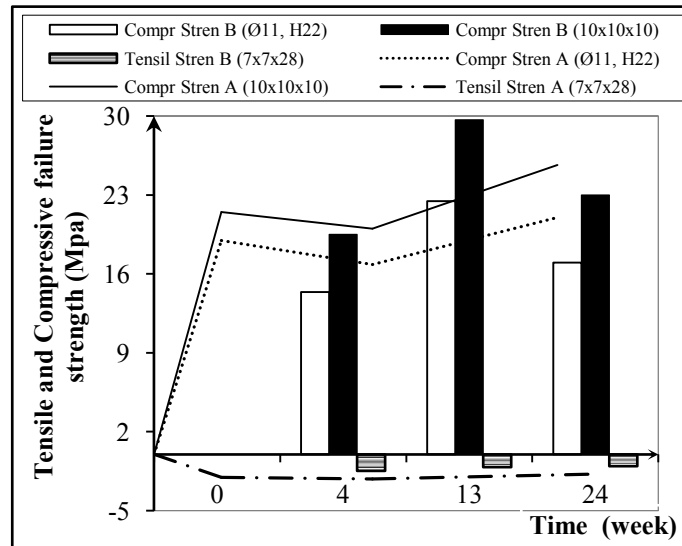


Figure.14: (Tensile and Compressive strength –Time) curves graph bars at failure of cylindrical specimens (h 22, Ø 11) cm, cubes (10 x 10 x 10) cm and prisms (7 x 7 x 28 cm) with concrete types (A and B).

At the end of these tests, the extreme compressive strengths saved in concrete (A) for cylinders and cubes were 21.0 and 25.67 MPa respectively. The extreme tensile strength in prisms was 3.65 MPa after 3 storage month.

In concrete (B), extreme compression strength was at third month 22.46 and 29.67 MPa in cylinder and cubes, respectively. Then they had reduced to achieve (18.15 and 17.95) % at the end of the test, comparing with the strength at 4 weeks conservation. In concrete (B), extreme tensile strength was 2.42 MPa measured after storage 4 weeks.

When comparing (B) to (A) tensile and compression results; differences at 4, 13 and 26 conservation weeks for all samples were respectively:

- Prism specimens: 28.74 %, 48.60 % and 10.97 % (B decreases compared to A)
- Cylinder specimens: 24.07 % (decrease), 33.33 % (increase) and 19.05 % (B decreases compared to A).
- Cubic specimens: 09.30 % (decrease), 48.33 % (increase) and 10.39 % (B decreases compared to A).

4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

To detect (ACR) attacks after six months of tests on several specimens on concrete we found:

- Reference concretes (A) after 4, 13 and 26 test weeks: Material (A) maintains its normal texture, good mechanical proprieties and microstructure for all tests and specimens.
- Concretes (B) attacked by (AAR): which was conserved in high levels of (HR - T°) with adding alkalis to its mix design, we detected concrete damages, as:
 - *Physical and texture deteriorations: expansion, opening crack, discoloration.*
- Length changes were measured in all samples, extreme expansion rates were in cylinders then cubes expanse in both directions (Horizontal and vertical).
- (Expansion-Time) curves had an (S) form according to a three-tangents-method. This curve shape is complete and clear for cylinders only, but in prisms it is a linear and incomplete form; in cubes it is a curve line and unclear.

- Expansion is combined with concrete discoloration after a few days of test begging; a white gel was diffused through specimen faces and became whitest for all samples as a function of time.
- At the first conservation month crack started; (Y) form is created and progressed during tests. And the extreme opening crack was measured in cubes at the end of tests.
- Cracks propagated at concrete faces in both directions transversal and longitudinal, even in depth. When they meet, a polygonal form of checking cracks occurred in alkali reactive concrete; and the extreme meshing was measured in prisms at the end of tests.
- Cracks started at the 1st month approximately, checking cracks had started at 3rd month in the expansion tests.

- *Mechanical deteriorations:* The concrete strengths (A) were more important than (B) for compression and traction tests; except at 3rd month when (B) was higher than (A) in compressive behaviour. At three storage month, 'AAR' gel filled concrete pores and made our material more compact; gel participated to strength progress. Then, when it had moved through these cavities, pores and network cracks to the exterior medium; the concrete compactness became weaker and strength decreased due to empty cavities.

- *Microscopic examination:* At the 1st storage month, in concretes skin (A and B) there is a good micro-structural aspect which explains the strength progress at the first test month for these materials; it's the first stage of 'ACR' reactive without important material damages.

In general, the damages are physico-chemically higher until 1st storage month for the alkali reactive concrete; after that the mechanical aspect is highly affected. So we confirmed that for all structural elements our aggregates are "reactive" and "High reactivity" except cubes, according to standard codes ASTM-1105.95, AFNOR-587 and DLC- Canada.

We recommend more studies for this attack types with local material, and we also recommend varying the exposition medium with other parameters to identify this chemical issue. When combining these proprieties sand symptoms which participate in the mechanism of 'AAR' pathology; in order to limit this internal reaction effect.

REFERENCES

- [1] Kalousek G.L., 1944. Studies of parts of quaternaire soude-chaux-silice system in water at 25 ° C, Journal of research of standardization national office, vol.32, 32-285.
- [2] Hansen W.C., 1944. Standing on mechanisms by which the global reaction of 'AAR' resultants expanse in concrete, Journal of ACI, 227-237.
- [3] Glasser L.S., Kataoka N., 1981. Chemical of 'AAR', Cement research journal, Elsevier, vol.11, pp.1-9.
- [4] Poole A.B., 1992. Alkali-silica reactivity mechanisms of gel formation and expansion. In: Proceedings of the 9th International conférence on alkali-aggregate reaction, London, UK, 104, pp.782-789.
- [5] Dron R., Brivot F., 1992. Thermodynamic and kinetic approach to the alkali-silica reaction. Part 1: Concepts, Cement and Concrete Research, vol. 22, pp. 941-948.
- [6] Wilson M., Cabrera J., Zou Y., 1994. The process and mechanism of alkali silica reaction using fused silica as the reactive aggregate, Advances in Cement Research, vol. 6, pp .117-125.

- [7] Pan J., Feng Y., Wang J., 2012. Modeling of alkali-silica reaction in concrete: A review. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, vol. 6, pp. 1-18.
- [8] Saouma V.E., Hariri-Ardebili M.A., 2014. A proposed aging management program for alkali silica reactions in a nuclear power plant, *Nuclear Engineering and Design* 277, pp. 248-264.
- [9] Diamond S., 2000. Chemistry and other characteristics of ASR gels. 11th proceeding of international conference on 'AAR' conference on alkali-aggregate reaction in concrete, Quebec City, Canada, vol 31, p.40.
- [10] Fournier B., Berube M.A., 2000. "'AAR' in concrete, Basic concept and Engineering implications review", *Canadian review of civil engineering*, vol.27, pp. 167-191.
- [11] Katayama T., 1992. "A critical review of carbonate rock reactions – Is their reactivity useful or harmful?", *Proceeding of the 9th Int. AAR Conf*, London UK, pp 508-518.
- [12] Katayama T., 2004. "How to identify carbonate rock reaction in concrete" *Materials Characterization, An International Journal on Materials Structure and Behaviour* (Ed. Chris Bagnall), Vol. 53, pp 85-104.
- [13] Katayama T., 2010. "The so-called alkali-carbonate reaction 'ACR' - Its mineralogical and geochemical details, with special reference to ASR", *Cement and Concrete Research of Elsevier journal*, vol.40, pp. 643-675.
- [14] Grattan-Bellew P.E., Mitchell L.D., Margeson J., Min D., 2010. Is alkali-carbonate reaction just a variant of alkali-silica reaction ACR = ASR? *Cement and Concrete Research*, vol. 40, pp.556-562.
- [15] Multon S., 2016. Concrete internal swelling reactions: origins and mechanical consequences at the material and structure scales, the habilitation to direct the research of the University of Toulouse, Paul Sabatier, pp.1-115.
- [16] Habita M.F., Bouabdallah F., Rehamnia N., 2011. "Detection of aggregate reactivity at the Algeria east, by autoclave test and that of ACNOR (CSA) (2)", *International seminar, Innovation and recovery in civil engineering & construction materials INVACO2-Rabat*, n° 2P-072, pp. 1-6.
- [17] Bouabdallah F., Habita M.F., Kherici Bousnoubra H., Rehamnia N., 2016. "Monitoring of the Concrete Deteriorations in Structural Elements Affected by Alkali Aggregate Reaction "AAR"", *Journal of Civil Engineering and Architecture Research JCEAR, ETHAN*, pp. 1763-1781.
- [18] AFNOR NF P18-301, 1983. *Aggregates- Natural aggregates for hydraulic concrete (E)*, French Standards Association AFNOR, pp.19- 28.
- [19] AFNOR NF P18-304, 1973. "Granulates- Granulometry of aggregates (E)", French Standards Association AFNOR, pp. 33-39
- [20] AFNOR NF P18-309, 1982. "Aggregates- Rotary- Furnace made expanded clay or shale aggregates for making concrete (E)", French Standards Association AFNOR, pp. 48-60.
- [21] AFNOR NF P18-554, 1979. "Granulates-Aggregates-Measurements of mass per unit volume, porosity, coefficient of absorption and contain in water of chippings and pebbles (E)", French Standards Association AFNOR, pp. 78-80.
- [22] AFNOR NF P18-555, 1980. "Granulates- Aggregates- Measurements of mass per unit volume, coefficient of absorption and contain in water of sands (E)", French Standards Association AFNOR, pp. 81-83.
- [23] AFNOR NF EN 933-2, 1997. "Tests Method for geometrical properties of aggregates", French Standards Association and European Standards AFNOR and EN.
- [24] AFNOR NF P18-451, 1981. "Concretes- Slump test (E)", French Standards Association AFNOR, pp. 288-289.

- [25] ACNOR CSA A23.2-5C, 1994. "Concrete slump determination", Canadian Standards Association ACNOR, pp. 339-341.
- [26] AFNOR NF P18-405, 1981. "Concretes data test manufacturing and samples conservation (E)", French Standards Association AFNOR, pp. 232-234.
- [27] Vivian H.E., 1951. "Some Effects of temperature on mortar expansion", Journal of Applied Science 2 Australia, pp. 114-122.
- [28] Chen H., 1988. "The effect of cement composition on alkali-aggregate reaction", final report, IRC, National Research Council, Ottawa, DSS Contract N°1SQ84-00349, N°DSS Contract N°1SQ84-00349.
- [29] ACNOR CSA A23.2-14A, 1994. "Potential expansively of aggregates (procedure for length change due to alkali-aggregate reaction in concrete prisms at 38°C)", Canadian Standards Association ACNOR, pp. 230- 240.
- [30] AFNOR NF P18-594, 2004. "Aggregates- Test methods of reactivity to alkalis", French Standards Association AFNOR, pp. 174-179.
- [31] AFNOR NF P18-587, 1990. "Aggregates- Dimensional establishes in alkaline field", test for concrete, French Standards Association AFNOR.
- [32] Plumier A., 2006. "Pathology and structural repairs of buildings, Characterization of an existing structure", department of Architecture, geology, environment and constructions, Liege university, Book part 02, pp. 100-139.
- [33] Mohamed I., 2004. "Contribution to the study of alkali reactive concrete containment of composite materials (epoxy carbon) ", Ph.D. Thesis, UCBL, pp. 77-237.
- [34] AFNOR NF P18-406, 1990. "Concretes- Compression test", French Standards Association AFNOR, pp. 235-237.
- [35] ACNOR CSA A23.2-9C, 1994. "Compressive Strength of cylindrical concrete specimens". Canadian Standards Association ACNOR, pp. 354-363.
- [36] AFNOR NF P18-407, 1981. "Concretes- Bending test", French Standards Association AFNOR, pp. 238-240.
- [37] Larive C., 1997. "Combined contribution of experimental and modelling to the understanding of the alkali reaction and its mechanical effects", Ph.D. Thesis, National School of Bridges and Roads LCPC, pp. 6-327.
- [38] Habita M.F., 1994. Study of the Alkali-aggregate reaction on concrete prisms. Cement and Concrete Research, Elsevier science Lid Printed in The USA Vol.24, N°.3, 473-478.
- [39] ASTM C1105-95, 2004. "Standard Test Method for Length Change of Concrete Due to Alkali-Carbonate Rock Reaction", American Standard of Testing Materials ASTM-C, pp. 1-4.
- [40] Habita M.F., 1992. Contribution to the study of the impact of Alkali-Reaction on the mechanical behavior of reinforced concrete beams. PhD thesis in Civil Engineering, Claude Bernard University, Lyon 1, France, 221p.
- [41] Shrimmer F.H., 2006. "Development of the damage index's method as well as tool in the evaluation of the AAR in concrete", Colloque 'Alkali-granulate reactivity in concrete', Montreal, pp. 391-411.

Nomenclature

\emptyset	Diameter of Cylindrical specimen or dia (cm)	<i>LCPC</i>	Recommendation for damage prevention due to 'AAR', and central laboratory of roads and bridges (LCPC – 1994)
<i>ACNOR- CSA</i>	Canadian Association for standardization	<i>M20X</i>	Magnification (e.g: zoom 20)
<i>ACR</i>	Alkali Carbonate Reaction	<i>Na₂O_{eq}</i>	Equivalence alkali (%)
<i>AFNOR</i>	French Association for standardization	<i>NC</i>	Normal consistency
<i>AS or NS</i>	Algerian standard (National)	<i>NL</i>	Natural light
<i>ASR</i>	Alkali Silica Reaction	<i>PL</i>	Polarize light
<i>ASTM</i>	American Standard Testing Materials	<i>POM</i>	Polarized optical microscopy
<i>CPA</i>	Cement Portland Artificial	<i>RH</i>	Relative Humidity or Hygrometry (%)
<i>CPJ</i>	Cement Portland Composite	<i>T</i>	Temperature (°C)
<i>DLC Canada</i>	Laboratory roadway direction/ Canada	<i>UBMA</i>	University of Badji Mokhtar-Annaba
<i>FM</i>	Fineness modulus	<i>XRF</i>	X-ray fluorescence
<i>H</i>	High of Cylindrical specimen (cm)		

Simulation and optimization of realized traction factor of belt conveyor**Simulation et optimisation de facteur de traction réel du convoyeur à bande**

Naima Djouema* & Ali Belhamra

*Laboratory of Electromechanics systems (LSELM), Badji Mokhtar Annaba University, Po Box 12, 23000, Annaba, Algeria.**Soumis le : 18/02/2018**Révisé le : 16 /05/2018**Accepté le : 20/05/2018***ملخص**

إن الخصائص الديناميكية للأحزمة الناقلية مرتبطة بعامل المرونة ولزوجة التخميد. هذه الورقة تعالج تقييم احتياطات الشد للأحزمة الناقلية من أجل تحسين قدرتها في التشغيل الآمن، حيث تم التعبير عن العلاقة بين قوى الشد عند مدخل ومخرج البكرة المحركة بمعدلات رياضية مع الأخذ بعين الاعتبار الخصائص التقنية للحزام، وتركيب الناقل واستخداماته (ميلان، طبيعة الشحنة، التركيبية) النموذج الذي تم تطويره في هذا العمل يمكن استخدامه كأداة لمراقبة حدود مرونة الحزام من أجل تجنب الانزلاق بين الحزام وبكرة القيادة حيث قمنا بمحاكاة عملية نقل الجهد الحركي للحزام والتصاقه مع بكرة المحرك مما يسمح لنا بالسيطرة الكاملة على قدرة الناقل وعامل الشد. وهذا سيمكن من تقييم وتقدير احتياطات الالتصاق والتنبؤ بالمخاطر المرتبطة به. هذه المنهجية تمكن من حماية الحزام الناقل من التمزق ومن الالتصاق حول بكرة المحرك والاستعمال السليم.

الكلمات المفتاحية: الحزام الناقل، المراقبة، التحكم، عامل الجر، نقل الحركة

Résumé

Le présent papier traite de l'estimation des réserves de traction du convoyeur à bande afin d'optimiser ses capacités pour un fonctionnement sans risques. La relation entre les forces de traction à l'entrée et à la sortie du tambour d'entraînement est mise en équation mathématique qui prend en considération les caractéristiques techniques de la bande, la configuration du convoyeur et son utilisation (relief, type de charge et construction). Le modèle développé dans ce travail peut être utilisé comme outil de contrôle des limites d'élasticité de la bande pour éviter son glissement sur le tambour d'entraînement.

La simulation du processus de transmission de l'effort moteur à la bande et de son adhérence avec le tambour d'entraînement nous permet une exploitation contrôlée des capacités de traction du convoyeur. Ceci permet d'évaluer et d'estimer les réserves d'adhérence et de prévoir les risques de glissement. Cette approche peut assurer un contrôle et une surveillance du convoyeur à bande afin d'éviter une usure excessive de la bande et par la même un bon fonctionnement.

Mots clés: convoyeur à bande, surveillance, contrôle, facteur de traction, transmission par bande

Abstract

The present paper discusses the estimation of belt conveyor tensile reserves to optimize its capacity in order to obtain a safe operation. The relation between traction forces at the input and the output of the drive drum is mathematically expressed taking into account the technical characteristics of the belt, the conveyor configuration and its use (inclination, load type and design). Moreover the model developed in this work can be used as a tool to control the elasticity limits of the belt to prevent it from slipping on the drive drum.

The simulation of transmission process of the motor force on the belt and its adhesion with the drive drum allows a controlled exploitation of the conveyor traction capacity. This makes possible the evaluation and the estimation of the adherence reserves and predicts the risks of slipping. This approach can insure conveyor control and monitoring to prevent the belt from excessive wear and thus good operation can be obtained.

Key words: Conveyor Belt, Monitoring, Optimization, Traction factor, Belt Transmission

* Corresponding author : djoueman@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

Belts conveyors are used for many decades for handling bulk material mass flows over short and medium conveying distances. They showed their effectiveness world wide[1] and can be adapted to suit any local conditions. Actually belt conveyors are considered as continuous transporting means in mining and industrial plants. They continue to be largely used because of their economical effectiveness and operating safety. The rising demand in flow with more important transporting distances require an adequate technical development of belt conveyor as it becomes a serious competitor to railway and truck transport. The increased economical requirement needs to use conveyors with large belt and important flow for long distances, in certain cases the distance can reach 100 km (i.e. conveyor installed in New Caledonia).

Numerous works have been reported on dynamic performance parameters of the belt [2, 3]. The study performed on the relationship between traction and slip in a wheel-driven belt conveyor showed that the belt speed has little effect on traction [4]. Other works conducted on dynamic modeling, feedback and switching control for conveyors belt demonstrated that a proportional-integral controller (PI) is suitable to control the content in conveyor belt whereas, fuzzy-immune PID controller help to start the belt conveyor softly and the output speed follows the preset speed with only small fluctuations [1, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. The mathematical model was developed and critical financial parameters as well as transport simulation technology were determined for belt conveyor [11].

In practice, the improvement of belt conveyors efficiency is achieved mainly by introducing highly efficient equipment such as energy-efficient motors, and variable speed drives (VSDs) [12],[13],[14]. Transmission management of drive pulley traction effort to the belt is the key for rational and optimum exploitation of conveyor traction capacity taking into account motor power, belt characteristics, conveying distance and transporter productivity. Transporting belt is the main element of the system and must resist to numerous and different constraints. Moreover, each belt conveyor installation has its specific problem and requires a rigorous planning and computation in order to reach transport optimum capacity with high efficiency by optimizing the economical, security and environmental criterions.[14]

The present paper focuses on the design traction factor (e^{μ} coefficient) in order to increase machine efficiency, transporting belt life time, and controlling and monitoring with high accuracy slipping phenomena. The purpose is to show the importance of real traction factor (\mathbf{a}) which is the ratio between input and out put drive pulley tensile enabling to act on parameters directly related to exploitation conditions such as the flow, minimal tensile at drive pulley out put and wrap angle (angle between the belt and the drive pulley).

Simulating tests of the developed equation of forces acting on the belt by changing operating conditions (inclination angle, load to vary input tenseness and output tenseness) were performed in Matlab Simulink environment.

The presented approach deals with the management of machine efficiency, control and monitoring of different and essential parts which leads to the improvement of system reliability to prevent system failure. In addition this will serve as experience return to program other systems (installations). It is also important to change inclination angle of belt conveyor β to show the effect of moving masses gravity (load, belt, etc...) and utilization rate of real traction factor of belt conveyor.

2. MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT

Traction transmission effort of drive pulley to the belt is realized by adhesion as a result of friction produced in superficial areas of two corps maintained in contact accomplishing a motion in respect to each other in absence of lubricant.

Supposing, the elastic traction device is in motion on pulley surface, thus tensile in any separate section of the belt (dx) can be determined by the following equation:

$$\frac{dT}{dx} = F \times N \quad (1)$$

Where,

dT-Tensile strength required for a section of the belt dx

F- Friction factor of the belt on the pulley

N- Normal specific pressure of the pulley on the belt daN/m.

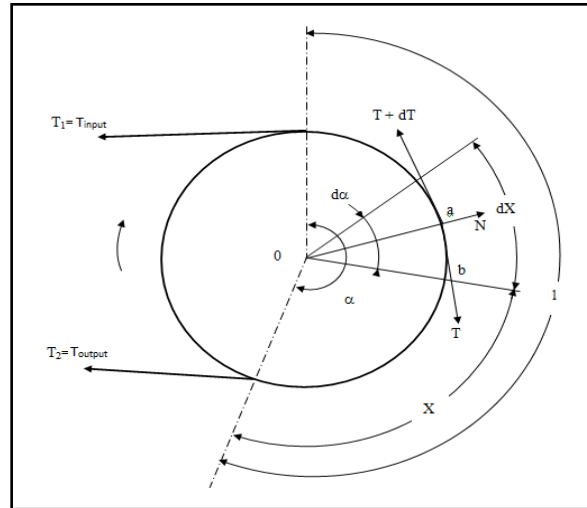


Figure.1.Belt drive pulley scheme

Normal specific force N can be determined by considering a small part of the belt dx, in front of angle dα as illustrated in Figure1.

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{T_{inp}}{T_{out}} = e^{f\alpha} \quad (2)$$

This equation is obtained on the basis of Euler theory considering wire passing around the pulley where the ends are subjected to tensile T_1 and T_2 . The wire mass is negligible, not extendible and doesn't present any resistance on the pulley and rotates in the opposite direction [13]. The wrap angle(α) is the angle the belt making with drive pulley. When the traction factor design $e^{f\alpha}$ is equal to the ratio of input and output tensile, the operation is called operational regime at the boundary.

$$\frac{T_{inp}}{T_{out}} = e^{f\alpha} \quad (3)$$

The presence of rest angle which corresponds to the belt when is not subjected to any effort, representing the normal operational regime. In Euler theory the boundary regime is when $\alpha_{rest} = 0$, thus in practice the existence of such angle is necessary to obtain an efficient transmission effort.

In the area where this angle exists, the tensile on the belt is usually constant in spite the variation of tensile at belt input as illustrated in Figure.2.

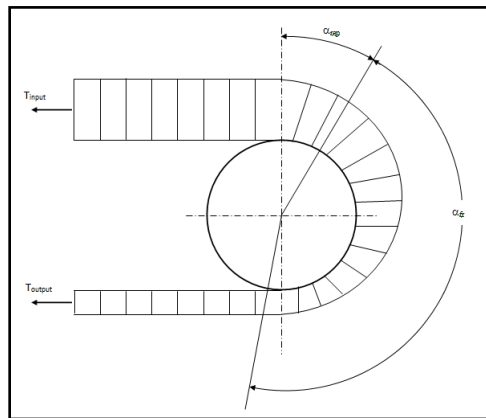


Figure.2. Tensile distribution on belt drive pulley

α_{ad} is the adhesion angle enabling to realize the real belt traction factor. The presence of rest angle (α_{rest}) (tensile is constant) means that the design traction factor is less than the ratio of input and output tensile leading to the following equation:

$$\frac{T_{inp}}{T_{out}} < e^{f\alpha} \quad (4)$$

In general the belt conveyor is operating as follows:
As motor (belt conveyor in rising conditions)

$$\frac{T_{inp}}{T_{out}} \leq e^{f\alpha} \quad (5)$$

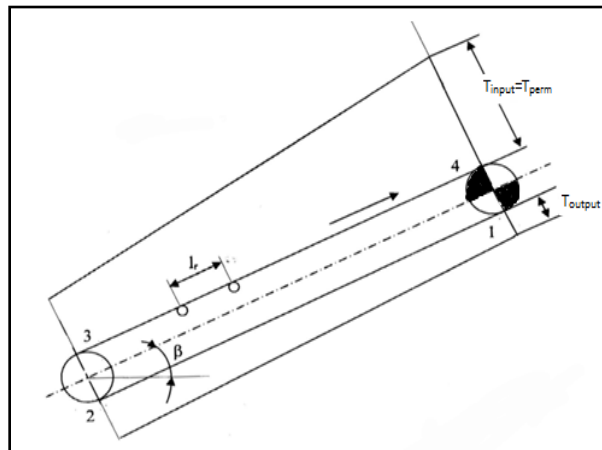


Figure.3. Belt conveyor tensile diagram

In these conditions, the load increase on the belt conveyor is limited by the design traction factor $e^{f\alpha}$ and when the input tensile increases for a given value, this equality will not be respected. Therefore, the belt will start slipping on the drive pulley.

In real operational conditions, the ratio (T_{inp}/T_{out}) as shown in Figure.3 represents the realization degree of traction capacity of the machine in respect to design characteristics. Thus, real traction factor depends on the resistance to motion of carrying and return side, load, belt, bearing roller and transport distance. This factor is compared to the design factor which depends on the quality of pulley coating and wrap angle.

The relation representing braking regime is as follows:

$$\frac{T_{out}}{T_{inp}} \leq e^{f\alpha} \quad (6)$$

During the braking regime, the belt becomes the driving element and any load increase will produce a decrease in the input tensile of belt conveyor and its use will always depend on the design traction factor $e^{f\alpha}$.

3. CONVEYOR TRACTION FORCE CAPACITIES ANALYSIS

On the basis of this theory, the possible traction factor to be realized can be determined for ascendant conveyors (a), to be compared to the design traction factor $e^{f\alpha}$. The pulley conveyor installed with inclination angle β , as illustrated in Figure.3 where:

L- The distance between carrying rollers; m

T_{min} - Minimal (input) tensile on the belt; daN

T_{perm} -Permissible tensile of the belt daN

The conveyor real traction factor is determined by considering the entire belt break, thus at point 4 Figure.3, the tensile is similar to the permissible tension (T_{adm}) as illustrated in the equation below.

$$T_{perm} = \frac{T_{rup}}{m} = \frac{\sigma_r \cdot i \cdot B}{m} \quad (7)$$

T_{rup} -Belt tensile break, daN.

σ_r -Break specific strength, daN,

i- Beltp lies number,

m- Safety factor

B - Belt width, m

The output(minimal) tensile on point 3 is determined according the condition of the belt being tight.Thus, the following equation is obtained [13]:

$$T_{min} = T_3 = ((5 \div 10)(q_l + q_b)L_r) \quad (8)$$

q_l -load metric mass, Kg/m.

q_b -Belt metric mass, Kg/m.

L_r - distance between two carrying rollers, m

The coefficient taking in account operating conditions is ranging from 5 to 10 (opencast and underground mine) respectively. Thus, from Euler theory the real traction factor is as follows:

$$a = \frac{T_{inp}}{T_{out}} = \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_{perm}}{T_{out}} \quad (9)$$

If the permissible tensile is known, the tensile at the output (point 1) can be determined from the equations presented below.

$$T_i = T_{i-1} + W_{i \rightarrow i-1} \quad (10)$$

$$T_2 = T_1 + W_{2-1} \Rightarrow T_1 = T_2 - W_{2-1} \quad (11)$$

Similarly the same equation can be applied for carrying blade:

$$T_4 = T_{perm} = T_3 + W_{4-3}$$

$$T_3 = T_{min} = T_4 - W_{4-3} \quad (12)$$

Equation (5) represents the equation of belt break point on the carrying side

$$W_{2-1} = W_{empty} = \omega_{empty} L \quad (13)$$

$$W_{4-3} = W_{load} = \omega_{load} L \quad (14)$$

Where, W_{2-1} and W_{4-3} (daN) - represent motion strength of return side and carrying side respectively; ω_{empty} and ω_{load} (daN/m) - specific strength corresponding to themotion. From equation (12), conveyor permissible length is deduced (L_{adm}) and can be written as follows:

$$L_{adm} = \frac{T_{perm} - T_{min}}{\omega_{load}} \quad (15)$$

Moreover, the difference in tensile between point 2 and 3 is expressed by the coefficient K [13] which takes in account the strength to movement of the belt on the return pulley

$$T_2 = T_3 / K = T_{min} / K \quad (16)$$

The tensile at the output (point 1) will be:

$$T_{out} = T_1 = T_{min} / K - \frac{T_{perm} - T_{min}}{\omega_{load}} \quad (17)$$

The final equation of realized traction factor is written as follows:

$$a = \frac{T_{perm} \omega_{load} K}{T_{min} (\omega_{load} + K \omega_{empty}) - K \omega_{empty} T_{perm}} \quad (18)$$

It can be noticed that the parameters of this equation are constant excepting motion specific strengths (ω_{empty} and ω_{load}) which depend on belt metric mass, load, rollers and conveyor inclination angle. Specific strengths to movement are expressed as follows:

$$\omega_{empty} = q_b [(C_2 W \cos \beta \pm \sin \beta) + C_2 W q_r] \quad (19)$$

$$\omega_{load} = (q_b + q_{load}) [(C_2 W \cos \beta \pm \sin \beta) + C_2 W q_r] \quad (20)$$

Where,

q'_r And q''_r : upper and lower rollers metric mass respectively, (kg/m)

C_2 : coefficient taking in account local strengths at any point

The coefficient ω expresses the strength to motion of conveyor carrying and return sides. In the equations (19), (20) the sign + is used for ascendant side and - is used for descendant side. Thus, it can be deduced that the dependence of specific strengths to motion is essentially related to conveyor load variation and its inclination angle β , whereas other parameters depend only on its design.

The inclination favors the gravity effect of moving masses (load, belt), giving directly the used rate of conveyor traction factor. To illustrate these hypotheses, considering a conveyor with nominal load, variable inclination ($\beta = 0 \div 18^\circ$), break permissible force of the belt (belt designed with steel wire RTL-400) $T_{perm} = 360$ daN and a minimal tensile $T_{min} = 65$ daN.

The computation is carried out from the equations 18, 19, 20 and the curve of traction factor variation is plotted according to conveyor inclination angle, $a=f(\beta)$ as illustrated in Figure.4.

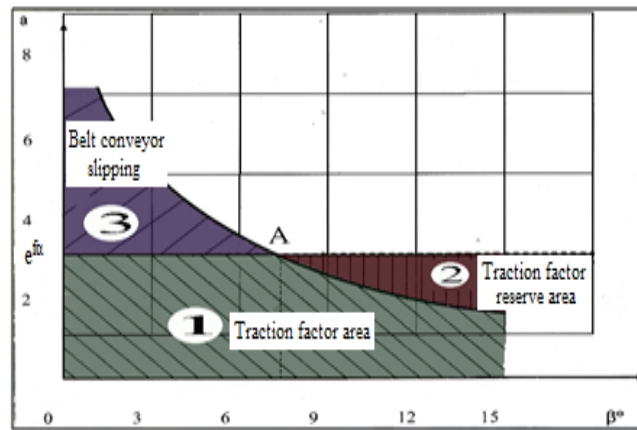


Figure.4. Real traction factor distribution

1. Traction factor area
2. Traction factor reserve area
3. Belt conveyor slip
- A. Optimum traction factor

From Figure.4, it can be observed that the ideal traction factor is obtained at the point A, representing the intersection of realized (a) and designed (e^{f_0}) traction factors. This corresponds to the ideal adhesion of the belt on the pulley. The area on the left of point A represents the traction factor when is fully used, beyond this slipping risk become higher (limits depend on design parameters). In contrast, on the right of point A, the limit is due to system adhesion parameters, where the gravity effect on the transported load is very important and in this case the slip risk is avoided.

In order to validate the developed model and show its effectiveness, computer simulation tests were conducted on two belt conveyors with different parameters as shown in table 1 and table 2.

4. COMPUTER SIMULATION AND EXPERIMENTS

Experimental tests were carried out to validate the developed model using computer simulation. In this part the traction factor variation in real conditions is observed with the entire rupture of the belt ($T_{perm}=T_{max}$) for two belt conveyors. A program of traction factor calculation is programmed according to conveyors inclination.

The main elements of this program are the equations of specific resistances of return side (empty) and carrying side (loaded) motion in which the effect of β on real traction factor (a) is introduced and considered as the most important element. This program enables to obtain curves of traction factor in relation to inclination angle with a possibility of varying the minimal tension, load and both simultaneously in order to simulate the conveyor real working conditions.

The developed program can be applied for any conveyor type under any conditions to test the machine in situ to improve its efficiency without the risk of damaging any element of the system (belt rupture, motor overheating).[14]

This program can also be applied to find reel traction factor of any system regardless the number of belt conveyor. Two belt conveying systems were taken as a case study with parameters illustrated in table 1 and table 2 presented below.

Table.1. Conveyors characteristics

Parameters	conveyor1	conveyor 2
Belt width (m)	1000	1200
Safety factor	4	4
Production (m ³ /min)	13,7	25
Calculated production (t/h)	500	1200
Maximal transporting distance(m)	1140	2300
belt Speed (m/s)	2	2,5
Maximum motor power(KW)	500	500
Motor drum number	1	2
Belt permissible tension(Kg)	13000	18000
Belt metric mass (Kg/m)	16	30

Table.2. Conveyors parameters obtained by calculation

Parameters	conveyor 1	conveyor 2
Load metric mass(Kg/m)	69,44	133,33
Minimal tension (daN)	512,64	979,98
Metric mass of upper rollers (Kg/m)	24	27,06
Metric mass of lower rollers (Kg/m)	7,33	8,26

5. RESULTS AND DISCUSSION

Tests were conducted on three different operating conditions as illustrated in the curves below. The results of the first tested belt conveyor

- The obtained results of the first tested belt conveyors when the minimal tension is varied are plotted in Figure.5.a

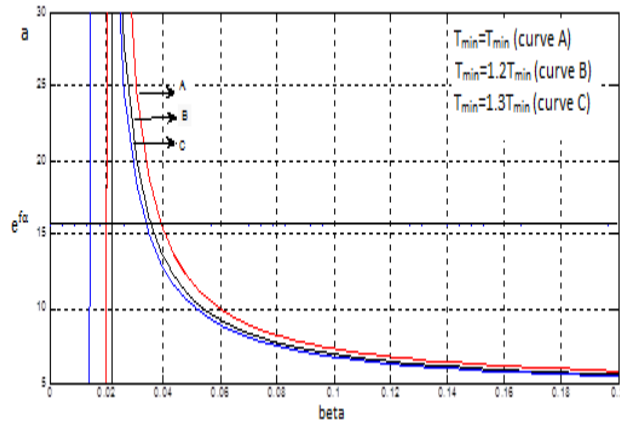


Figure.5.a. Curves obtained when minimal (output) tensile is varied
 - The obtained results of the belt conveyors with loadvariation are plotted in Figure.5.b

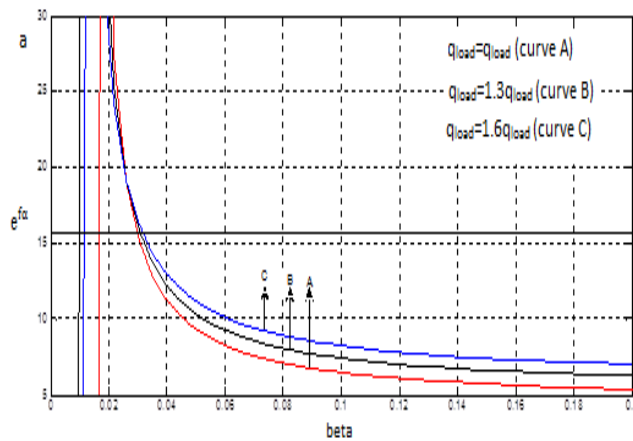


Figure.5.b. Curves obtained when the load is varied

The obtained results of the belt conveyors when the minimal (output) tensile and the load are varied simultaneously are plotted in Figure.5.c.

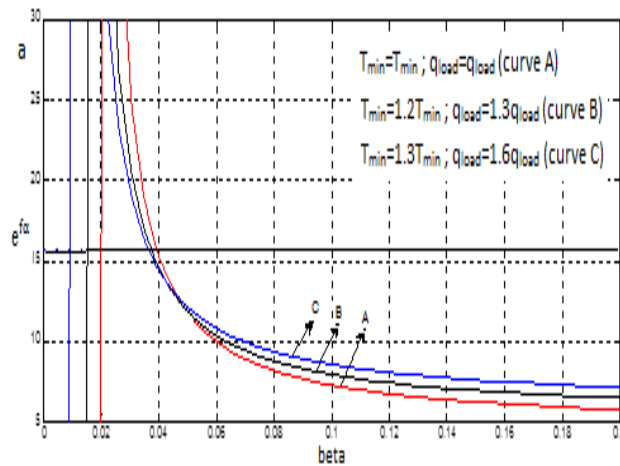


Figure.5.c. Curves obtained when the load and minimal (output) tensile are varied simultaneously

The results of the second tested belt conveyor

- The obtained results of the second tested belt conveyors when the minimal (output) tensile is varied are plotted in Figure.6.a

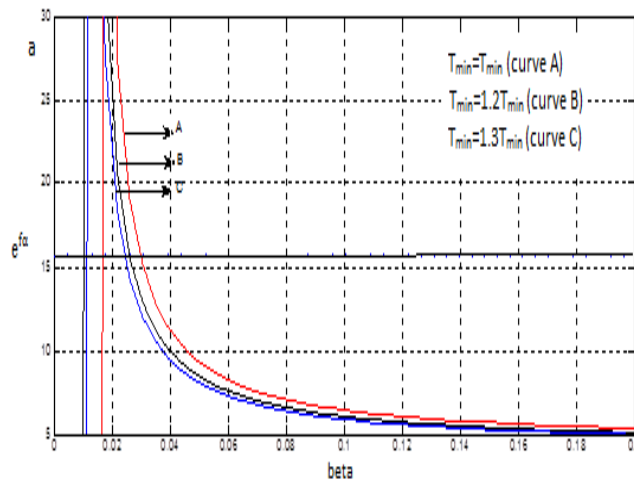


Figure.6.a. Curves obtained when minimal (output) tensile is varied

- The obtained results of the belt conveyors with load variation are plotted in Figure.6.b.

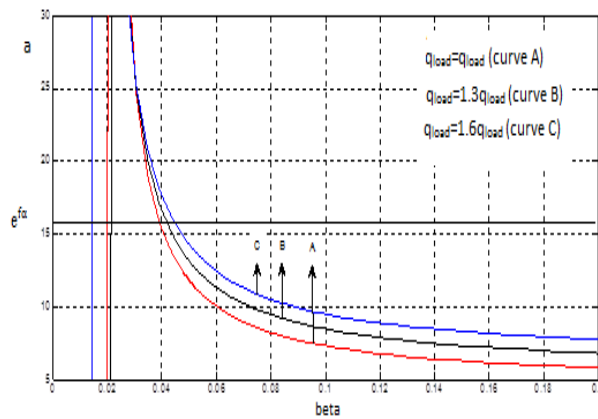


Figure.6.b. Curves obtained when the load is varied

- The obtained results of the belt conveyors when the minimal (output) tensile and the load are varied simultaneously are plotted in Figure.6.c.

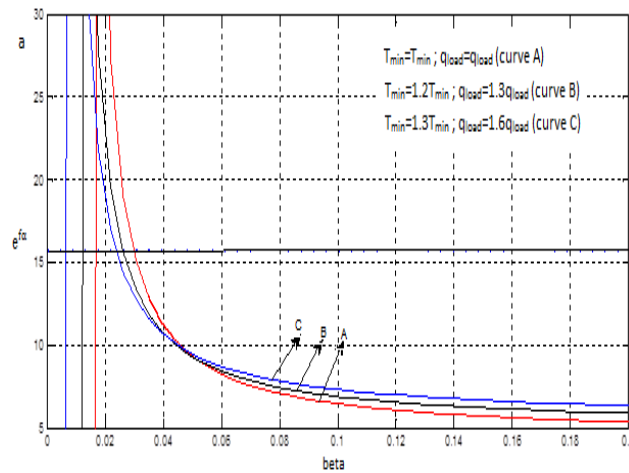


Figure.6.c. Curves obtained when the load and minimal (output) tensile are varied simultaneously

The minimal (output) tensile obtained in both cases by calculation have developed an important area of slipping risk Figure.5.a and Figure.6.a, with a possibility of belt rupture. Therefore, the increase in the minimal (output) tensile of conveyors has led to a significant increase in the reserve area of traction forces and a decrease in the area of slipping risk due to diminution of dynamic forces amplitudes which are the main cause of fatigue, wear and belt rupture.

Generally, when minimal (output) tensile at belt conveyors drive pulleys output increase, balance between the area of real traction factor and that of design traction factor is achieved.

Increasing by 20% the tensile at the output of the first conveyor drive pulley, more important dynamic amplitudes with higher slipping risk will appear on conveyor 1 because the permissible tensile of conveyor 2 is higher. Slipping risks always exist for conveyor 1 in contrast; they have disappeared in the case of conveyor 2. It can be concluded that the increase of output tensile affect essentially the slipping risk where a substantial reduction is noticed, its influence on consumed reserves still significant but at an acceptable level.

In the second series of tests, the load is varied and the minimal (output) tensile is maintained constant Figure.5.b and Figure.6.b. A slight increase in the reserve area of real traction factor is followed by a decrease the area representing conveyor designed traction factor. Thus, an improvement in the machine efficiency followed by a slight reduction in the slipping risk and belt rupture is observed for both cases. The conveyor 2 has a better response to load increase because its belt permissible tensile is higher.

In the final test, the minimal tension and the load are increased simultaneously Figure.5.c and Figure.6.c. The main objective of increasing progressively these two parameters is to enhance the machine exploitation limits (production improvement) and consume the belt elasticity limits.

From the obtained results the following conclusions can be drawn:

- Increasing the degree of real traction factor
- Progressive disappearance of slip risk zone for the two conveyors (a complete disappearance for the second conveyor is reached because the permissible tension can allow it).
- The physical process is respected when acting on load and minimal tension but it is impossible to increase the load beyond a certain limit because all parameters depend on machine design, belt dimensions and motor power.

6. CONCLUSION

The developed mathematical model of traction factor of belt conveyor is shown to be an important tool to carry out the simulation of the machine operation in various conditions related to its exploitation or elastic capacities and rigidity of its working elements. Minimal (output) tensile variation and control at the output of drive pulley enables the machine to operate without any slip risk. The load capacity is limited by the

machine design and motor power. Therefore, any increase in the load within belt characteristics will improve the machine efficiency and company production.

When minimal (output)tensile is rising up, the slip risk decreases considerably, the area of traction reserves increases the real traction factor. Thus, increasing conveyor flow, the area of slip risk rises slightly but the real traction factor increases considerably.

In conclusion, it is necessary to adopt a mean that enabling the variation and the control of tensile and conveyor flow simultaneously in order to reduce slip risk, prevent failures, and increasing significantly traction capacities.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors like to thank the Algerian general direction of research for their financial and technical support.

REFERENCES

- [1] Suweken G., VanHorsen W. T., 2003 On the Weakly Nonlinear, Transversal Vibrations of a Conveyor Belt with a Low and Time- Varying Velocity, *Nonlinear Dynamics* vol.31,197–223
- [2] Dalgleish AZ., Grobler L., 2003.Measurement and verification of a motor sequencing controller on a conveyor belt, *Energy*, Elsevier, vol 28, 913–927.
- [3] You-fu H., Meng Q., 2008. Dynamic characteristics of conveyor belts, *Journal of china University of Mining and Technology*, Elsevier, vol 18, 0629–0633.
- [4] Nuttall A.J.G., Lodewijks G., 2006.Traction versus slip in a wheel-driven belt conveyor, *Mechanism and Machine Theory*, Elsevier, vol 41, 1336–1345.
- [5] Zanoelo E.F., Abitante A., Meleiro L.A.C., 2008. Dynamic modeling and feedback control for conveyors-belt dryers of mate leaves, *Journal of Food Engineering*, Elsevier, Vol. 84,458–468.
- [6] Fang-wei X., You-fu H.,Zhi-Peng X., Rui Z.,2009. Fuzzy-immune control strategy of a hydro-viscous soft start device of a belt conveyor, *Mining Science and Technology*, Elsevier, Vol.19 ,544–548.
- [7] Kiranoudis C.T., Markatos N.C., 2000.Pareto design of conveyor-belt dryers, *Journal of Food Engineering*, Elsevier, Vol. 46,145-155.
- [8] Kobayashi Y., Toya K., 2007. Effect of belt transport speed and other factors on belt mistracking, *Microsystems Technologies*, Springer, Vol. 13, 1325–1330.
- [9] You-fu H., Fangwei X., Huang –F., 2011. Control strategy of disc braking systems for downward belt conveyors, *Mining Science and Technology (China)*, Elsevier, Vol.21, 491–494.
- [10] Shirong Z., Xiaohua X., 2010.Optimal control of operation efficiency of belt conveyor systems, *Applied Energy*, Elsevier, Vol 87, pp 1929–1937.
- [11] Shirong Z., Xiaohua X., 2011 modeling and energy efficiency optimization of belt conveyors, *Applied Energy*, Elsevier, Vol. 88, 3061–3071.
- [12] De Almeida T A., Fonseca P., 2003 Bertoldi P., 2003. Energy-efficient motor systems in the industrial and in the services sectors in the European Union: characterisation, potentials, barriers and policies, *Energy*, Elsevier, Vol. 28,673–690,
- [13] Tchevonienko A., Rzdolski A., Zabolotni Yu., 1983.Dynamics of belt conveyors, Ed, Naouka-Doumka, Kiev, Page 192 (In Russian).
- [14] Daiji. H, Yosong .P, Lodewijks .G. 2016. Speed control of belt conveyors during transient operation, *powder Technology*, Elsevier, Vol. 301, 622-631.

NOMENCLATURE

dT - traction force required for the considered dx element

F - Friction factor on the pulley

N - Normal specific pressure of the pulley on the belt, daN/m

T_1 - Input tensile, daN

T_2 - Output tensile, daN

α_{ad} - Adhesion, (degree)

α_{rest} - Rest angle, (degree)

L - The distance between carrying rollers, m

T_{min} - Minimal (input) tensile on the belt, daN

T_{perm} - Permissible tensile of the belt, daN

T_{rup} - Belt tensile break, daN.

σ_r - Break specific strength, daN.

i - Belt plies number

m - Safety factor

B - belt width, m

q_l - load metric mass, Kg/m

q_b - belt metric mass, Kg/m

L_r - distance between two carrying rollers, m

W_{2-1} - Motion of return side, daN

W_{4-3} - Motion strength carrying side, daN

ω_{empty} - specific strength of return side, daN/m

ω_{load} - specific strength of carrying side, daN/m

L_{adm} - Admissible length, m

L_{perm} - Permissible length, m

q'_r, q''_r - Upper and lower rollers metric mass respectively, kg/m

C_2 - Coefficient taking in account local strengths at any point

ω - Coefficient expressing the strength to motion of conveyor carrying and return sides

a - Real traction factor

β - Inclination angle of belt conveyor, degree

e^{fa} - Design traction factor

Maintenance Function Audit According to ISO 9001/2008 Standart Case Study TSS (Arcelor-Mittal) Annaba-Algeria

Audit de la fonction maintenance selon la norme ISO 9001/2008 Etude de cas TSS(Arcelor-Mittal)Annaba-Algérie

Mounira Djemai^{1*}, Elias Hadjadj Aoul¹ & Messaoud Bouakkaz²

¹Electromechanical Engineering Laboratory, Science faculty, Badji Mokhtar Annaba University,
Po box 12, Annaba, Algeria.

²Electromecanical department, Badji Mokhtar University, Po box 12 El Hadjar, Annaba, 23000, Algeria.

Soumis le : 18/02/2018

Révisé le : 16/05/2018

Accepté le : 20/05/2018

ملخص

تعد تلبية حاجيات العملاء في خصائص وجودة المنتج أهم مشكلة يواجهها تسويق الإنتاج الصناعي، ومن أجل ضمان منتج ذو جودة عالية ، توجب على المؤسسات الصناعية وضع نظام جودة صارم للمؤسسة يلبى متطلبات السوق، إرضاء العملاء وإعطائهم الثقة اللازمة حتى تكون هذه المؤسسة معتمدة وفقا للمعايير الدولية.
من خلال هذا العمل، قمنا بدراسة حالة لمؤسسة الحديد والصلب وحدة TSS (آرسيلور-ميتال)، حيث كان الهدف هو دراسة مدى تطابق نظام الصيانة المنتهج داخل المؤسسة للمعيار الدولي إيزو 2008/9001 في إطار نظام تسيير الجودة، وكذلك إقتراح حلول لبعض المشاكل التي تم مصادفتها أثناء عملية التصنيع من أجل ضمان جودة عالية للمنتج وبالتالي إرضاء الزبائن.

الكلمات الرئيسية: الجودة - التدقيق - الإجراء - الامتثال - عملية - الإدارة

RESUME

Le premier problème majeur rencontré dans la production industrielle a été le produit qui répond aux besoins des clients, par conséquent, la part de marché la plus importante reviendra sans aucun doute à celle qui répondra le mieux aux besoins des clients. Mais le client a désormais besoin de garanties sur l'amplitude du fournisseur pour maîtriser sa production afin de lui assurer un produit de qualité qui amène l'entreprise TSS (Arcelor-Mittal) à mettre en place un système de qualité strict. Ce système permet à l'entreprise de répondre aux exigences, de satisfaire le client et de lui donner confiance, il exige que l'entreprise soit certifiée. Dans ce travail, on a étudié la maintenance et la certification de l'entreprise selon la norme internationale ISO 9001: 2008 dans le cadre d'un système de management de la qualité. Ce travail consiste à résoudre à certains problèmes rencontrés lors du processus de fabrication pour mieux produire et satisfaire le client.

Mots –clés : qualité - audit - procédure - conformité - - management. Processus.

ABSTRACT

The first major problem encountered in industrial production was the product meets customer needs, therefore, the largest market share undoubtedly revert to that which will best meet customer requirements. But the client now requires guarantees on the amplitude of the supplier to master its production to ensure him a quality product that leads the company TSS (Arcelor-Mittal) to set up a strict quality system. This system allows the company to meet requirements, satisfy the customer and give him confidence, it requires the company to be certified. In our work, we studied the maintenance and certification of the company according to International Standard ISO 9001: 2008 under a system of quality management. This work is to solve some problems encountered during the manufacturing process to produce better and to satisfy the customer.

Key words: quality- audit- procedure- compliance- management- processes.

*Corresponding author : mounhanachi@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

The opening of the Algerian borders to products and services imposed by the market economy means that the field of competition between companies will no longer be limited to the region or the country but will be expected worldwide. However several trends give the customer and the relationship with this client a structuring place in the operation of the company. It is the race for excellence. But the customer now demands guarantees on the ability of the supplier to master its production tool to ensure a quality product, this leads the company "TSS" to the implementation of a rigorous quality system (fig.1, fig.2).

This system allows the company to meet the requirement and satisfy the customer and gives it confidence; the latter requires the company to be certified, it admits as a supplier in a growing number and realize, an improvement of the organization's processes.

As long as quality is always judged against a reference, the company "TSS" implements a quality management system complying with the requirements specified in the ISO 9001 version 2008 standard [1,2].

The evaluation of the concepts of quality and their increasing application in the various industrial and administrative sectors has led to making quality a recognized management tool [3]. The processing and exploitation of real-time quality defects: control results, identification of production defects or failures of the organization, quality of production or failure of the organization, quality of suppliers, etc .Allowing corrective actions with each anomaly report.

The new definition of the audit which is given in the standard ISO 9000 version 2008 is the following one [4]:

“The audit is a methodical, independent and documented process making it possible to obtain evidence of audit and to evaluate them in an objective way to determine the criteria of audit up to what point are satisfied”.

This work allowed us to study the maintenance, certification and internal audit of the company according to the ISO 9001 version 2008 according to a quality management system and we tried to solve some problems encountered during the trial of Arcelor-Mittal Annaba "TSS" manufacturing unit, which produces seamless tubes, to better produce and satisfy the customer [5].

This company has been certified by ISO 9001/2000 in 1999 and by ISO 9001/2008 in 2003 by AFNOR.

TSS Arcelor mittal was certified by API (American Petroleum Institute) in 2011.



Figure 1: Sparer oven (TSS).

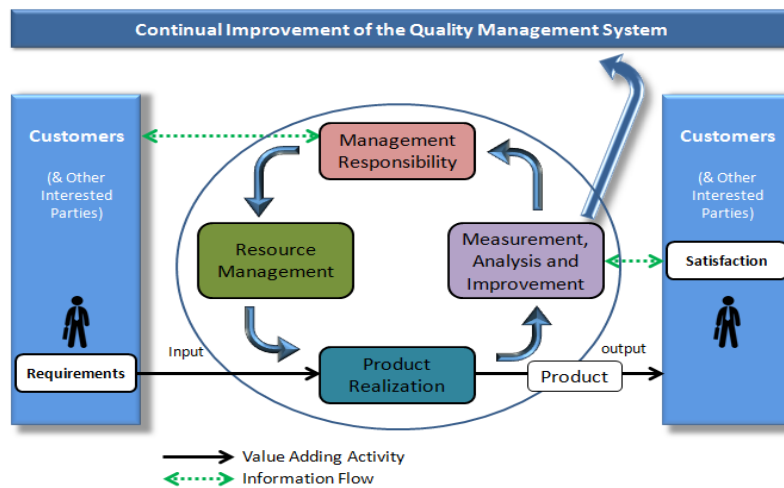


Figure 2: Quality management process model.

2. ISO 19011 / 2011- GUIDELINES FOR AUDITING SYSTEMS

ISO 19011 provides guidance on auditing management systems [6], including the principles of auditing, managing an audit programme and conducting management system audits, as well as guidance on the evaluation of competence of individuals involved in the audit process, including the person managing the audit programme, auditors and audit teams.

ISO 19011 is applicable to all organizations that need to conduct internal or external audits of management systems or manage an audit programme.

The application of ISO 19011 / 2011 to other types of audits is possible, provided that special consideration is given to the specific competence needed.

The ISO 19011/ 2011 guidelines offer four resources to help companies:

- A clear explanation of the principles of management systems auditing.
- Guidance on the management of audit programs.
- Guidance on the conduct of internal or external audits.
- Advice on the competence and evaluation of auditors.

These resources provided by ISO 19011/2011 enable companies to:

- Avoid confusion about the objectives of audit programs.
- Ensure that audit reports follow the best format and contain all of the relevant information.
- Evaluate the competence of the audit team to comply with ISO 19011 standards.

3. METHODOLOGY

3.1. The audit approach

The proposed audit approach consists of three levels [7]:

- 1st level: it describes the four main steps in the conduct of the audit:

- Audit initialization;
- Audit preparation;
- Conducting the audit;
- Drafting and dissemination of the audit report;

- 2nd level: it specifies exhaustively the activities relating to each main stage.

- 3rd level: it gives the supports, records and useful details to the conduct of each audit activity.

Some examples of questions and answers from the audit and the audit planning are presented in the tables (Tab1.and Tab2.).

Table 1: Collection form of observations and answers.

Audit Questions	Points to be Checked	Collecting Evidence
<ul style="list-style-type: none"> - Are the critical equipemnt identified ? - Are the failures Identified ? - Are the failure cods determined ? 	Identifiacation of critical equipement in terms of failure cost.	<ul style="list-style-type: none"> - Sheets of critical equipment. - List of critical failures. - Failure costs -
.....

Table 2: Audit planning.

Audit process	1 J	2 J	3 J	4 J	5 J
Optimisation, Policy and strategy					
Inventories Law consolidated					
Documentation					
.... ...					
Feedback and Analysis					
Ameliorative Studies					
Computer assisted Maintenance					

3.2. Management System of the Maintenance: The proposed approach

Our approach is to divide the maintenance management system into different sections [8, 11]. These are all the essential components which make it (Fig.3).

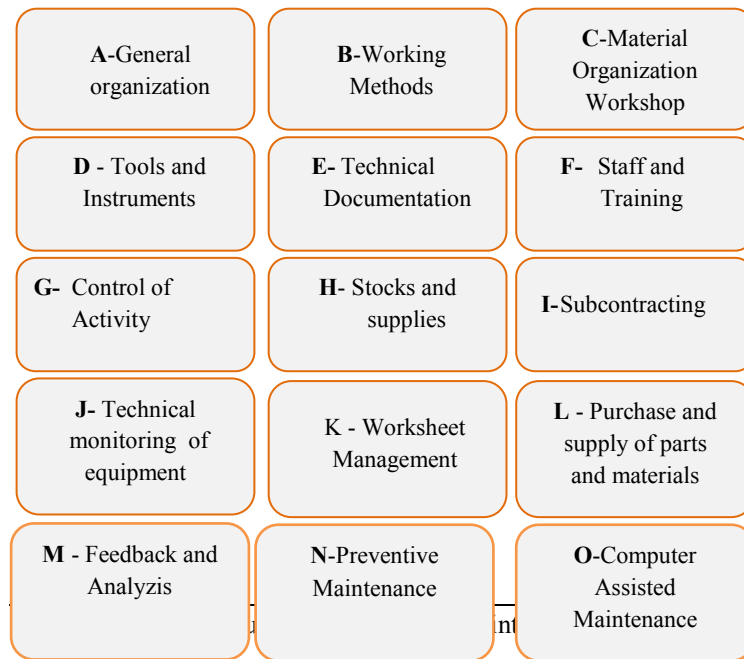


Figure 3: maintenance management system into different sections

Each rubric is, in turn, divided into a set of sub-rubric. They will provide a detailed and comprehensive representation of the logical flow of their related maintenance activities. In the following, we present as examples developed subtopics for registration. Feedback and analysis (N) and Preventive maintenance (M).

Feedback and Analysis (N)

- Intervention traceability report
- Lubrication plan record
- Round record
- Operating Maintenance Record
- Historie
- Accounting
- Periodic analysis
- Determination of technical indicators: TRS, (Failure rate), MTBF, MTTR, (Turnover of stock)...
- Determination of economic indicators: direct costs and indirect costs for equipment, (design), workshop, factory... By specialty, for maintenance strategy, stock value, consumption value...
- Development of dashboards (technical and economic)
- Benchmarking
- Actions
- Optimization of frequency response
- Ameliorative studies
- Modification of Maintenance strategy
- Changing procurement policy
- Trainings.
- Changing operators
- New acquisitions

Preventive maintenance (M)

- Identification of critical equipments in terms of cost of failure
- Systematic maintenance outside the annual revisions
- Maintenance of operations
- Predictive Maintenance
- Rounds
- Maintenance of exploitation or of conduct

- Maintenance strategy selection procedure for each critical component
- Maintenance Plans
- Records revisions: Maintenance Studies AMDEC and the manufacturer's recommendations to define the preventive work which to be done
- Range of maintenance
- Plans of greasing and lubrication
- Work planning by Gantt or Pert
- Load Optimization
- Preparation of important works
- Resource reservation: Men, machinery, tools, local,
- Maintenance Consultation Operation for Planning

So we will have a total of 246 sub-rubrics (referential). They will be establishing a global representation of the shares of the maintenance function as a description of its internal mechanisms every time this latter is activated as part of the fulfillment of its mission within the company.

- The referential thus formulated, it is up to the auditor initially to ask relevant questions in order to understand the reality to understand the reality of the maintenance function through capturing and processing of the collected information. Then, compare the reality to our repository, set a finding of compliance and assess differences. Our approach can also be applied for positioning relative to a prior situation, as part of a process of continuous improvement of the maintenance function.
- During our audit approach, the auditor is free to ask useful questions to estimate the reality (progress, performance ...) of each sub-rubric. He can therefore add or subtract other issues. These latter may differ in situation from one company to another. They depend on the history, implementation, and sector of activity and peculiarities/specificities of the company in question.

3.3. Evaluation of the audit

3.3.1. Evaluation of the rubric

- 1- We have assigned to each sub-rubric a mark N_i between 0 and 10. It constitutes an estimation of its degree of realization with respect to the reference. The determination of this mark is set through a questionnaire on the implementation of sub-rubric in question.
- 2- We have assigned for each sub-rubric a weight P_i between 1 and 3; it constitutes an estimation of its degree of importance (Tab.3) [9, 10].
- 3- We determine the evaluation of the efficiency degree of the rubric in question by calculating the (global average) of the sub-rubrics that form it:

$$M = \frac{\sum (N_i * P_i)}{\sum P_i} \quad (1)$$

Were N_i is: estimation the degree of realisation of sub-rubric, and P_i is the estimation the degree of importance of sub-rubric.

Table 3: An example of the scoring grid of sub-rubric.

Sub-rubric	N	P	NP
N1			
N2			
.....			
N12			
Rubric Score N			

3.3.2. Evaluating the maintenance function

For evaluating the effectiveness of the global maintenance function, we proceed as follows:

- 1- We determine for each rubric its degree of implementation (efficiency) by calculating its average M_i with the previous method. It constitutes an estimation of the efficiency of its progress.
- 2- We assign to each rubric a weight K_i between 1 and 3; it constitutes an estimation of its degree of importance, [11, 13].
- 3- We determine the degree of the efficiency of the progress of the global maintenance function by calculating the global average of the average of the rubrics which make it up (Tab.4):

$$MG = \Sigma (M_i * K_i) / \Sigma K_i \quad (2)$$

Were M_i is a global average of sub-rubrics,
 And K_i is: estimation the degree of importance of sub-rubric (it is between 1 and 3).

Table 4: Scoring grid rubrics

Rubric	N	P	NP
A- General Organization			
B- Working Methods			
.....			
K-Worksheet Management			
L- Purchase and supply of parts and materials			
Score of maintenance System			

These various coefficients as calculated, will allow us to evaluate the performance of the maintenance function in the manufacturing companies and estimate the reference. They also allow to assess the effectiveness of flow of each of these internal components [12].

Finally, a representation by graphic radar allows us to trace the profile of each rubric and determine thereafter [14,15], the position of the company in terms of maintenance (maintenance profile) (Fig.4).

4. RESULTS AND ANALYSIS

4.1. Implementation of the Audit Approach in a Company

According to all these questionnaires which were made within the services of the company " TSS " Arcelor-Mittal, following results were obtained and presented in the table 5:

Table 5: Results of the questionnaire.

Studied Topic	Percentage
	%
A - General organization	82
B - Working methods	79
C- Material organization workshop	83
D – Tools and Instruments	91
E - Technical documentation	58
F - Staff and training	94
G - Control of activity	81
H – Stocks and supplies	65
I - Subcontracting	54
J - Technical monitoring of equipment	92
K- Worksheet Management	86
L - Purchase and supply of parts and materials	89

4.2 Polar diagram of the maintenance profile

After the treatment of the questionnaire, with results are represented in the table (5) above by the use the graphic tool “polar diagram” carried out by the Microsoft excel software, used in the field of analysis of quality and allowing to represent and compare several indicators by report with the objectives of the company, by identifying the ideal situation and the real level of various indicators (in our case, brakes with certification) [16, 17].

This diagram allows seeing in only one glance the whole of the current situation of the company as well as strong points and the weak points on which to concentrate.

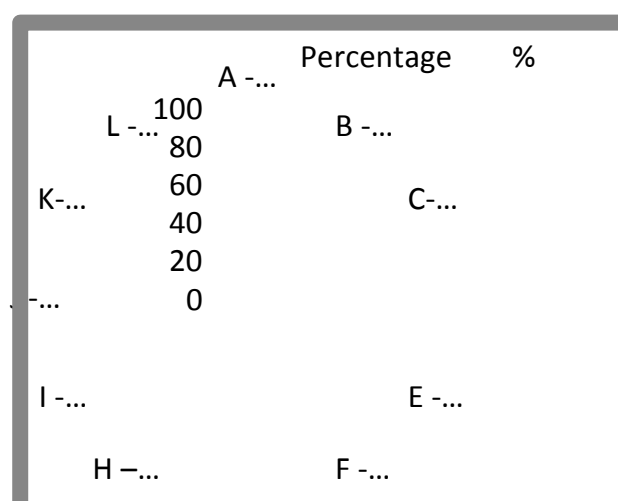


Figure 4: Maintenance profile.

According to the examination of questionnaire, one traced the profile of maintenance .we locate the points which are below mean level of the function maintenance (items weak < 95.80%).

In our case, we identify three (3) priority fields to engage of improvement.

They relate to the:

- Stocks and supplies

- Technical documentation
- Subcontracting

For the other fields, they are strong what watch the effort provides by « TSS » to improve quality on the level of its service of maintenance.

4.3. Some comments on the results

Socks and supplies Obtained score: 65 %

For this (rubric), we can notice:

- The absence of monitoring gears for spare parts consumption ;
- The actual value of the replacement stock cannot be easily creditable;
- The thresholds of supplies are to be set;
- The (consolidation) of stocks (elimination of (unnecessary events), duplicates, ...) is insufficient;
- The absence of (correlation tables of maintenance codes), store, manufacturer;
- A lack of commutable identification;
- Application procedures for deleting items (obsolete, (not compliant), deteriorated...) is not systematic;
- The lack of use of anticipation techniques of consumption;
- Insufficient data analysis, dashboards development and reporting;
- Insufficient inventory optimization studies and supplies of standardization;
- The lack of communication on the objectives and results of the Inventory Management and supplies;
- The (issuance) of order is too slow;
- The lack of coordination between the purchasing department and maintenance department during the various negotiations with suppliers.

Technical documentation Obtained score: 58%

The findings for this (rubric) are:

- Acquisition of technical documentation for new equipment
- Making available reprographic, filing and archiving facilities

Subcontracting Obtained Score: 54 %

The findings for this (rubric) are:

- Follow-up to the work of subcontractor and maintenance Team.

4.4. Recommendations

Socks and Supplies

Update of the codification grid: Standard, Specific;

-Organization of stores: Storage of the PDR (new arrival), Update address sheets;

-Study of dormant stock.

-Analysis and liquidation of dead stocks (reformed installation)

-Determination of the security stock levels for the PDR in stock

-Improved support for movements: Entrance, Exit, Back, Inventory;

-Development of management procedures.

Technical Documentation

- Make efforts to create documents and data sheets for old equipment;

Subcontracting Obtained

- Monitoring the work of subcontracting the maintenance team.

5. CONCLUSION

The objective of this work is the audit of the function maintenance of an organization in general. This objective is justified by the importance of the service maintenance within much undertaken and with the more particular SMQ (standard ISO 9001) which implements by the search for a certification of a company or to preserve it.

According to the theoretical concepts related to certification according to the ISO9001 / 2008 standard, more specifically concerning the audit, we started by carrying out a diagnosis and measuring the performance of the maintenance function based on a set of questionnaires that we used with the staff of this company.

The counting of these questionnaires allowed us to elaborate the profile corresponding to the maintenance service. The analysis of this profile showed that the company TSS made a major effort to improve the quality of its maintenance service. However, the effort must be maintained in the sense that we have defined the properties in the treatment of fields for which the quality of the maintenance service is insufficient.

We also carried out the audit quality in order to study conformity of this service compared to the requirements of the standard ISO 9001/2008.

We noted that the set objectives are not reached at 100% although the procedures are applied in accordance with the standard.

In conclusion, we can say that the maintenance service is efficient and that the management can eliminate the maximum of the weak points detected (the stocks and supplies, technical documentation, subcontracting).

REFERENCES

- [1] Mohamed H., 2008 . Audit : gestion des risques d'entreprise et contrôle interne. Ed. Pearson Education (2ème édition). 244p.
- [2] Neenu G., Seema B., 2016. Comparative analysis of cloud data integrity auditing protocols, *Journal of network and computer applications*, Vol. 66 (c): 17-32.
- [3] Lavina Y., 2005. Amélioration continue en maintenance-Techniques d'audit et plan de progrès. Ed. Dunod. 256p.
- [4] <https://www.iso.org/standard/50675.html>, last visit, 04.2018.
- [5] Isabelle S., 2001. Formez et motivez à la qualité. Supports de formation, présentations graphiques, Ed. Weka.
- [6] <https://www.mastercontrol.com/fr/ISO/19011-software.html>, last visit, 04.2018.
- [7] Carnero C., Delgado S., 2008. Maintenance audit by means of value analysis technique and decision rules: A case study in a bank, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 14 Issue: 4, pp.329-342.
- [8] Dhillon B.S., Liu Y., 2006. Human error in maintenance, *Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 12 (1): 21-36.
- [9] Hsiao Y.L., Drury C., Wu C. & Paquet V., 2013. Predictive models of safety based on audit findings: Part 1: Model development and reliability, *Applied ergonomics*, Vol. 44 (2): 261-273.
- [10] Bakiri M., 2006. Contribution à la conduite à l'évaluation des systèmes de production intégrant les domaines qualité, sécurité environnement. Thèse de doctorat en sciences physiques et de l'ingénieur. Université Bordeaux1. France. 250p.
- [11] Zwengelstein G., 1996. La maintenance basée sur la fiabilité. Guide pratique d'application de RCM, Ed. Hermes, Paris. 666p
- [12] Lavina Y., Perruche E., 1998. ISO 9000/EAQF: Maintenance et assurance de la qualité, guide pratique, Ed. D'organisation. 160p.
- [13] Bergot M., 1996. Une vision systémique de la fonction maintenance, *Travail & méthodes*, n°525.
- [14] Monchy F., Kojchen C., 2015. Outils, méthodes et organisations pour une meilleure performance, Ed. DUNOD. 624 p.
- [15] Sarbjot S., Diego G., & all., 2013. Self-maintenance techniques: A smart approach towards self-maintenance system, *Int J Syst Assur Eng Manag*, Vol. 5(1), 75-83.
- [16] Francastel J.C., 2007. La fonction maintenance de l'expression à la satisfaction du besoin, Ed . AFNOR. 368p.
- [17] Boucly F., 2007. Le management de la maintenance évolution et mutation. Ed. AFNOR. 316p.

Effets de la vitesse du brassage et du taux du renfort sur la structure et les propriétés d'un composite A356/SiC_p moulé.

Effects of stirring speed and reinforcement rate on the structure and properties of a cast A356/SiC_p composite.

Mohamed Hacini^{*1}, Allaoua Chibani²

¹Foundry Laboratory, Department of Metallurgy, Badji Mokhtar University, PO Box 12, 23000, Annaba, Algeria.

²Semiconductor Laboratory, Department of Physics, Faculty of Science, Badji Mokhtar University, Annaba, PO Box 12, 23000, Algeria.

Soumis le : 09/04/2018

Révisé le : 17/05/2018

Accepté le : 04/06/2018

المخلص

إن تصنيع مركبات مصفوفة معدنية مع تعزيز الجسيمات بواسطة ما يسمى طريقة "الدوامة" والتي تتضمن إدخال جسيمات السيراميك المعالجة مسبقاً عن طريق التقليل هو طريق جذاب للغاية. ويعتبر أسلوب أبسط وأرخص. ومع ذلك، فإن المشاكل الكامنة في التفاعلات الكيميائية في الواجهة، وصعوبة تبليل الجسيمات المعدنية وظهور المسامية هي المشاكل الرئيسية التي تواجهها. تتأثر هذه إلى حد كبير بعدة عوامل، مثل: درجة حرارة الانصهار ونوع وكمية وطبيعة الجزيئات، وكذلك السرعة ووقت الخلط؛ في الجزء الأول من هذا العمل، تمت دراسة تأثيرات سرعة الخلط ومعدل التعزيز على البنية والخصائص الميكانيكية لمركب A356 / SiC_p المركب. تم دمج 5 إلى 20 ٪ من التعزيز من 22 إلى 63 ميكرومتر الأبعاد. تم صنع الخليط بسرعة 100 إلى 500 دورة في الدقيقة لمدة 10 دقائق. كشفت البنية المجهرية (البصرية والإلكترونية) التي تم فحصها أنه عند سرعة منخفضة، تميل الجزيئات إلى التكتل مع نسبة متزايدة من التعزيزات التي تولد الكثير من المساميات. أدت زيادة سرعة التحريك ومستوى التعزيز إلى حد معين إلى توزيع أفضل للجسيمات في المصفوفة وفضلت تحسناً واضحاً في الخصائص الميكانيكية.

الكلمات الدالة

طريقة دوامة، سرعة الخلط، معدل التعزيز، الهيكل، الخصائص مصبوب A356 / SiC_p

Résumé : La fabrication des composites à matrice métallique à renfort particulaire par la méthode dite « de vortex » qui implique l'introduction des particules céramiques prétraitées moyennant un brassage est une voie très attractive. Elle est considérée comme la technique la plus simple et la moins chère. Cependant, les problèmes inhérents aux réactions chimiques à l'interface, à la difficulté de mouillage des particules par le métal et l'apparition de la porosité sont les principaux problèmes rencontrés. Ceux-ci sont en grande partie influencés par plusieurs facteurs, tels que; la température de fusion, le type, la quantité et la nature des particules, ainsi que la vitesse et le temps brassage. Dans la première partie de ce travail, les effets de la vitesse de malaxage et du taux de renfort sur la structure et les propriétés mécaniques d'un composite A356/SiC_p moulé synthétisé au laboratoire ont été étudiés. 5 à 20% de renfort de 22 à 63 µm dimensions ont été incorporés. Le mélange a été réalisé sous une vitesse de 100 à 500 tr/minutes pour un temps de 10 minutes. La microstructure (optique, électronique) examinée a révélé qu'à une faible vitesse, les particules ont eu tendance regroupement avec un pourcentage croissant du renfort en générant beaucoup de porosités. L'augmentation de la vitesse d'agitation et du taux de renfort jusqu'à une certaine limite ont permis en revanche une meilleure distribution des particules dans la matrice et a favorisé une nette amélioration des caractéristiques mécaniques.

Mots clés : A356/SiC_p moulé-méthode de vortex-vitesse de malaxage-taux de renfort- structure-caractéristiques

Abstract: The manufacture of metal matrix composites with particulate reinforcement by the so-called "vortex" method which involves the introduction of the pre-treated ceramic particles by means of a stirring is a very attractive route. It is considered the simplest and cheapest technique. However, the problems inherent to the chemical reactions at the interface, the difficulty of wetting the particles by the metal and the appearance of the porosity are the main problems encountered. These are largely influenced by several factors, such as; the melting temperature, the type, the quantity and the nature of the particles, as well as the speed and the mixing time. In the first part of this work, the effects of mixing speed and reinforcement rate on the structure and mechanical properties of a molded A356 / SiC_p composite synthesized in the laboratory were studied. 5 to 20% reinforcement of 22 to 63 µm dimensions have been incorporated. The mixture was made at a speed of 100 to 500 rpm for a time of 10 minutes. The microstructure (optical, electronic) examined revealed that at a low speed, the particles tended to group together with an increasing percentage of the reinforcement generating a lot of porosities. Increasing the stirring speed and the level of reinforcement up to a certain limit allowed, on the other hand, a better distribution of the particles in the matrix and favored a clear improvement of the mechanical characteristics.

Keywords: A356/SiC_p cast- stir casting- stirring speed- reinforcement rate- Microstructure, characteristics

* Auteur correspondant : hacini_m@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

Les composites à matrice d'aluminium à renfort particulaire, (Al-MMCs) ont suscité depuis plus de 40 ans un intérêt considérable de la part de plusieurs secteurs stratégiques notamment ceux de l'espace, l'aéronautique, et l'armement [1-4]. Ils étaient motivés en cela par le besoin d'allègement des composants de structures. Aujourd'hui, ils occupent une place privilégiée dans de nombreuses applications à la faveur d'un atout majeur qui consiste en la faculté de moduler les propriétés du matériau par le choix de la matrice et surtout du renfort. L'incorporation de ce dernier permet aux composites d'acquérir des propriétés très intéressantes, notamment en termes de gain de rigidité et de résistance spécifique par rapport à un alliage non renforcé. Ils acquièrent en outre bonne résistance à l'abrasion, un meilleur coefficient de dilatation thermique et de très bonne conductibilité électrique et thermique [5-6].

Aussi, une recherche considérable a été consacrée à ce domaine impliquant une large gamme de produits et de procédés. La matrice employée est soit à l'état solide, semi-solide ou liquide (métallurgie des poudres, dépôt en phase vapeur, infiltration, agitation...). Les renforts utilisés sont généralement à base de carbures ou d'oxydes (SiC, Al₂O₃, B₄C...). Ils se présentent pour leur part sous plusieurs formes (Fibres, mèches ou particules) [7-10].

Globalement, les procédés appliquant les renforts sous forme de fibres ou mèches dans une matrice à l'état solide ou semi solide ont donné des résultats encourageants au regard du nombre d'applications réalisées. Cependant en raison du prix jugé onéreux dans la plupart des cas, la coulée sous agitation qui utilise un renforcement particulaire notamment à base de SiC ou Al₂O₃ est de loin la plus appréciée en terme de mise en œuvre que de prix.

En effet, cette méthode dite « technique de vortex » implique l'introduction des particules céramiques prétraitées dans le vortex d'un alliage fondu créé par une turbine rotative. Elle a été initialement développée selon Lloyd (1999) par Surappa & Rohatgi (1981) à l'Indian Institute of Science. Elle est considérée comme un procédé simple, relativement bon marché, flexible et très attrayant, comparé à d'autres techniques. Elle a été peaufinée et modifiée selon les cas par plusieurs sociétés d'aluminium et sert actuellement à la fabrication d'une grande variété d'AMC à l'échelle commerciale [11-14]. Néanmoins, les énormes possibilités offertes par les modifications incessantes apportées et les progrès réalisés, n'ont pas abouti aux résultats escomptés. Des problèmes liés à priori à l'influence de plusieurs facteurs touchant à la fois à la fusion et à la solidification persistent encore. Ils ont trait notamment aux réactions chimiques à l'interface et surtout à la mauvaise mouillabilité du renfort par le métal liquide qui conduit souvent à une sédimentation. Ces phénomènes, qui se conjuguent inéluctablement à d'autres facteurs génèrent une mauvaise répartition des particules dans la matrice en donnant naissance à la porosité. Ce genre de défaut est jugé indésirable dans la structure car sa présence est préjudiciable au comportement mécanique du matériau en raison de la diminution de sa capacité d'utilisation [15-17].

A cet égard, les nombreux travaux entrepris depuis la mise au point du procédé et visant à étudier de plus près ces phénomènes ont touché à plusieurs aspects du problème entre autres; La taille et la fraction volumique du renfort, son traitement, la vitesse et temps de brassage...Etc. Le but étant d'enrayer l'incidence de ces facteurs et livrer ainsi un matériau de qualité métallurgique convenable [18-21].

Incontestablement, les approches développées ont permis une avancée considérable au regard des difficultés rencontrées. Cependant la multitude des paramètres, l'interdépendance de leur action et leur influence multiforme n'a pas encore abouti aux résultats souhaités. La technique est en perpétuel perfectionnement et tous les efforts déployés tendent tous vers le même objectif; Celui d'élucider ces innombrables imperfections pour mieux maîtriser ces paramètres et réaliser à terme le compromis cout/propriétés tant recherché.

C'est à cette optique justement, qu'est dédiée la première partie de ce travail. L'étude présente deux des aspects les plus importants de la technique à savoir la vitesse de brassage et le taux du renfort. La vitesse est un facteur clé de la production des composites par cette technique. Une valeur appropriée du paramètre favorise une bonne dispersion des particules car synonyme d'un mouillage parfait. En revanche une valeur inadaptée (basse ou forte) engendre l'apparition d'une porosité néfaste à la santé métallurgique du matériau. Pareillement, un taux de renfort, exagéré mène à une sédimentation des particules, accentue le phénomène et diminue la fluidité nécessaire au remplissage des pièces [22-38]. Par conséquent l'objectif de cette recherche est d'étudier les effets de ces facteurs sur la structure et les propriétés d'un composite A356 /SiC_p moulé synthétisé au laboratoire. Il s'agit donc à travers les

expériences réalisées d'élucider l'étendue de leur impact sur les phénomènes sus-cités et d'en déduire la limite permettant d'arriver à:

- Un taux de porosité minimum;
- Un bon mouillage synonyme d'une répartition homogène des particules;
- Un bon niveau de caractéristiques mécaniques compatible avec une fluidité suffisante qui garantirait une bonne coulabilité.

Le matériau utilisé comme matrice est un alliage de moulage (A356) élaboré au laboratoire. Après contrôle de sa conformité (composition, structure et caractéristiques), il est refondu pour être renforcé par du SiC à particules à des taux variables (5-20%) sous une vitesse de brassage de 100-500 tr/min. Le composite ainsi produit sera évalué en termes d'observation microstructurale mais aussi sur la base des tests touchant à la fois ses propriétés physiques et mécaniques au regard des facteurs appliqués.

2. MATERIELS ET PROCEDURES EXPERIMENTALES

2.1. Elaboration de la matrice

L'alliage A356 est un matériau appartenant à la famille des alliages aluminium silicium. Il incarne le meilleur compromis entre les impératifs de résistance statiques et dynamiques de ductilité et des propriétés de fonderie [39-43]. Pour des considérations techniques propres à ce genre de fabrication, notamment la propreté du bain et le gazage, le lit de fusion a été préparé à partir de matières premières industrielles neuves. Leur composition chimique est présentée dans le tableau 1. Les lingots ont été obtenus par le procédé de moulage silico-argileux à vert (fig.1). La fusion des charges a été réalisée dans un four électrique à induction à creuset basculant de sept kilogrammes de capacité. Après désoxydation et décarburage, le métal a été coulé à la température de 720°C (fig.2). Le contrôle de l'état métallurgique de la matrice (éléments, caractéristiques, ..), a été effectué par une analyse chimique, et des essais mécaniques. La mise en évidence de constituants structuraux a été réalisée par une observation métallographique sur des échantillons préparés à partir de ceux ayant servi aux essais de traction. Dans le but de confirmer l'existence des diverses phases observées dans la structure, une analyse de diffraction des rayons X a été exécutée sur les mêmes échantillons observés.

Tableau.1. Composition chimique des éléments de la charge

Charges	Si	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Ti
Alpax	12.6	0.15	0.05	0.2	0.2	0.1	0.1
A5	0.25	...	0.02	0.3	...	0.05	0.02
Mg	...	99.8

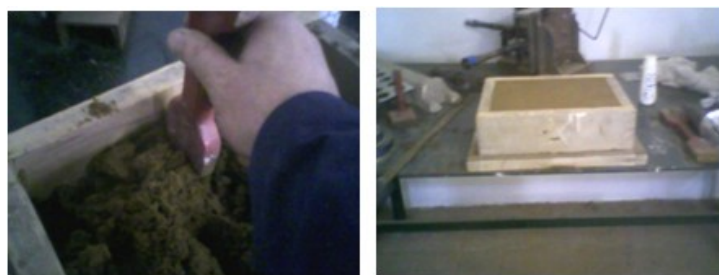


Figure.1 Préparation des moules en sable pour lingots

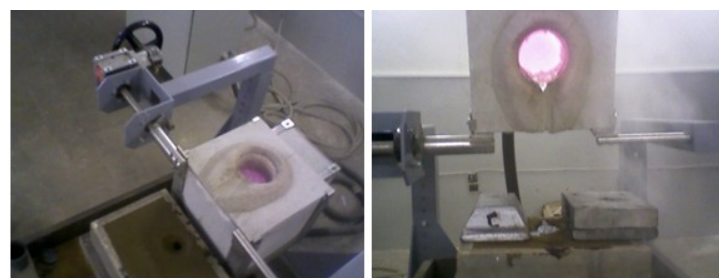


Figure.2. Fusion de la charge et coulée des lingots

2.2. Elaboration du composite et coulée des éprouvettes

Le composite objet de l'étude a été élaboré à partir des lingots de la matrice coulés comme spécifié précédemment. Il a été renforcé par du SiC particulaire dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau 2. Les charges ainsi découpées ont été nettoyées et préchauffées à la température 350-400°C. Elles ont été ensuite refondues dans un four électrique à résistance à creuset amovible en graphite, porté au rouge, doté d'un dispositif de réglage et de contrôle automatique de la température. Après la fusion, des opérations de dégazage et de décrassage ont été effectuées. Les particules du renfort ayant subi des traitements chimique et thermique [44-45] ont été ajoutées à la surface du bain à des taux variables de 5-10-15et 20%. Une opération de brassage a été ensuite effectuée par un dispositif mu électriquement disposé dans le creuset [46-48]. L'ensemble four-agitateur est présenté sur la figure 3. La vitesse testée a été variée de 100 - 500 tr / minutes. Le temps de malaxage a été maintenu à 10 minutes pour les différentes vitesses appliquées et taux du renfort incorporé. Après arrêt du malaxage, la coulée du matériau a été exécutée à la température de 720 °C dans un moule métallique poteyé et chauffé à la température de 250 °C (fig.4).

Tableau .2. Caractéristiques du renfort

SiC	Densité g/cm ³	Dimensions µm	E Mpa	T .F °C
particules	3.27	22 à 63	480	2700



Figure.3. Ensemble four agitateur



Figure.4. Moules métallique pour éprouvettes d'essais

Des éprouvettes destinées aux divers tests; Caractéristiques mécaniques, densité, et métallographie ont été ensuite préparées. La densité a été mesurée sur des tranches de barreaux découpées par double pesée (fig.5) [49]. Les caractéristiques de traction ont été conduites sur des éprouvettes brutes de coulée issues du moule métallique. Enfin les échantillons servant à l'étude microstructurale (optique et électronique à balayage), DRX ont été prélevés de ceux testés à la traction est préparés en conséquence (dégrossissage sur une gamme de papier émeri, finition sur un feutre imprégné de pâte diamantée). Ils ont été ensuite lavés et attaqués à l'aide d'un coton imbibé d'acide fluoridrique (HF1%).

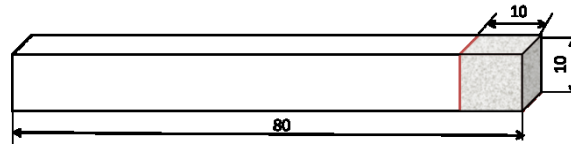


Figure.5. Barreau pour éprouvettes de densité

3. RESULTATS, OBSERVATIONS ET DISCUSSIONS

3.1. Matrice

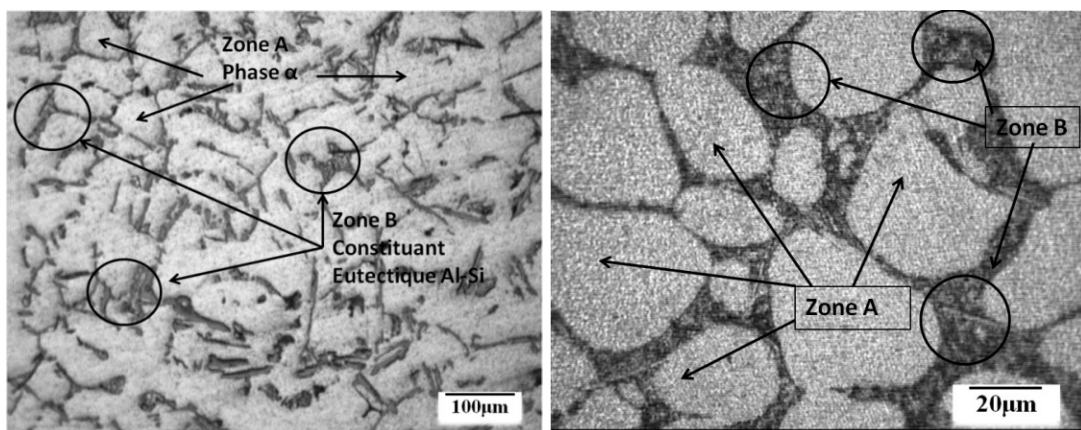
La composition chimique des différentes coulées de la matrice notée pour des conditions identiques est présentée dans le tableau 3. Les caractéristiques mécaniques obtenues à partir d'éprouvettes de dissection testées sur une machine de 10KN sont présentées dans le tableau 4. L'examen métallographique réalisé par microscopie optique sur un échantillonnage défini coulé dans les mêmes conditions (Fusion, température de coulée, moule...) est présenté sur la figure 6. Le radiogramme de la diffraction est dévoilé sur la figure 7.

Tableau 3. Composition chimique de la matrice

Matrice	Si	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Ti
A7G	6.9- 7.2	0.31- 0.42	0.001- 0.08	0.12- 0.138	0.017- 0,15	0.003-0.10	0.12-0.120

Tableau 4. Caractéristiques mécaniques de la matrice

Etat de coulée	Re, Mpa	Rm, Mpa	A%	HB
Sable	91-110	160-175	4-6	60-65



a) Faible grossissement

b) Détail des phases observées

Figure.6. Microstructure de la matrice

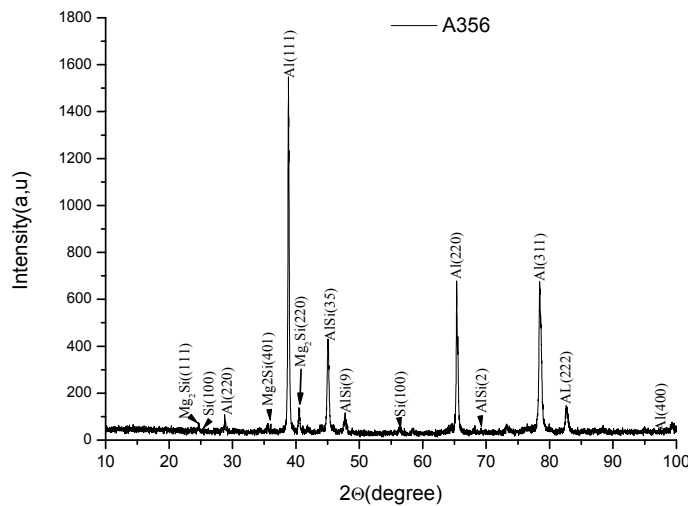


Figure. 7. Diagramme de diffraction des rayons X de la matrice

3.2. Composite

3.2.1. Propriétés physiques et mécaniques

L'observation de l'état du métal avant coulée est présentée sur la figure 8. Les valeurs des caractéristiques mécaniques obtenues ; Rm, Re, et A sont montrées sur les figure 9, 10, et 11 respectivement. La dureté est révélée sur la figure12, la porosité (fig.13) et la densité (fig.14). Quant au radiogramme de l'analyse par diffraction, il est présenté sur la figure15.

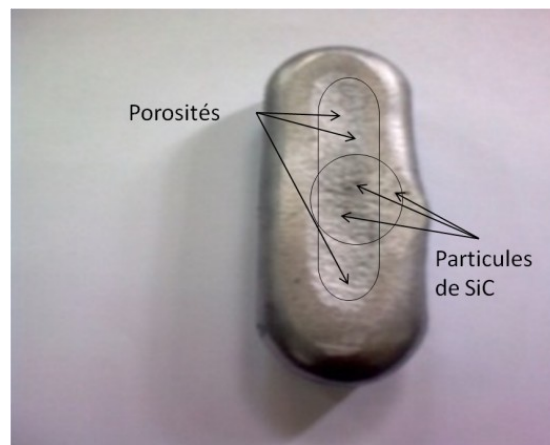


Figure.8.Porosités situées sur le haut de la masselotte

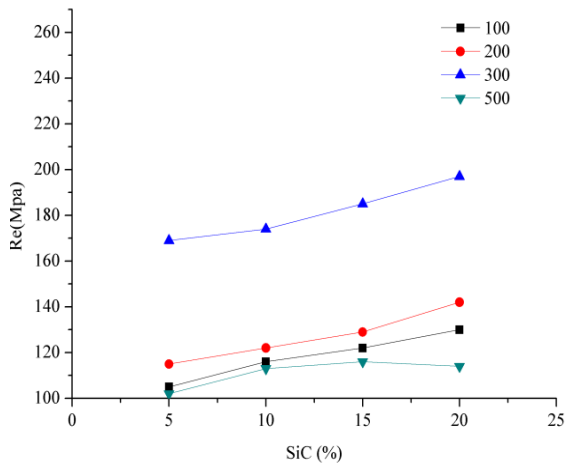


Figure.9. Variation de Rm en fonction du% de SiC

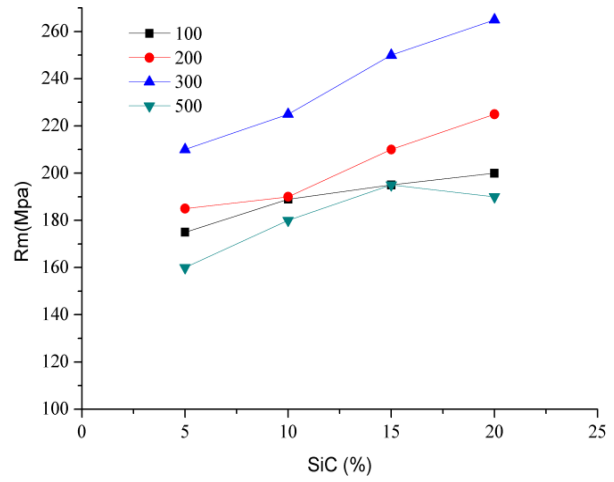


Figure.10. Variation de Re en fonction du% de SiC

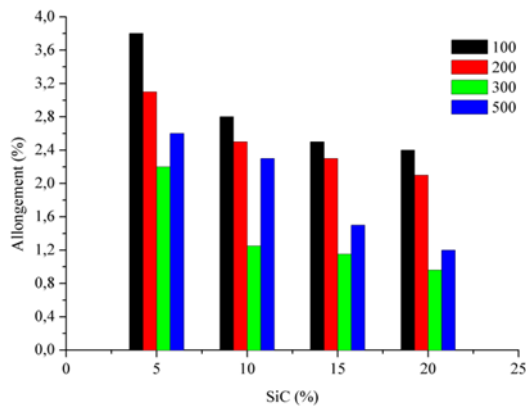


Figure11. Variation des valeurs de l'allongement

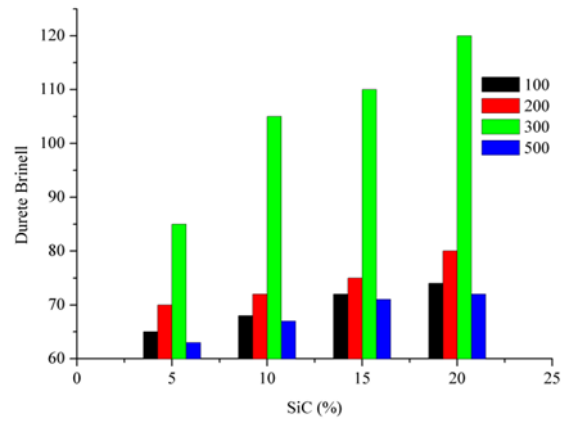


Figure12. Variation de la dureté

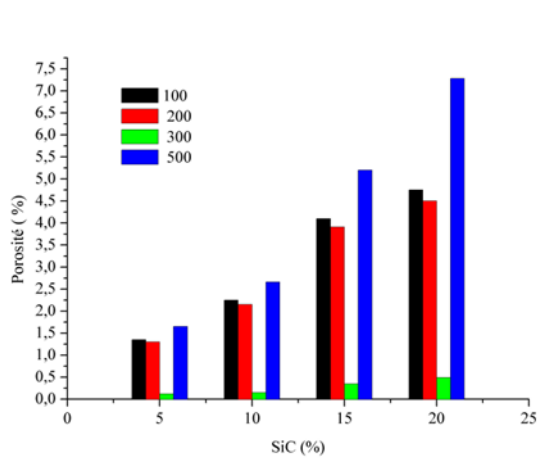


Figure 13. Variation de la porosité en fonction du % du SiC

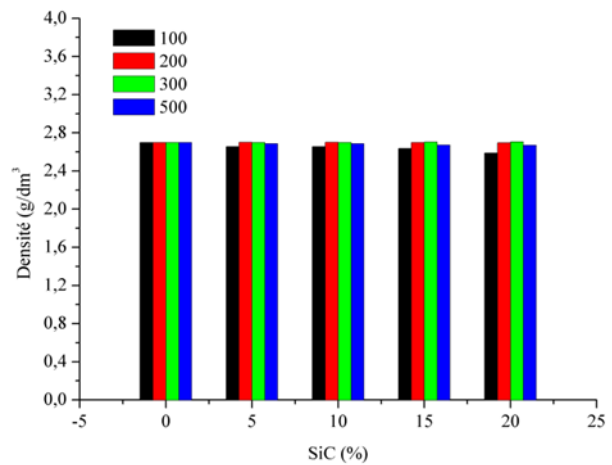


Figure.14. Variation de la densité

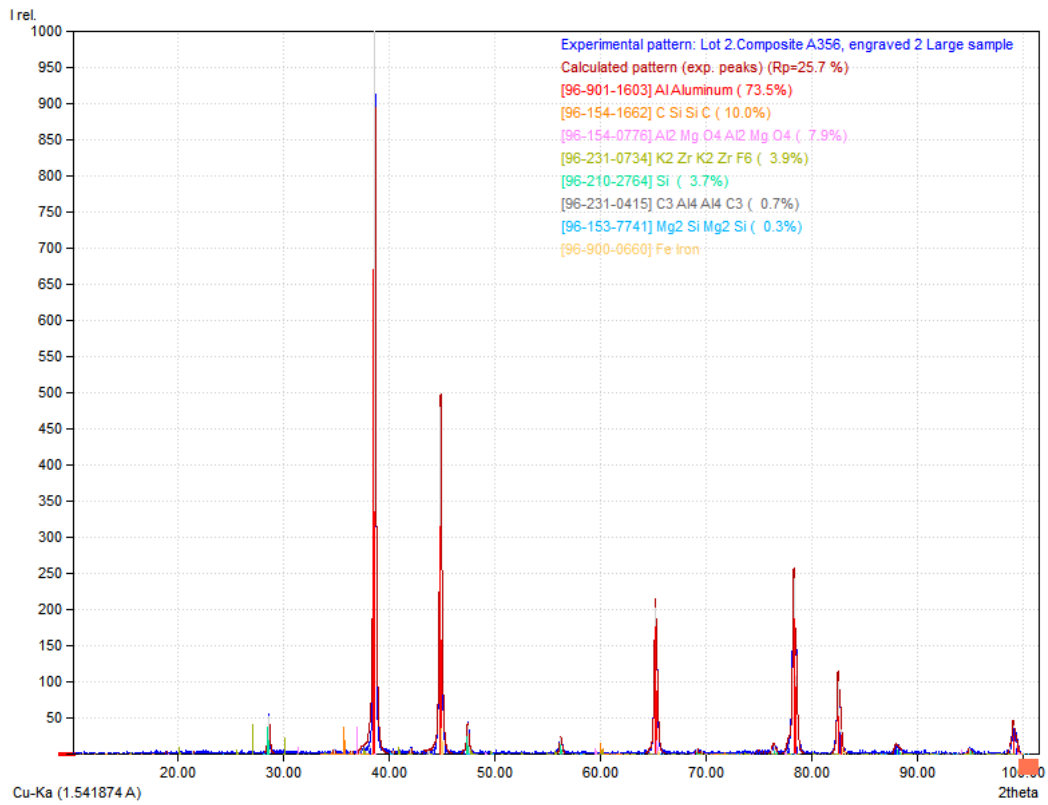


Figure.15. Radiogramme de diffraction X du composite A356

3.2.2. Observation métallographique

Les diverses structures auxquelles nous nous sommes parvenus par application des vitesses mentionnées combinées à un taux variable du renfort sont présentées sur les figures (16-25)

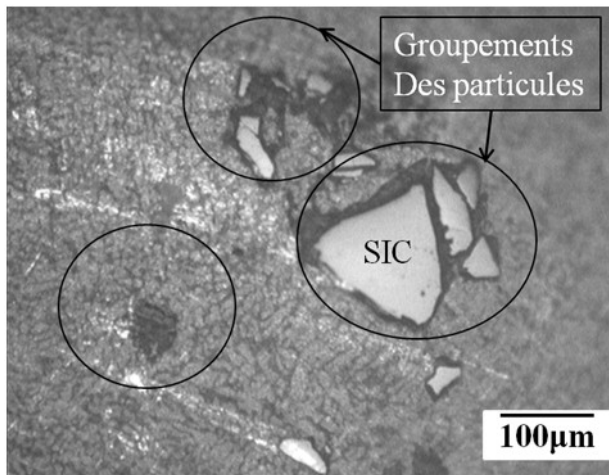


Figure.16 .Micrographie optique 16.
 (Groupement des particules 5% Sic, 100.tr/min)

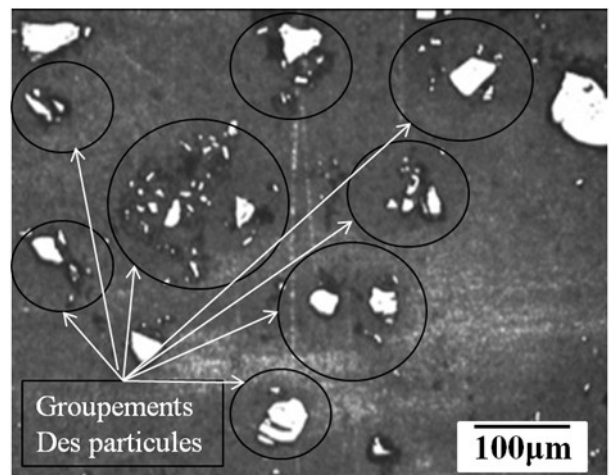


Figure.17.Augmentation du nombre de groupement avec celui du % de SiC (15% 100tr/min)

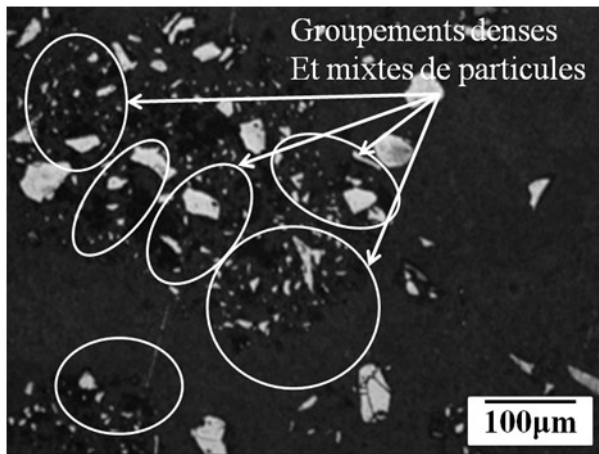


Figure.18. Densification du nombre de groupements en fonction du % du SiC (20%) et de la vitesse (500tr)

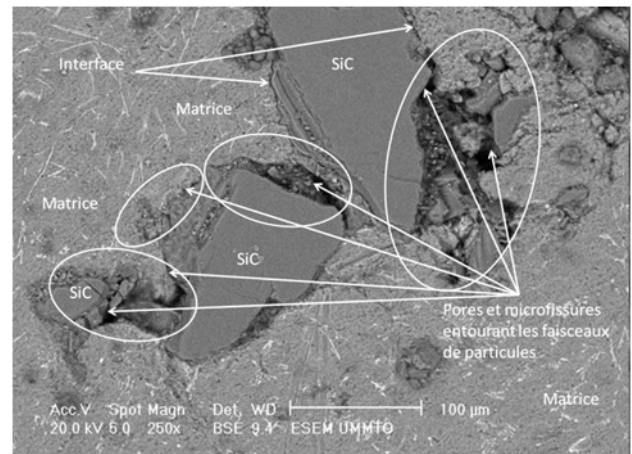


Figure.19. Micrographie électronique. Microfissures et pores autour des faisceaux de particules dans les régions interdendritiques

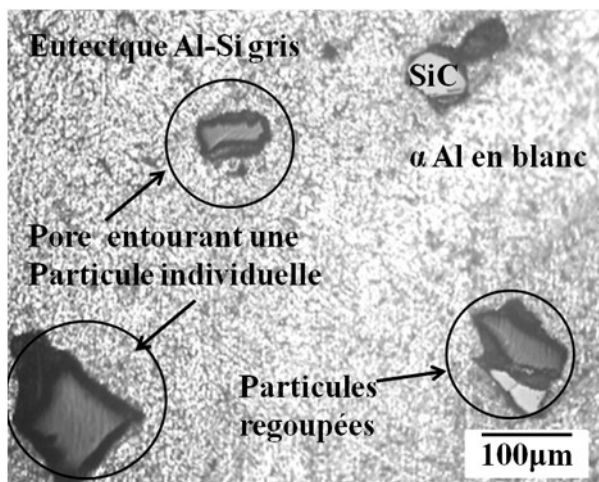


Figure.20. Micrographie optique. Plages pauvres en particules

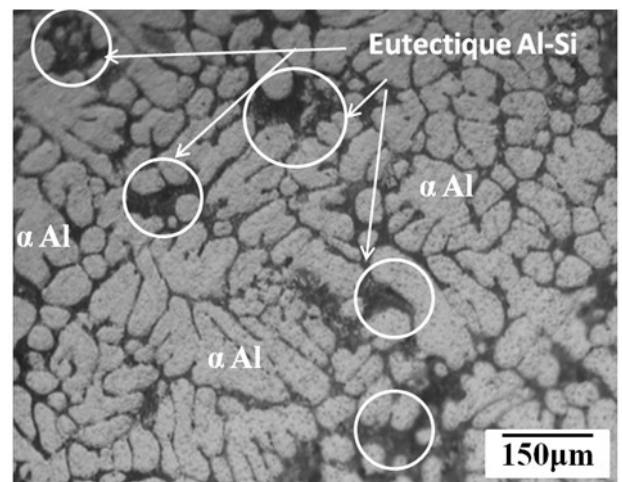


Figure.21. Micrographie optique Plages dépourvues de particules

4. DISCUSSIONS

4.1. Etat de la matrice

L'examen des résultats obtenus fait ressortir que la qualité métallurgique de la matrice élaborée est convenable. Le métal est exempt de gaz; Révélation faite par une observation de la cassure et confirmée par la compacité de la structure. En effet, La composition chimique présentée sur le tableau 3 est conforme aux standards et les caractéristiques mécaniques (tableau 4) correspondent aux spécifications techniques de cet alliage [50-51]. Au regard de ce constat, nous pensons que les précautions prises au niveau de l'élaboration (matières premières, technique de fusion, préchauffage, protection, coulée...) ont grandement contribué à cela. Ainsi au niveau de l'analyse chimique, nous pouvons remarquer que les fourchettes relatives au pourcentage des éléments obtenues reflètent bien le niveau des propriétés mécaniques habituellement atteints pour ce genre d'alliage coulé en sable. Pareillement, l'observation métallographique (optique) révèle la présence des composants structuraux types couramment rencontrés dans un matériau hypoeutectique contenant du silicium(A356). L'analyse de la micrographie représentant la structure de l'alliage solidifié exposée sur la figure 16 dévoile en effet, l'existence des dendrites primaires de la solution solide d'aluminium (α Al) et des particules Al-Si de l'eutectique réparties autour de celles-ci à travers toute la surface métallographique. Son aspect aciculaire grossier indique que l'alliage a été coulé en sable et qu'il n'a

subi aucune opération d'affinage ou de modification (fig.16) [52-53]. Cette structure a été observée sur tous les échantillons prélevés des différentes coulées exécutées dans les mêmes conditions. Les phases mentionnées sur les micrographies ont été confirmées par l'analyse de diffraction des rayons X réalisée sur les mêmes échantillons observés par la microscopie. Aussi, à travers les pics révélés par le radiogramme de la figure 15 nous pouvons remarquer une présence effective des constituants mentionnés. Toutefois la diffraction a mis en évidence d'autres types de phases caractéristiques telle que ; La phase $MgSi_2$ qui permet le durcissement de l'alliage par traitement thermique, mais pas certains composants complexes comme le $FeSiAl_5$ ou $\beta-AlFeSi$, $Al(FeMg)Si$ par exemple. Ces derniers constituants qui forment avec l'aluminium et le silicium des eutectiques complexes, se dégageant généralement dans les espaces interdendritiques n'ont pas pu être décelés.

4.2. Composite

4.2.1. Observation du métal coulé

Dans la première série d'expériences relatives à l'application de la vitesse de 100tr/min, nous avons pu relever avant coulée une anomalie bien particulière à ce genre de technique; Une certaine viscosité du bain qui s'est quelque peu amplifiée avec un pourcentage croissant du SiC. Dans d'autres situations, pareil phénomène observé quelque fois sur un matériau fondu est généralement amputable à une insuffisance de la température de coulée. Or la valeur de ce paramètre (720°C) est celle habituellement appliquée pour ce genre de matériau. Ce à quoi, nous supposons dans ce cas, que son apparition est due certainement au problème de mouillage existant d'habitude entre la plupart des alliages liquides et les agrégats de céramiques. Ce phénomène bien coutumier et pas aussi étrange qu'on le pense, a été étudié et mis en évidence par plusieurs chercheurs [54-58]. Son essence réside en principe dans une forte tension superficielle combinée à la présence accrue de gaz qui empêche l'imprégnation des particules par le métal liquide. Leur influence est telle, que les particules du renfort censées rester à l'intérieur du bain se détachent au contraire de ce dernier dès l'arrêt du malaxage. Elle décantent ensuite à la surface en formant des amas comme souligné par certains auteurs [59]. C'est ce qui est probablement déroulé dans cette première série d'expériences et a provoqué le manque de fluidité du métal constatée avant coulée. Pour de plus amples informations, nous avons été amené après solidification, à observer l'état de la surface supérieure de la masselotte en contact direct avec l'atmosphère et faisant office de système d'alimentation. L'examen a révélé que cette dernière contenait effectivement une fine microporosité concentrée principalement dans la zone centrale. Elle est mélangée à des particules d'aspect brillant qui indique la présence effective de ces dernières dans cette partie (fig.8). Ainsi, cette révélation confirme on ne peut mieux l'exactitude des observations évoquées ci-dessus. Néanmoins, il peut s'agir aussi dans le cas présent de l'application d'une vitesse réduite de malaxage. Une valeur basse de ce paramètre induit une tendance des particules à se regrouper parce que la force appliquée ne permet pas leur dispersion dans le métal liquide. Aussi, l'on suggère dans pareille situation, l'application d'une vitesse d'agitation vigoureuse pour surmonter ce problème

Dans la seconde série d'expériences, où la vitesse appliquée a été augmentée à 200 tr/min, nous avons constaté une certaine atténuation du phénomène qui n'est apparu qu'à fort taux de renfort (15 et surtout 20%). Cela suppose que la valeur du paramètre susceptible de réaliser un bon mouillage des particules n'est pas encore atteinte. En revanche, à une vitesse de malaxage de 300 tr/min, nous avons pu observer une absence quasi-totale des phénomènes mentionnés. Le matériau a présenté en somme une surface plus au moins compacte et homogène et une absence des manifestations générant les porosités, non venues, et points durs. L'écoulement s'est en effet normalement effectué après enlèvement du dispositif de malaxage. Seules quelques unes des expériences réalisées avec 20% de renfort surtout ont montré une petite tendance à la sédimentation; Phénomène somme toute compréhensible pour nous qui découle très probablement de l'utilisation d'une granulométrie hétérogène du renfort. L'augmentation de la vitesse jusqu'à 400 et surtout à 500tr/min, a conduit par contre à la résurgence du regroupement des particules et a généré en plus une sorte de mousse à la surface du bain. Cela suggère que la valeur appliquée est jugée excessive par rapport aux conditions du travail mises en place (mélange à l'état liquide). Dans cette étape, la vigueur du malaxage a été telle qu'elle a entraîné une forte turbulence, ce qui a facilité l'introduction des poches de gaz dans le bain à travers l' Al_2O_3 . La présence de ces dernières s'est consolidée en raison de la vitesse mais aussi parce qu'il est difficile de les faire décanter du bain dans ces conditions. Ainsi le nombre de poches

s'est accentuée et a rendu ces minuscules composantes vulnérables à l'encerclement par les gaz. C'est ce qui les a poussé à flocculer et flotter en surface comme l'ont relaté certains travaux [60-61].

Ce constat est authentiquement vrai dans la mesure où un bain gazeux a la fâcheuse tendance à augmenter les difficultés de mouillage des particules par le métal liquide. L'apparition de ce problème est très défavorable à l'obtention d'une bonne coulabilité nécessaire au remplissage des pièces. Il est en outre le facteur le plus pourvoyeur de défauts dans la structure (discontinuité) altérant par là même le comportement mécanique du matériau sous sollicitations.

4.2.2. Effets sur les propriétés mécaniques

L'allure des courbes dévoilée révèle que les propriétés mécaniques telles que la résistance à la traction et la limite élastique dépendent dans une large mesure du taux de renfort et de la vitesse de brassage comme spécifiés dans de nombreux travaux [62-65]

Les résultats présentés sur les figures 9 et 10 montrent en effet un accroissement de ces caractéristiques qui suit celui des paramètres mentionnés. Les meilleures valeurs ont été enregistrées pour des vitesses variant de 200 à 300tr /minutes et un taux de renfort de 15 à 20%. Pareillement, les valeurs de dureté ont subi le même sens de croissance et ont atteint une valeur maximale pour la teneur limite des particules (fig.12). A contrario, les valeurs de l'allongement ont suivi un chemin inverse en subissant une forte baisse avoisinant les 70% (fig.11). La réduction de la ductilité est attribuée principalement à l'accroissement de la fraction incorporée due aux qualités intrinsèques du renfort (dureté principalement) [66]. Il peut s'agir aussi d'une présence accrue de pores qui abaisse fortement la valeur de cette caractéristique. La figure 14, relative à la porosité montre cependant des valeurs variables dépendant principalement de la vitesse de malaxage. Une valeur basse (100) ou forte (500) de ce paramètre combinée à une fraction élevée du renfort favorise l'augmentation de la porosité. Par contre un malaxage pratiqué avec une vitesse appropriée 300tr/min dans notre cas diminue fortement ce phénomène.

De ces résultats, il ressort que la vitesse de brassage a joué vraiment un rôle prépondérant dans l'introduction du gaz dans le matériau en fusion. Il renseigne à ne plus en douter d'une insuffisance du mouillage qui découle directement de l'agglomération des particules et s'amplifie avec un pourcentage croissant du renfort. Pour rappel, ce phénomène a été déjà observé avant coulée et commenté.

Sur la figure 15 où sont représentées les valeurs de la densité, nous remarquons une légère variation mais qui n'est pas vraiment significative. Elle indique que le renfort a peu d'effets sur ce paramètre du fait d'une différence réduite entre la densité du matériau composite et celle de la matrice. Il peut être là encore, la conséquence directe de l'apparition d'une porosité générée par une augmentation de la vitesse de malaxage qui provoque l'abaissement de cette caractéristique. Ainsi, les valeurs minimales observées sur la courbe résultent du faible niveau du mélange qui a favorisé le regroupement des particules et par conséquent la création et l'emprisonnement de gaz aux interfaces matrice-renfort.

4.2.3. Microstructure

L'observation métallographique (optique et électronique) des divers échantillons élaborés à différentes vitesses et taux de renfort fait ressortir une multitude de structures où l'homogénéité côtoie l'hétérogénéité. Nous les avons scindés en deux lots distincts (1, 2) et seront présentés selon ce mode. Le premier lot représentant les micrographies dévoilant les anomalies telles que la sédimentation et/ou la porosité auront la primauté. Elles sont considérées à nos yeux comme représentatives du phénomène important de non mouillage responsable des problèmes touchant à la qualité de ces matériaux. Celles étalant une consistance de répartition des composants notamment les particules du renfort, représentent le lot 2. Elles sont considérées comme le résultat où les paramètres appliqués sont jugés adéquats. Nous les commentons en dernier.

Le résultat des structures types du lot 1 sont présentées sur les figures (16-21). L'examen de leur constitution dévoile à première vue, l'existence de groupements de particules qui sont largement visibles à certains endroits qui résultent de la présence du problème déjà soulevé du non mouillage (fig.16.5% et 100tr/min). Ce point déjà rencontré suite au phénomène d'agglomération observé avant coulée qui a généré une viscosité excessive du bain liquide est maintenant bien illustré. Il est aussi remarqué que le nombre de ces agrégats est fortement impacté par des teneurs croissantes en renfort et la vitesse (fig.17). Nous remarquons par ailleurs une mauvaise répartition de ces conglomerats qui sont formés globalement de colonies mixtes (petites particules autour des grandes) dans la phase finale de solidification contenant habituellement l'eutectique (fig.18, 20%et 500tr). Cet aspect trouve son essence en partie dans l'hétérogénéité de la granulométrie du renfort utilisé où très peu de travaux lui

ont été malheureusement consacré (les dimensions uniquement pas la forme). Pourtant, pris dans sa globalité, nous considérons ce facteur comme très important. Il est capital à nos yeux de lui consacrer une place pour bien élucider son rôle et son étendue sur le regroupement des particules et surtout son impact sur le mouillage.

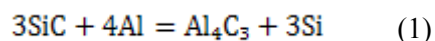
Toujours dans ce cadre, Les micrographies présentées font ressortir aussi l'existence de microfissures et pores. Ils sont observables notamment dans les régions interdendritiques associés à des faisceaux de particules, rarement dans la matrice comme le révèle la figure 19 prise par le microscope électronique à balayage. D'autres par contre entourent le renfort notamment au niveau des interfaces. D'autre part il est aussi remarqué que certains endroits balayés ne contiennent que très peu de renfort pour une teneur réduite en ce dernier et une faible vitesse de malaxage comme le dévoilent les figures 20,21 par exemple. Là encore, nous remarquons la tendance des particules au regroupement malgré un nombre très limité. Celles qui sont unitaires sont entourées de pores.

Concernant la seconde catégorie de micrographies, elle représente celle comme nous l'avons mentionné le résultat du matériau élaboré sous une vitesse de 300tr/min. Leur analyse dévoile à première vue une bonne répartition des particules. Elle montre effectivement par rapport à celles du lot 1, des structures homogènes et compactes. Elles sont caractérisées dans l'ensemble par une meilleure distribution des particules (fig.22) et très peu de porosité. Ces résultats étaient vraisemblablement prévisibles pour nous du fait qu'à la coulée, le métal n'a pas perdu sa fluidité comme c'était le cas lors d'un faible ou fort malaxage. Néanmoins, nous observons quand même une légère séparation des microparticules dans certains endroits de quelques échantillons. C'est surtout au niveau des micros groupements que les pièces présentent une certaine porosité et une ségrégation structurale de répartition. Ce phénomène résulte à notre sens du problème déjà soulevé de l'hétérogénéité granulométrique du renfort utilisé (fig.23). Mais, l'ampleur du phénomène d'agglomération constaté est assez moindre. Cela revient à dire que l'application d'une vitesse de 300 tr/min est jugée convenable par rapport aux batteries de mesures prises au niveau de l'expérimentation. Celles-ci ont concerné nous le rappelons, aussi bien la matrice que les particules du renfort. Ainsi sur la figure 24 représentant la micrographie d'un matériau renforcé par un taux moyen (10% de SiC), nous remarquons que les particules sont isolées les unes des autres. L'augmentation du taux de renfort jusqu'à 15% n'a pas apporté un changement notable dans la distribution qui est restée toujours homogène avec absence du phénomène observé par application des autres vitesses. Par contre sur la figure 25 montrant une structure renforcée par 20%, nous observons une légère tendance au regroupement surtout des petites particules. Nous estimons dans ce cas de figure que ce fait dérive particulièrement de la variété des formes et des dimensions du renfort qui ont concouru à l'apparition de cet événement et pas de la vitesse.

Nous notons enfin que toutes les microstructures présentées et commentées contiennent les mêmes composants (α Al, eutectique ALSI, particules de SiC). Ces derniers ont été confirmés par l'analyse de la diffraction X (fig.15) opérée sur les mêmes échantillons. Il a permis aussi de dévoiler l'existence d'autres types phases révélés par les pics (fig.15):

- La phase du silicium qui a été observée dans les régions eutectiques fixée à la surface des particules.
- La phase durcissante Mg_2Si
- Des produits de réaction aux interfaces qui n'ont pas pu être observés micrographiquement ; Ce sont généralement des spinelles $MgAl_2O_4$, MgO et eutectiques complexes à base de fer, Mg. Ils découlent de l'existence de plusieurs impuretés dans la matrice que des chercheurs ont déjà observées à savoir [67-71] :

- Le carbure d'aluminium (Al_4C_3) issu de la réaction:



La quantité de ce composé indésirable dans le composite est heureusement insignifiante. En principe sa formation est improbable dans nos conditions expérimentales pour plusieurs raisons ;

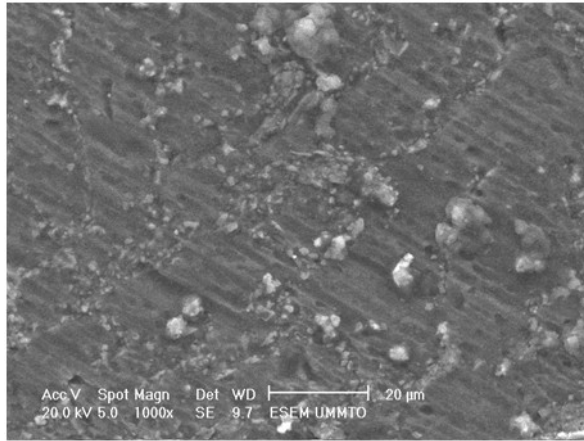


Figure. 22. Micrographie électronique. Bonne répartition des particules

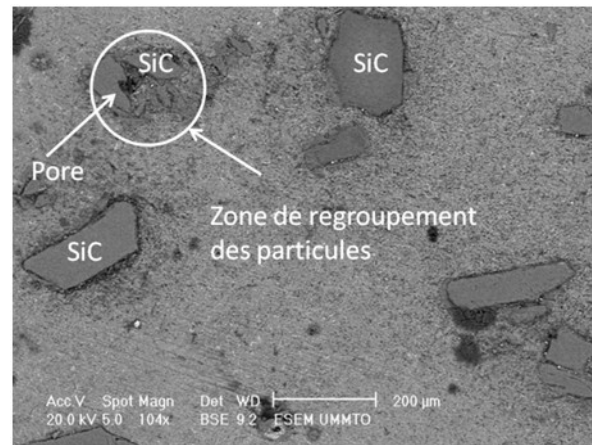


Figure .23.Micrographie électronique. Zone de microgroupement propice à la porosité

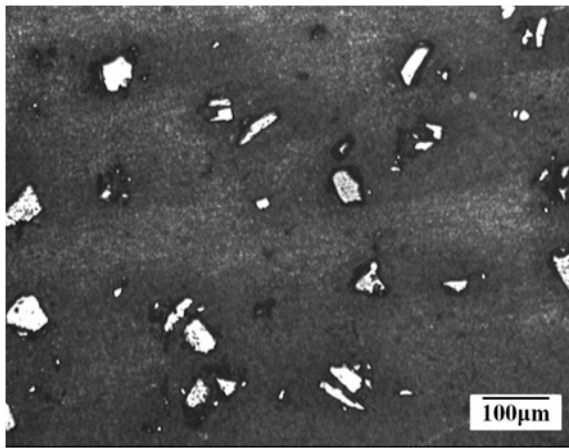


Figure.24.Bonne répartition des particules à 10% de de SiC et 300tr/min

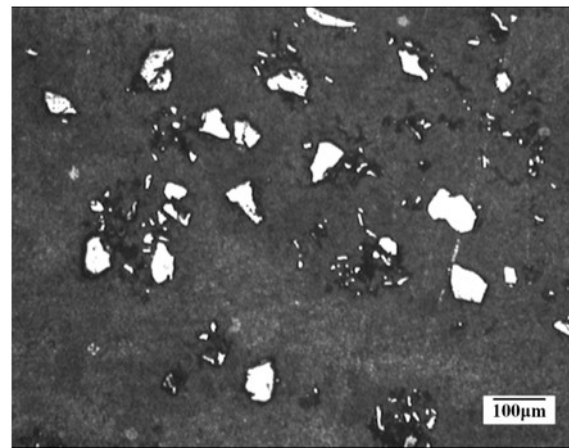


Figure.25 Tendance au regroupement à 20% de SiC et 300tr/min des petites particules

D' une part, il apparait à une température supérieure à 750°C avec un maintien prolongé du bain et un % supérieur en silicium d' autre part [68]. Or, toutes les précautions ont été prises au cours de l'élaboration (préchauffage des composants, fusion rapide, traitement du renfort, temps de malaxage réduit, température de coulée conforme). Cela suppose donc, qu'il pourrait y avoir d'autres raisons. Il s'agit peut être de la faiblesse de conductivité et de diffusivité thermique du SiC comme l'a suggéré Zhou dans ses travaux [67]. Nous avons aussi pu remarquer à travers les pics du radiogramme, l'existence de traces du composant K_2ZrF_6 que nous avons utilisé au traitement chimique du renfort avant l'incorporation des particules.

5. CONCLUSION

A la lumière des résultats obtenus tant structuraux que mécaniques par application de différentes vitesses de malaxage et un taux variable du renfort nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

1-La vitesse de malaxage et le taux du renfort sont deux paramètres importants qu'il est primordial de maîtriser et l'action et l'étendue, car leur incidence est considérée comme directe sur la qualité métallurgique du produit fabriqué par cette technique.

En effet, une faible vitesse conduit à une agglomération des particules qui abaisse non seulement la fluidité nécessaire au remplissage des pièces mais aussi génère une porosité préjudiciable au comportement mécanique de matériau. De même une agitation vigoureuse complique davantage la

situation par augmentation de la teneur en porosité suite aux piégeages de gaz et l'introduction d'autres inclusions dans le bain et ce quelque soit le taux de renfort incorporé;

2- Les deux facteurs cités ne sont pas les seuls à prendre en considération; L'hétérogénéité granulométrique du renfort comme nous l'avons vu est aussi un paramètre à ne pas négliger. Une similitude des formes et dimensions de ce constituant contribuerait certainement à l'acquisition de bons résultats;

3-Pareillement une technique de fusion adéquate garantirait un produit de qualité.

REFERENCES

- [1] Prasada SV, Asthanab R. 2004. Aluminium metal-matrix composites for automotive applications: tribological considerations. *Tribology Letters*. Vol. 17 (3), pp 445–53.
- [2] Kocazac MJ, Khatri SC, Allison JE, Bader MG. 1993. MMCs for ground vehicle, aerospace and industrial applications. In: Süresh, et al, editor. *Fundamentals of metal matrix composites*. Guildford, UK: Butterworth. Pp.297-303.
- [3] Rohatgi PK. 1991. Cast aluminum matrix composites for automotive applications. *Vol.43 (4)*, pp 10 -15.
- [4] Chadwick GA, Heath PJ. 1990. Machining of metal matrix composites. *Metal Materials*. Vol. 2(6), pp 73 -76.
- [5] Surapa MK. February/April 2003. Aluminum matrix composites. Challenges and opportunities. *Sadhana* Vol. 28, Parts 1 & 2, pp. 319-334.
- [6] Mortensen A. 2001. Metal matrix composites: Matrices and processing. In *Encyclopedia of materials Science and technology* TW Clyne .ed. Elsevier.
- [7] Stucky M. 1989. Revue critique des renforts et des procédés d'élaboration des matériaux composites à matrice métallique. *FFA.90*, pp 31-39.
- [8] Miracle DB. 2005. Metal matrix composites from science to technological significance. *Composite Sciences Technology*. Vol.65, pp 2526-40.
- [9] Ralph B, Yuen HC, Lee WB. 1997. The processing of metal matrix composites – an overview. *Journal Materials Process Technology*. Vol. 63, pp 339-53.
- [10] Naslain R. 1985. Introduction aux matériaux composites. T.2, Matrices métalliques et céramiques. Éd. CNRS. 491 p.
- [11] Lloyd D.J. 1999. Particle reinforced aluminum and magnesium matrix composites. *International material review*. Vol.39, pp 1–23.
- [12] M K Surappa, P K Rohatgi. 1981. Preparation and properties of aluminum alloy ceramic particle Composites. *Journal. Materials. Sciences*. Vol. 16. pp 983-993.
- [13] Harrigan WC. 1998. Commercial processing of metal matrix composites. *Material Sciences Engineering A*, Vol (A) pp 244-75.
- [14] Degischer HP. 1997. Innovative light metals: metal matrix composites and foamed aluminum. *Material Design*. Vol.18 (4-6), PP 221-6.
- [15] Aquida SN, Ghazali MI, Hashim J. 2004. Effects of porosity on mechanical properties of metal matrix composite. *Jurnal Teknologi*, Vol.40A Malaysia Jun.: 17-32.
- [16] Schwartz MM. 1997. *Composite Materials: Processing, Fabrication and Application*. USA: Prentice Hall
- [17] Skibo M, Morris P L, Lloyd D J. 1988. Structure and Properties of Liquid Metal Processed SiC Reinforced Aluminum: Cast Reinforced Metal Composites. In: Fishman, S.G., and Dhingra, A.K. (eds.). *World Materials Congress*, pp 257-261.
- [18] Asthana R. 1998. Processing effects on the engineering properties of cast metal–matrix composites. *Advanced Performance Materials*. Vol. 5, pp213–55.
- [19] Xiandong S, Zhuoxuan L, Liuzhang O. 1997. The fabrication and properties of particle reinforced cast metal matrix composites. *Journal Material Process Technology*. Vol.63, pp 426–31.
- [20] Taha M. 2001. Practicalization of cast metal matrix composites. *Material Design*. Vol. 22, pp 431-41.
- [21] Hashim J, Looney L, Hashmi MSJ. 2001. The Wettability of SiC particles by molten aluminum alloy. *Journal Materials Process Technology*. Vol.119, pp 324-8.
- [22] Hashim J. 1999. Microstructure and Porosity Studies of Cast Al-SiCp Metal Matrix Composite. *Jurnal Teknologi*. Vol 31(A), pp1-12.
- [23] Ghosh P K, Ray S. 1987. Effect of Porosity and Alumina Content on the High Temperature Mechanical Properties of Compcast Aluminum Alloy –Alumina Particulate Composite. *Journal of Materials Science*. Vol. 22, pp 4077-4086.
- [24] Shorowordi KM, Laoui T, Haseeb A, Celis JP, Froyen L. 2003. Microstructure and interface characteristics of B4C, SiC and Al2O3. *Journal Materials Process Technology*. Vol. 142, pp738–43.

- [24] Surappa MK.1997. Microstructure evolution during solidification of DRMMCs: state of art, Journal of Materials Processing Technology .Vol .63, pp325-333.
- [25] Kennedy AR, Karantzalis AE. 1999. The incorporation of ceramic particles in molten Aluminum and the relationship to contact angle data. Material Sciences Engineering A Vol. A264, pp122-9.
- [26] Dolata-Grosz A, Dyzia M, OEleziona J .Issue May 2008.The formation of the structure of cast composites in different solidification conditions .Archives of Materials Science and Engineering Pages 13-16.
- [27] Cholewa M. 2005 Simulation of solidification process for composite micro-region with incomplete wetting of reinforcing particle, Journal of Materials Processing Technology .Vol.164-165 , pp 1181-1184.
- [28] Dolata-Grosz A., Dyzia M, leziona J. 2007.Solidification and structure of heterophase composite, Journal of Achievements in materials and manufacturing engineering .Vol.20 , pp103-106.
- [29] Myalski J, leziona J, Dyzia M. 2003. Characteristic of solidification aluminium alloys matrix composites, Archives of Foundry 3/10, pp 61-66 (in Polish).
- [30] Mattern A, Huchler B, taudenecker D, R, Oberacker, Nagel A, Hofmann MJ.2004. Preparation of interpenetrating ceramic-metal composites, Journal of the European Ceramic Society .Vol.24, pp 3399-3408
- [31] Garcia J, Hinojoza A, Gonzalz RC, Juarez I J, Surrapa MK. 2004. Effect of grain refinement treatment on the microstructure of cast Al-7Si-SiCp composites, vol. 386, n°1-2, pp. 54 -60.
- [32] Kannan S, Kishawy HA. .2008.Tribological aspects of machining aluminium metal matrix composites. Journal of Materials Processing Technology.Vol. 198,399-406.
- [33] Waly M A, Ibrahim K M, Abelazim AN. 2006.Structure and wear properties of SiC reinforced Al-Li alloy in the cast and heat treated conditions. Canadian metallurgical quarterly .Vol.45. pp 45
- [36] Tekmen C, Ozdemir I, Cocen U, Onel K. 2003.The mechanical response of Al/Si/Mg/SiCp composite. Influence of porosity. Materials Science and Engineering A.Vol.360, pp 365/371.
- [37] Balasivanandha Prabu S, Karunamoorthy L, Kathiresan S, Mohanb B. 2006.Influence of stirring speed and stirring time on distribution of particles in cast metal matrix composite. Journal of Materials Processing Technology .Vol.171 , pp 268-273.
- [38] Nai SML, Gupta M.2002. Influence of stirring speed on the synthesis of Al/SiC based functionally gradient materials. Composite Structure. Vol.57, pp 227-233.
- [39] Non ferrous alloys and special purpose materials. 1992. ASM International Handbook.Volume2: properties and selection.3470 p.
- [40] DMITRY G. ESKIN .2008.Physical Metallurgy of Direct Chill Casting of Aluminum Alloys. By Taylor & Francis Group, LLC.324p.
- [41] George E, Totten D, Scott MacKenzie.2003. Handbook of Aluminum Volume 1 Physical Metallurgy and Processes. Copyright by Marcel Dekker, Inc. New York.1309p
- [42] George E. Totten, D. Scott Mackenzie. 2004. Alloys production and manufacturing. Handbook of aluminum. Volume2. Copyright by Marcel Dekker, Inc New York .731p.
- [43] Gilbert Kaufman J. 2000.Introduction to Aluminum Alloys and Tempers. ASM International.
- [44] Urena A, Martinez EE, Rodrigo PL. 2004.Oxidation treatments for SiC particles used as reinforcement in aluminum matrix composites. Composite Sciences Technology .Vol. 64, pp 1843-54.
- [45] Rocher JP, Quenisset JM, Naslain R. 1989.Wetting improvement of C or SiC by Aluminum alloys based on a K2ZrF6 surface treatment : application to composite material casting, Journal Material. Sciences. vol.24, pp.2697-2703.
- [46] Hashim J, Looney L, Hashmi MSJ.1999.Metal matrix composites: production by the stir casting method, Journal Materials Process Technology .Vol.92/93, pp 1-7.
- [47] Hashim J, Looney L, Hashmi MS.J.2002. Particle distribution in cast metal matrix composites, Part 1, Journal Materials Process Technology Vol.123, pp251–257.
- [48] Hashim J, Looney L, Hashmi MSJ. 2002. Particle distribution in cast metal matrix composites, Part II, Journal Materials Process Technology.Vol. 123, pp 258–263.
- [49] Pratten N A. 1981 Review. The Precise Measurement of the Density of Small Samples, Journal Materials. Vol. 16. pp. 1737-47.
- [50] Classification des alliages d'aluminium. Notice d'information sur l'aluminium.2ieme partie .Métallerie 49.spécial soudage. Avril 2003
- [51] Nomenclature internationale des alliages d'aluminium de fonderie. 2003. CD. Collectif CTIF.
- [52] Atlas de micrographie quantitative des Al Si7Mg. 2005. Collectif. ETIF.
- [53] Malgorzata W. 2004.Aluminum- silicon casting Alloys. Atlas of Microfractographs. ASM International.

- [54] Chao Li, Wang Y J, Qin Ke, Li Shu Long.2016 The Research Status of the Wetting of Metal/Ceramic in the High Temperature Self-Lubricating Materials. International Journal of Materials Science and Applications. Vol. 5, No. 2, pp. 108-112.
- [55] Siljan OJ, Schoning C. 2003.Refractories for molten aluminum contact-part II: influence of pore size on aluminum penetration. Refractories Applications and News, vol. 8, no. 1, pp. 21–29.
- [56] Joaquin Aguilar- Santillan. Wetting of Al₂O₃ by Molten Aluminum. The Influence of BaSO₄ additions. Journal of Nanomaterials. Vol. 2008 Article ID 629185, 12 pages.
- [57] Eustathopoulos N. 2015. Wetting by Liquid Metals. Application in Materials Processing Metals Vol. 5, pp 350-370.
- [58] Lai, QQ, Zhang, L.; Eustathopoulos, N. 2013 Enhanced wetting of dual-phase metallic solids by liquid metals: A new effect of interfacial reaction. Acta Materialia. Vol, 61, pp 4127–4134.
- [59] Ourdjini A, Chew KC, Khoo BT. 2001. Settling of silicon carbide particles in cast metal matrix composite. Journal Materials Processing Technology. Vol.116, pp 72–76.
- [60] Aizenshtein M, Froumin N, Frage N.2014 Experimental Study and Thermodynamic Analysis of High Temperature Interactions between Boron Carbide and Liquid Metals. Engineering. Vol. 6, pp 849-868. <http://dx.doi.org/10.4236/eng.2014.613079>
- [61] Sohrabi Baba Heidary D, Akhlaghi F.2011. Theoretical and experimental study on settling of SiC particles in composite slurries of aluminum A356/SiC. Acta Materialia .Vol.59, pp 4556–4568.
- [62] Mohanakumara KC, Rajashekar H, Ghanaraja S, Ajitprasad SL.2014. Development and mechanical properties of SiC reinforced cast and extruded Al based metal matrix composite. Procedia Materials Science.Vol. 5 pp 934 – 943.
- [63] Meena K. L., Manna, A, Banwait, S. Jaswanti S.2013. An Analysis of Mechanical Properties of the Developed Al/SiC-MMC's, American Journal of Mechanical Engineers.Vol 1, pp. 14-19.
- [64] Himanshu Kala, KKS Merb, Sandeep Kumarc.2014. A Review on Mechanical and Tribological Behaviors of Stir Cast Aluminum Matrix Composites. Procedia Materials Science .Vol.6 pp 1951 – 1960.
- [65] MAZAHERY A, Ostad, SHABANI M.2012. Characterization of cast A356 alloy reinforced with nano SiC composites. Transactions of Nonferrous Metals. Society. China.Vol. 22, pp 275-280.
- [66] Silicon Carbide Ceramics, Structure and Properties of. Encyclopedia of Materials. 2001 Science and Technology.
- [67] Zhou W., Xu Z.M. 1997. Casting of SiC Reinforced Metal Matrix Composites. Journal of Materials Processing Technology.Vol. 63 .pp 358-363.
- [68] S Charles, Arunachalam VP.2003. Effect of particle inclusion on the mechanical properties of composites fabricated by liquid metallurgy, Indian Journal Engineering Materials. Science. Vol.10 pp 301.
- [69] Neelima D, Selvaraj C, N., Mahesh, V.2012. Micro structural aspects of Aluminum Silicon Carbide Metal Matrix Composite, International Journal of Applied Science and Engineering Research, Vol.2, pp. 250-254.
- [70] Lloyd DJ, 1989.Solidification microstructure of particulate reinforced aluminium/ SiC composites. Composite Science and Technology .Vol.35, pp 159-179.
- [71] Mortensen A. 1991.Interfacial phenomena in the solidification processing of metal matrix composites. Materials Science and Engineering, A Vol.135, pp 1- 11

REMERCIEMENTS

L'auteur adresse ses vifs remerciements aux:

- Responsables des entreprises « ETRAG » de Constantine et SNVI ROUIBA pour les charges métalliques et l'analyse chimique,
- Professeur Khelfaoui Yousef de l' Université de Bejaia pour la diffraction X,
- Professeur Athmani Amara de l'Université de Skikda et le laboratoire de recherche de l'université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou pour la microscopie électronique à balayage.

A Computational Simulation of bending fatigue in spur gear with profile modification

Une simulation numérique de la fatigue en flexion d'engrenage à denture droite avec modification de profil

Tarek Maifi*, Rabah Bourenane & Rabia Khelif.

Industrial Mechanics Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Badji Mokhtar Annaba University, P.O. Box 12, 23000, Annaba, Algeria.

Soumis le : 09/04/2018

Révisé le : 20/05/2018

Accepté le : 04 /06/2018

ملخص:

في هذا العمل اجرينا نمذجة باستخدام طريقة العناصر المحدودة (ANSYS MEF) لتحديد عمر المرحلة الولي للكلل (Ni) فالتروس المسننة المستقيمة و المصنوعة من الصلب (42 CD 4), ثم استخدمنا برنامج اضافي للعناصر المحدودة (FRANC 2D) الذي يعتمد على مبدأ ميكانيك القطع الخطية الرجعية لمحاكاة انتشار الشقوق عند جذر السن هذا الاخير يعتمد على معادلة (Paris-Erdogan) يقدم النموذج المستخدم طريقة لتحديد بداية التشققات بالإضافة الى سرعة انتشار هذا الأخيرة. النتائج المتحصل عليها تم مقارنتها بمختلف الاجهادات المطبة لمراقبة تأثير درجة الاجهادات على المدة الكاملة للكلل. كما ان هذه الدراسة مفيدة للغاية و تسمح بانجازو تطوير خطط التفتيش الخاصة بالتروس المدروسة.

Abstract :

In this work, we conducted a modeling using the finite element method (FEM ANSYS) for determining the lifetime of Ni initiation of a crack in the straight toothed gears in 42CrMo4 steel. An additional program of finite element FRANC2D based on the principle of LEMF was used to simulate the propagation of cracks at the tooth root. The latter uses the Paris-Erdogan equation for the growth of cracks. The model presented is used to determine the propagation velocity of the crack. Acquired results we they allowed to understand the effect of the charge load on the life of spur gears on one hand, of besides part also to have the state of stresses on the crack-tip and the speed of crack propagation. This study gives the possibility of working out a plan of examination for these gears.

Key words: Simulation; Gear; Fatigue; Crack; Bending

Résumé :

Dans ce travail nous avons effectué une modélisation par la méthode des éléments finis pour la détermination de la durée de vie de l'initiation Ni d'une fissure dans les engrenages droits en acier 42CrMo4. Un programme supplémentaire des éléments finis FRANC2D basé sur le principe de la MELR a été utilisé pour simuler la propagation de fissures à la racine de dent. Ce dernier utilise l'équation de Paris-Erdogan. Le modèle présenté est exploité pour déterminer la vitesse de propagation de la fissure. Les résultats obtenus nous on permit de comprendre l'effet de l'état de chargement sur la durée de vie d'un engrenage d'une part, d'outre part aussi d'avoir l'état de contrainte au voisinage de fissure et la vitesse de propagation de fissure. Cette étude offre la possibilité d'élaborer un plan d'inspection pour ces engrenages.

Mots Clés: Simulation; Engrenage ; Fatigue; Fissure ; Flexion

* Corresponding author : maifitarek@hotmail.com

1. INTRODUCTION

Gears are the main components of systems and mechanisms and are subjected to failure by fatigue. This is especially important in the industrial context of today, where the continuous search for optimization requires the use of the machine elements where the loading levels are near the critical limits. It is therefore essential to understand their behavior under various loading levels to avoid unexpected breakdowns with disastrous consequences. Since the gear teeth, in turn, undergoes the load of transmitted power, their state of stress varies cyclically, thus explaining their fatigue and failure at loading level is well below the yield strength of the material. Specifically, the breakdown of the gears frequently results from a spread of tooth root cracks caused by bending fatigue because it is responsible for more than 30%. Consequently, gear systems failures generate substantial losses. It becomes essential to understand this phenomenon in order to minimize negative impacts. Several standardized conventional procedures, for example, the DIN, AGMA, ISO, etc. [1-3], may be used to approximate the determination of the capacity of resistance of a gear tooth root. They are generally based on the comparison between the maximum stresses at the tooth root with the permissible bending stress. Their determination depends on some factors that allow a proper consideration of actual working conditions (additional internal dynamics and external forces, contact area, material, surface roughness, etc.). Conventional methods are exclusively based on experimental tests of the reference equipment (FZG). According to this [2], only the gear hardness with maximum stress at the root of the tooth changes the life of fatigue, and they consider that the final phase of the fatigue process in the root of the tooth gear, i.e the appearance of the final rupture. In [4], the authors study the equations of rack cutters for generating involutes gears with asymmetric teeth. In [5], the authors used the undercutting equation, for determining a minimum number of teeth of the spherical pinion.

However, the whole process of failure by fatigue of mechanical elements can be divided into the following steps (a) Micro-crack 'Nucleation'; (b) Growth in the short-crack; (c) Growth in the long crack and (d) occurrence of the final failure [6]. In engineering applications, the first two steps are generally referred to as the crack-initiation period, while the longcrack growth is called crack growth period.

But, in modern gear practice and manufacturing, the majority of gear applications are covered by the standard 20° in involute teeth generated by rack, hob, and CNC cutting process. This has many advantages such as: interchangeability, insensitivity to change in nominal center distance, commercial availability, and easy manufacturing by conventional methods (i.e., hobbing) [7].

In several cases, the correction of gears is made for technical reasons such as the correction of the center distance in order to avoid interference at the level of contact through clenched teeth. For it, the modification of gears allows to make easier the gear mesh and sometimes to increase the mesh stiffness [8] in the case of a positive modification. On the contrary, when they have a negative modification, the mesh stiffness reduces [9]. In undercutting, the tooth fillet is generated as the tip of the cutter removes material from the involute profile, thus resulting in teeth that have less tooth thickness at the root, where the critical section is usually located.

This work is specifically aimed at the problem in bending fatigue of the gears (with modification) and the propagation of the crack. Our aim is to establish an approach for the design of the gear on the Linear Elastic Fracture Mechanics (LEFM) base using the finite element method, due to the complexity of the shape of the gear tooth, to predict the initiation and propagation paths of the crack.

2 FEM BENDING FATIGUE MODELING

A number of internal sources may cause the excitation of a gear directly in the meshing area such as the impact of the mesh initiation and the tooth stiffness. Therefore, the variation in some parameters is evident namely the geometrical deviations of teeth bearings strain and shafts. Significant changes in tooth stiffness could be the consequence of fatigue crack in the tooth root.

Throughout the cracks progression, the tooth bending rigidity decreases. This tends to overload the adjacent teeth and promotes the crack initiation. Systematically, with bending fatigue, regular breaking in several successive teeth occurs. Premature failure of the gear teeth can be caused, basically, by a poor design, incorrect mounting, material defects or overloads. The entire process of bending fatigue by failure is the sum of the crack initiation and the propagation up to break (Eq. 1).

$$N_f = N_i + N_p \tag{Eq. 1}$$

Commonly N_i is higher than N_p but surface treatment affects the behavior in fatigue. For shot-penned gears, N_p can represent 15 to 30% of N_f and 30 to 40% for carburized[10]. Also, the induction hardening is used to harden specific areas of a work piece without affecting the material properties of the part as a whole[11]. Moreover, a gear subjected to a small load will have the maximum of its life in service in the initiation phase. However, the propagation up to break phase will be more significant during high loading levels (Fig. 1).

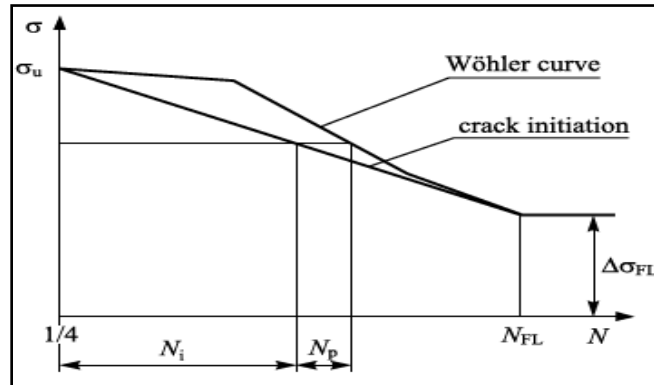


Figure 1 Schematic representation of the service life of mechanical elements [13]

2.1. First step: Fatigue crack initiation model

The number of cycles required to initiate a crack at a notch root of the tooth may be estimated by several methods. The first step is to determine the stress and strain at the critical region. The second step is to account for the damage accumulation at the critical location (the root of the tooth) by a means damage criterion.

The initiation of the bending cracks is located in the fillet of the teeth on the active side (fig.3.a), where the cyclic stresses in tensile are maximal. From literature[3], the progression of these cracks takes place towards a point corresponding to zero stress which is located initially near the root radius in the center of the tooth. This point moves until it reaches the fillet on the other side of the tooth. The generated trajectory refers to the direction with the least resistance to propagation.

Recent investigation by[12], attempts were made to determine damage at a notch root indirectly by using the nominal applied stress or strain and fatigue concentration factor. More recent approaches were developed by[13] to use the local stress and strain to determine the damage accumulation.

The present fatigue crack initiation model is based on the of continuum mechanics approach. The material is homogeneous and isotropic, i.e. assumed without imperfections or damage. A brief review highlighted the method used to predict the crack initiation life under constant amplitude cyclic loading, based on the relationship of Coffin-Manson (Eq. 2) [14] strains (ϵ), stresses (σ) and loading cycles number (N_i).

However, the method of deformation versus a number of cycles ($\epsilon - N_i$) is usually used to determine the number of cycles required for the initiation of fatigue cracks, where it is assumed that the crack is initiated at the point of greatest stress.

The total strain gradient $\Delta\epsilon$ has two components, elastic ($\Delta\epsilon_e$) and plastic ($\Delta\epsilon_p$) strain gradients, described by the equation below:

$$\frac{\Delta\epsilon}{2} = \frac{\Delta\epsilon_e}{2} + \frac{\Delta\epsilon_p}{2} = \frac{\Delta\sigma}{2E} + \epsilon_f' \left(\frac{\Delta\sigma}{2\sigma_f'} \right)^{\frac{1}{n}} = \frac{\sigma_f'}{E} (2N_i)^b + \epsilon_f' (2N_i)^c \tag{Eq. 2}$$

Initiation of fatigue cracks characterizes one of the most important steps in the process of fatigue. The position and the mode of fatigue cracks initiation depend on the microstructure of the studied material, the type of applied stress and the geometry of the test piece. The phase of initiation of fatigue in a virgin material is often supposed to be the growth of short cracks until the size a_{th} (Fig. 2), which is the transition length from short to long cracks.

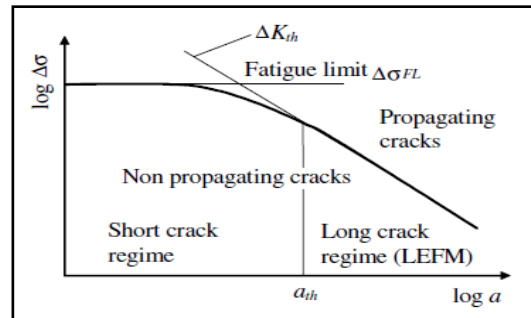


Figure 2: Schematic of Kitagawa–Takahashi of crack growth evolution and transition from short to long[12]

Crack propagation analysis begins with the proper configuration of sizing, orientation, and position. Depending on the wheels geometry, it has been shown that the cited parameters were important in the crack propagations [12]. A finite element model for the initiation of crack under bending fatigue in the tooth root is presented in the present investigation. The model, for N-deformation, calculates driver at the tooth root for the crack initiation phase shown in (Fig. 1). The gear tooth loaded is subjected to the normal force F/b (N/mm), as displayed in (Fig. 3.b & Fig. 4), applied to the highest point of the single tooth contact (HPSTC) [13]. The normal load (F/b) variation with angle rotation is shown in (Fig.4). Basic data, geometric, properties and mechanical of studied gears are presented in table 1.

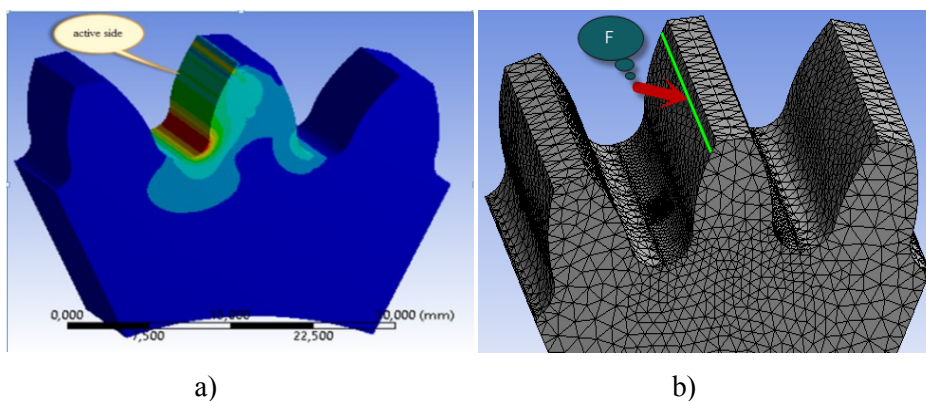


Figure.3: FEM of 3 teeth, a) geometric and stress distribution, b) mesh, refinement and loading of the tooth.

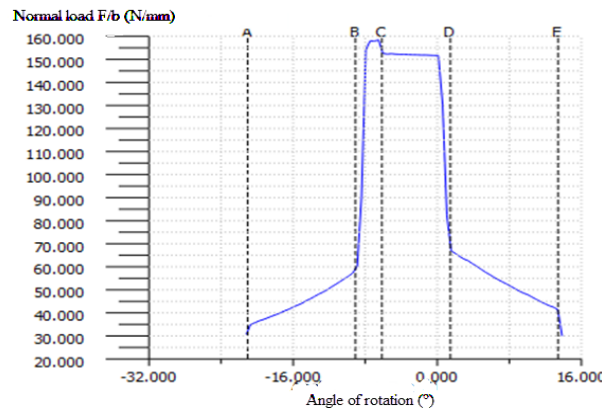


Figure.4: The normal load (linear load) 2D curve

Tableau.1: Properties and geometric features mechanical (Basic data of studied gears)

	Gear1	Gear2	Gear1	Gear2
Teeth number z	16	24	Poisson ratio	$\nu = 0.3$
Module m (mm)	4.5	4.5	Coefficient of fatigue force	$\sigma_f = 1820 \text{ MPa}$
Center distance a (mm)	90		Axial fatigue strength coefficient	$\epsilon_f = 0.65$
Pressure angle °	20°		Exponent force	$b = 0.08$
Offset Coefficient	+0.190	-0.190	Fatigue ductility exponent	$c = -0.76$
Tooth width b (mm)	44	40	Cyclic strain hardening exponent	$n = 0.14$
Material	42CrMo4		Paris constant (m)	$m = 4.16$
Elasticity modulus	$E = 2.06 \times 10^5 \text{ MPa}$		Paris constant (c)	$C = 3,31.10^{17}$

2.2. Second step: Fatigue crack growth model

In the previous section, we discussed the requirements for crack initiation from notches. The growth of this initiated crack will be the subject of this section.

The application of Linear Elastic Fracture Mechanics (LEFM) fatigue is based on the assumption that the growth rate of fatigue cracks, da/dN , is a function of the stress intensity gradient $\Delta K = (K_{max} - K_{min})$ where (a) is the length of the crack and N is the number of loading cycles. In this study, the equation of *Paris-Erdogan* [15](Eq.3) is used to describe the crack growth rate, where C and m (Tab.1) are material parameters. Regarding the propagation delay of the crack, one can obtain the number N_p of loading cycles of rupture of the tooth from the integration of equation (Eq. 4) indicating that the required number of loading cycles for a crack propagating from the initial length a_{th} and a_c critical crack length can be explicitly determined, if C , m , and ΔK are known.

C and m are important parameters and can be obtained experimentally, usually by means of a three-point bending test according to ASTM E 399-80.

The knowledge of different cracks regime, predicting their propagation speed, cracking masterly direction and also important parameters like stress intensity factor (SIF) is essential for an optimized design of mechanical parts. SIF is an essential parameter of linear fracture mechanics in case of cracked structures with singular stress field to calculate the fatigue life [16].

For more complex geometry and loading, it is necessary to use alternative methods. In this work, the software finite element developed by the Cornell Fracture Group FRANC2D [12, 17] was used to simulate the propagation of fatigue cracks. A unique feature is the automatic FRANC2D ability to crack propagation.

$$\frac{da}{dN} = C[\Delta K(a)]^m \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\int_0^{N_p} dN = \frac{1}{C} \int_{a_{th}}^{a_c} \frac{da}{[\Delta K(a)]^m}$$

$$K_I = \frac{G}{K+1} \sqrt{2 \cdot \frac{\pi}{L}} [4(\nu_b - \nu_d) + \nu_e - \nu_c]$$

$$K_{II} = \frac{G}{K+1} \sqrt{2 \cdot \frac{\pi}{L}} [4(u_b - u_d) + u_e - u_c] \quad (\text{Eq. 4})$$

$$K = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

A geometrical model is created with the object solid program (OSM) (Fig.5.a).

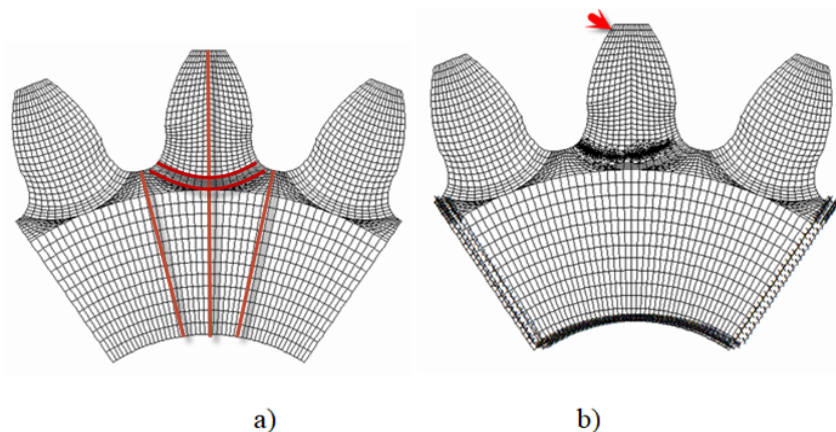


Figure.5 (a) Model of gear,(b) Boundary element.

The crack growth analyses were performed where the maximum stresses occur in a gear tooth root. Although the opening of the crack due to peak stress concentrations may appear on both sides of the tooth root, the most critical for the spread is the active side of the tooth root (Fig.5.b). The maximum principal stress distribution (tensile stress) in the discharge of the tooth is given in (Fig. 6). The location in the root zone is described by the tangent angle, which is defined as the angle between the axis of symmetry of the tooth and the tangent to the discharge curve, as shown here (Fig.6). It is clear that the location of the most stressed point is the active side.

By applying these principles of discretization to the geometry of the gears, it is possible to generate a fairly structured mesh by decomposing the surface of a tooth into 6 parts and then meshing each of them by quadratic elements with 8 nodes (Figure 5.a).It then becomes easy to refine the mesh locally, without however attributing its global structuring.

The triangular elements are ideal for the discretization of complex geometries, but they can induce an error according to their arrangement compared to the symmetry of the problem. A more structured mesh using quadrilateral elements will therefore be more reliable.

This discretization strategy has therefore been applied and the adjustment of the mesh parameters has been defined so as to obtain convergent results in the region of interest (i.e tooth root).

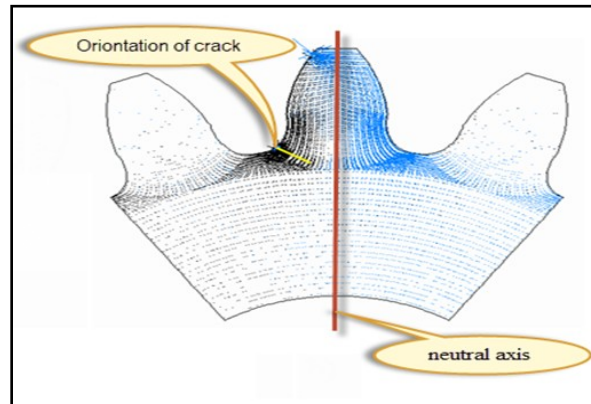


Figure.6: Tensile stress (black) & compression stress (blue).

The boundary conditions for the analysis of the growth of the crack are shown in (Fig. 5.b). Initial crack was placed perpendicular to the surface at the location previously determined for initiation in the tension zone of the root of the tooth (Fig. 6).

As an example for 160 N.m (Maximum of load charge), figure 7 shows a comparison between a maximum principal stress and tangentially stress in active side. In figure (7.a), the maximum principal stress reaches a value of 280 Mpa. However, in figure (7.b), the maximum tangential stress reaches a value of 500 Mpa.

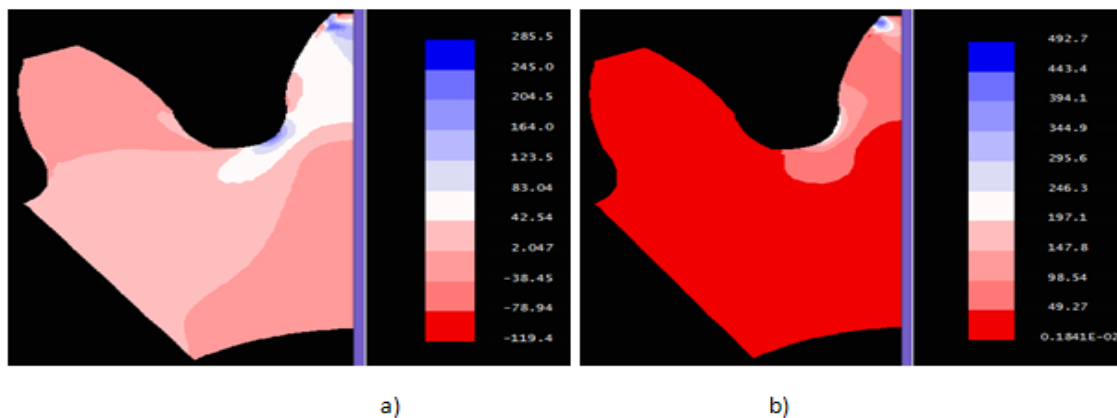


Figure 7: Max stress distribution (MPa): a) principal stress, b) tangentially stress.

Crack initiation threshold, a_{th} , for each material was determined from (Eq. 5), where ΔK_{th} is stress intensity gradient.

$$a_{th} = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\Delta K_{th}}{2\sigma_s} \right)^2 \tag{Eq. 5}$$

The crack-tip at the root of the tooth is shown in Fig.8, and the distribution of the stress around of the crack-tip is shown in Fig.9. The trajectory and direction of propagation of the crack started from active side to the other side of the tooth as shown in Fig.10. The shape of the stress distribution around the crack tip is exactly the same for cracks of all lengths Fig.11.

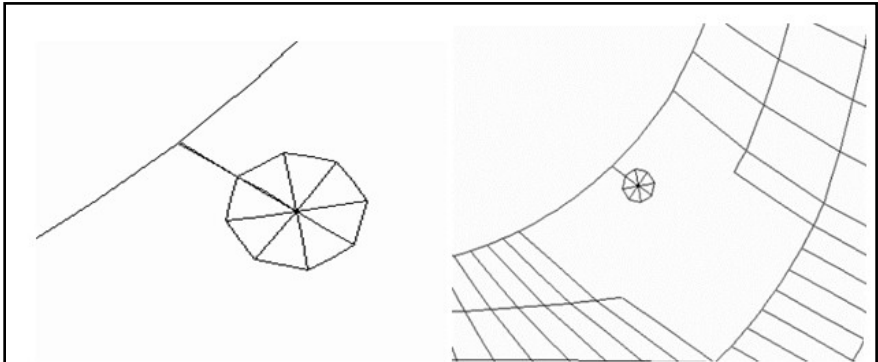


Figure.8: Shape and position of the crack at the tooth root

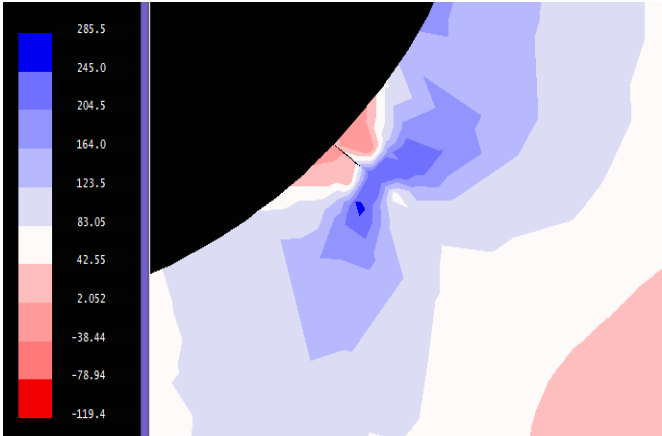


Figure.9 Stress distribution in the Crack tip(MPa).

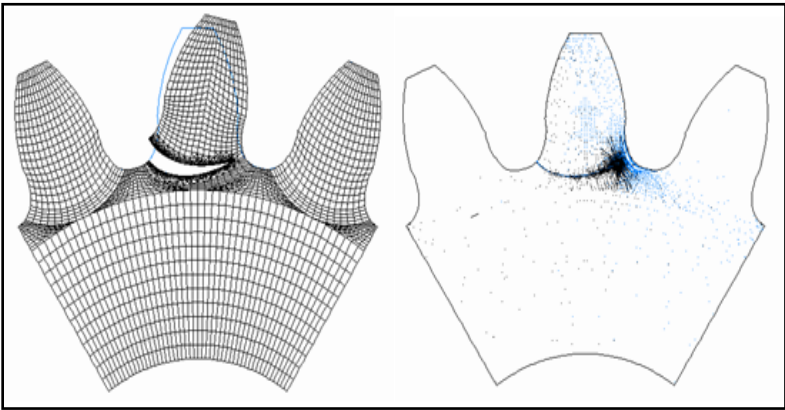


Figure.10 The trajectory of crack propagation.

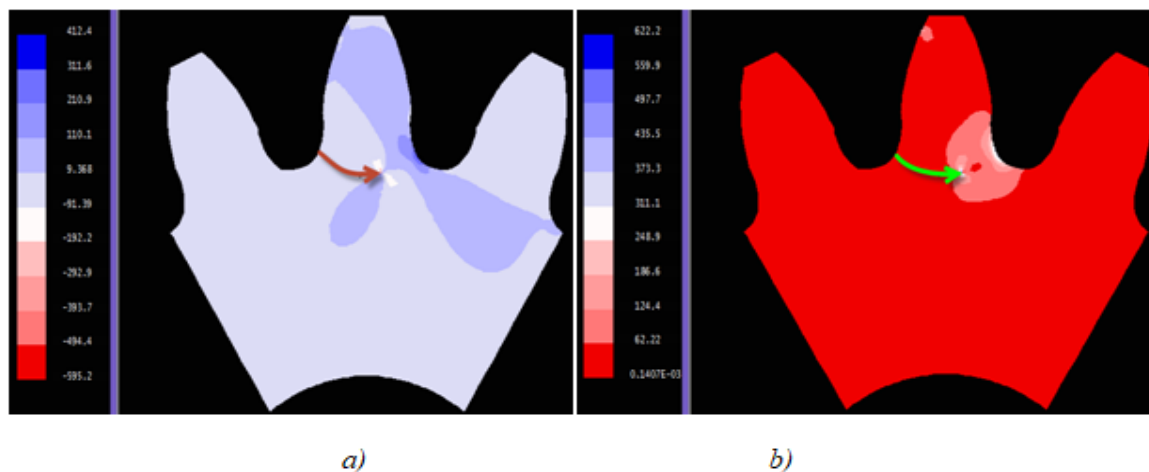


Figure.11 a) Distribution of stress (MPa) b) Maximum tangential stress at the crack tip (MPa).

3 RESULTS AND DISCUSSION

Compressive and tensile forces develop in the direction of the tooth axis under bending loads Fig.6, induce stresses on the tooth. The maximum compressive stress is found at the non-active side of the tooth while the maximum tensile stress is located at the active side of the tooth. Since the stresses between these two opposing maxima vary linearly, there therefore exists a point on the linear path between them where there is no bending stress. The locus of these points is the neutral axis.

Crack expansion in this case under external forces can generally be divided into two forms:

- Mode I: the crack is opened and extended under tensile stress which is perpendicular to the crack surface.
- Mode II: the crack is slid and extended under shear stress which is parallel to the crack surface and perpendicular to the crack tip (Fig.11.a & b).

For the stress intensity factor (SIF) in our work, we proceed to a study according to several couples, varies between 24 N.m up to 160 N.m, to evaluate the two modes of stress intensity factor 1 and 2. These load types are categorized as Mode I and II, as shown in the Fig.12 for 160 N.m (Maximum of load charge). According to this figure we can clearly notice that the behavior of the SIF versus the crack length in mode 1 have is of exponential form. However, its variation in mode 2 is almost negligible compared to mode 1. Therefore, in our case, it can be concluded that mode 1 is the most dangerous.

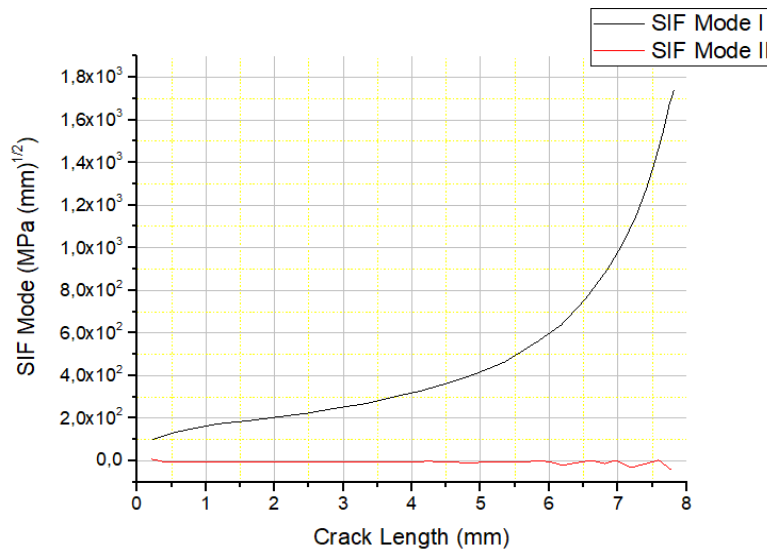


Figure.12: Stress intensity factors versus crack length.

In Fig.13, we can clearly see the increase in the length of the crack as a function of life. It can be noticed a gradual variation in crack propagation speed up to 3 mm of the crack length. Beyond this, the propagation speed is stable. Consequently, the variation and evolution of the service life for the propagation (N_p) of the crack of each couple cited before is shown in Fig.14. It can be noticed that, the crack propagation speed increases up to a value of 3 mm of crack length, if that corresponds to the neutral plane, i.e. no presence of bending stress. And from this plane the propagation velocity of the crack is stabilized, because from this point the material loses its resistance.

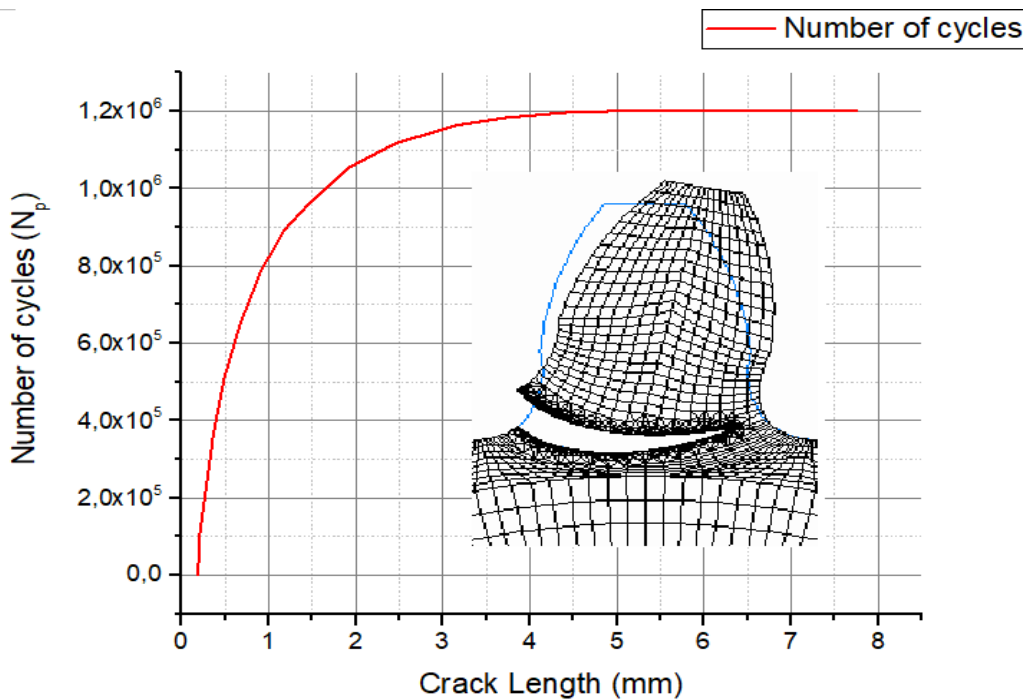


Figure.13 Predicted crack propagation life of gear tooth for “160 N.m load charge”

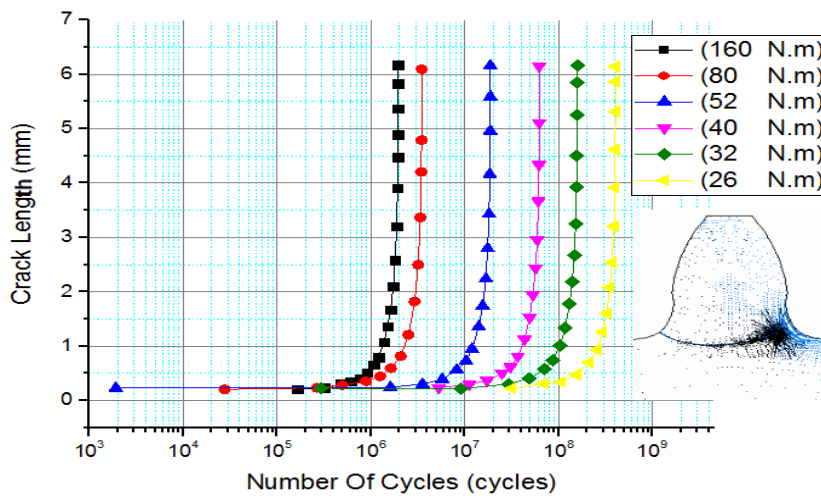


Figure.14 Predicted crack propagation life of gear tooth for different couples applied.

Finally the total life is well calculated, and show with a semi-logarithmic scale in Fig.15 in red color, as a sum of the lifetime of crack initiation and the lifetime of the crack propagation. The black curve is the crack initiation life, as it's shown in the first step (1.1).

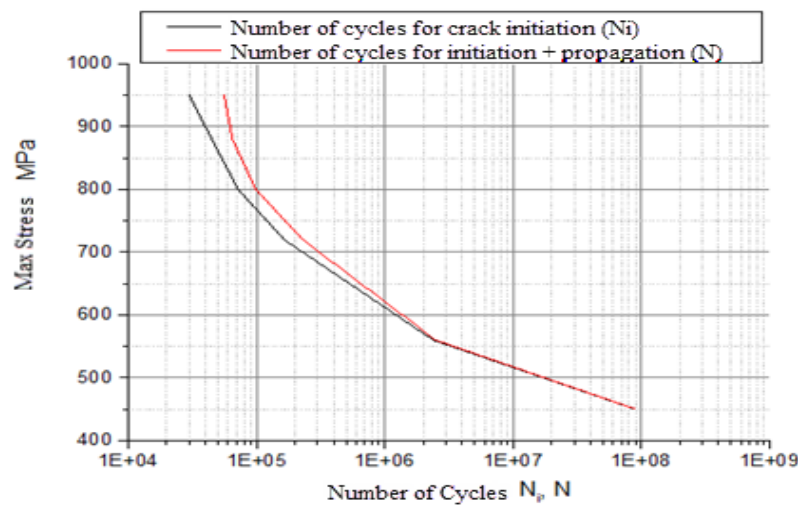


Figure.15 Calculated number of cycle of the bending fatigue.

4. CONCLUSION

The paper presents a calculation model to determine the life of bending fatigue of the spur gears and more precisely in its root. The number of load cycles required to fatigue initiation (N_i) and the number of loading cycles for crack propagation (N_p) in the most critical region for bending fatigue was predicted. The proposed model allows the user to determine the entire life of service, for given the appropriate parameters

of the material fatigue. The initiation period of the crack is based on a strain-life analysis using MEF, where it is assumed that the crack is initiated in the area of the maximum principal stress i.e the root of the tooth. The crack propagation of the gear tooth was simulated using the principles of linear elastic fracture mechanics (LEFM).

The functional relationship between the stress intensity factor and the length of the crack $K=f(a)$, which is required for subsequent analysis of the growth of fatigue cracks, was also shown.

The model is used to determine the complete lifetime of a steel spur gear combined with high strength 42CrMo4.

The final results of the analysis are presented by MEF. The initiation curve of the crack and the crack propagation, represent the total lifetime.

The results show that at low-stress levels near the fatigue limit, almost the entire life of service is attacked by cracking. This is a very important factor in determining the life of the actual gear because most of gears operate with load conditions in the vicinity of the fatigue limit. The results obtained will be interesting to develop studies among which the development of inspection plans for the studied gears.

NOMENCLATURE

a = crack size

b_i = axial fatigue strength exponent

C = material parameter of Paris equation

E = elastic modulus

G = shear modulus

K' = cyclic strength coefficient

K_c = stress intensity factor critical value

K_{cl} = stress intensity factor when closure occurs

K_I = mode I stress intensity factor

K_{II} = mode II stress intensity factor

K_{th} = stress intensity factor at threshold

ΔK = stress intensity range

ΔK_{eff} = effective stress intensity range

ΔK_{eq} = equivalent stress intensity range

m = material parameter of Paris equation

n' = cyclic strain hardening exponent

N_i = stress cycles for the fatigue crack initiation

N_p = stress cycles for the fatigue crack propagation

R = load ratio

ε_f' = axial fatigue ductility coefficient

ν = Poisson ratio

σ_f' = axial fatigue strength coefficient

σ_{FL} = fatigue limit of the tested gear

σ_{FLr} = real fatigue limit

σ_{max} = maximum normal stress on the same plane as ε_a

σ_u = ultimate tensile strength

σ_{ys} = yield stress.

HPSTC = highest point of the single tooth contact

θ_0 = crack-propagation angle

LEMF = linear elastic mechanics of fracture

REFERENCES

1. S. Glodež, S. Pehan, and J. Flašker, "Experimental results of the fatigue crack growth in a gear tooth root," *Int. J. Fatigue*, vol. 20, no. 9, pp. 669–675, 1998.
2. M. Guagliano and L. Vergani, "Effect of crack closure on gear crack propagation," *Int. J. Fatigue*, vol. 23, pp. 65–73, 2001.
3. S. Pehan, J. Kramberger, J. Flašker, and B. Zafošnik, "Investigation of crack propagation scatter in a gear tooth's root," *Eng. Fract. Mech.*, vol. 75, no. 5, pp. 1266–1283, 2008.
4. C. Fetvacı, "Computer Simulation of Helical Gears Generated by Rack-Type Cutters," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 36, no. 7, pp. 1321–1332, 2011.
5. H.-C. Yang, "Using an Imaginary Planar Rack Cutter to Create a Spherical Gear Pair with Continue Involute Teeth," *Arab. J. Sci. Eng.*, 2017.
6. D. Shang, W. Yao, and D. Wang, "A new approach to the determination of fatigue crack initiation size," *Int. J. Fatigue*, vol. 20, no. 9, pp. 683–687, 1998.
7. S. Sankar and M. Nataraj, "Profile modification-a design approach for increasing the tooth strength in spur gear," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 55, no. 1–4, pp. 1–10, 2011.
8. X. Liu, Y. Yang, and J. Zhang, "Effects of tooth-crack-induced mesh stiffness on fault signals of a planetary gear train," in *Procedia Computer Science*, 2017, vol. 109, pp. 785–792.
9. Y. Wang and Z. Lan, "An efficient honing method for face gear with tooth profile modification," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, no. 37, 2016.
10. J. Flasker and S. P. S. Glodez, "Influence of contact area on service life of gears with crack in tooth root," *Commun. Numer. Methods Eng.*, vol. 11, no. December 1993, pp. 49–58, 1995.
11. M. D. Eastwood and K. R. Haapala, "An induction hardening process model to assist sustainability assessment of a steel bevel gear," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 80, no. 5–8, pp. 1113–1125, 2015.
12. J. Kramberger, M. Šraml, S. Glodež, J. Flašker, and I. Potrč, "Computational model for the analysis of bending fatigue in gears," *Comput. Struct.*, vol. 82, no. 23–26, pp. 2261–2269, 2004.
13. S. Podrug, D. Jelaska, and S. Glodež, "Influence of different load models on gear crack path shapes and fatigue lives," *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.*, vol. 31, no. 5, pp. 327–339, 2008.
14. M. Šraml and J. Flašker, "Computational approach to contact fatigue damage initiation analysis of gear teeth flanks," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 31, no. 11–12, pp. 1066–1075, 2007.
15. G. C. Sih, "Anomalies concerned with interpreting fatigue data from two-parameter crack growth rate relation in fracture mechanics," *Theor. Appl. Fract. Mech.*, vol. 50, no. 2, pp. 142–156, 2008.
16. E. Sari and M. Zergoug, "FEM techniques comparison for SIF computing of cracked plate," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 40, no. 4, pp. 1165–1171, 2015.
17. A. Belsak and J. Flasker, "Method for detecting fatigue crack in gears," *Theor. Appl. Fract. Mech.*, vol. 46, no. 2, pp. 105–113, 2006.

Comportement à la corrosion des alliages TiNi et TA6V4 dans la salive artificielle et performance d'usure

Corrosion Behavior of TiNi and TA6V4 Alloys in Artificial Saliva and Wear Performance

Soumaya Meddah^{*1,2}, Hacène Chadli³, Said Boudebane¹ & Samia Lemboub³

1 : Laboratoire de Métallurgie & Génie des Matériaux-LMGM, Université Badji Mokhtar; BP 12 Annaba 23000, Algérie

2-Research Center In industrial technologies CRTI, P.O.Box 64 Cheraga, 16014, Algiers, Algeria.

3 : Ecole Nationale Supérieure des Mines et Métallurgie, Annaba, Algérie.

Soumis le :09/04/2018

Révisé le :24/05/2018

Accepté le :04/06/2018

ملخص:

في هذه الدراسة، تم تحضير خليط TiNi في فرن صهر تحريضي، يتم استخدام سبائك TA6V4 التجارية المستخدمة في الطب الحيوي للمقارنة. يهدف هذا البحث إلى دراسة السلوك القلبي والكهروكيميائي لسبائك TiNi و TA6V4 لتطبيقات الأسنان. لذلك، تم تحديد التركيب الكيميائي للسبائك عن طريق مسح المجهر الإلكتروني (MEB) إلى EDS. أظهرت النتائج أن سبيكة TiNi تتميز بسلوك أعلى من القلبية ومقاومة التآكل مقارنة مع سبيكة TA6V4. هذه السبيكة نفسها لديها أيضاً معدل إهتراء أقل ($1,327 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$) بعد دراسة الانزلاق الجاف بالمقارنة مع سبيكة TA6V4 ($9,506 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$). تم العثور على آلية التآكل لكل من السبائك مع غلبة آلية التآكل اللاصق لسبيكة TiNi. في الواقع، كشفت الدراسة الكهروكيميائية أن كلا السبائك لديهما مقاومة ضد التآكل.

الكلمات الرئيسية: سبائك التيتانيوم - علم القلبية - السلوك التآكل - مقاومة التآكل - المقاومة.

Résumé :

Ce travail porte sur l'étude du comportement tribologique sans lubrification et électrochimique dans la salive artificielle des alliages TiNi (50/50) et TA6V4 pour les applications en orthodontie (implants dentaires). L'alliage TiNi (50/50) a été préparé dans un four à induction sous vide alors que l'alliage commercial TA6V4 sera utilisé comme matériau de référence. L'analyse microstructurale et la composition chimique des deux alliages TiNi et TA6V4 a été réalisée par microscopie électronique à balayage (MEB) couplée à l'EDS. Les résultats montrent que l'alliage TiNi présente une meilleure résistance à l'usure par glissement à sec ($1,327 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$) par comparaison avec l'alliage TA6V4 ($9,506 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$). Les mécanismes d'usure ont été clairement identifiés pour les deux alliages et sont principalement basés sur une usure abrasive et adhésive pour l'alliage TiNi, et une usure abrasive associée à une oxydation, pour l'alliage TA6V4. L'étude électrochimique a révélé que les deux alliages présentent un caractère passif avec une résistance élevée à la corrosion.

Mots clés: Alliages de titane- Microstructure- Comportement à l'usure- Résistance à la corrosion- Impédance.

Abstract:

This work aims to study the tribological performance in dry conditions and electrochemical behavior, in the artificial saliva of TiNi (50/50) alloys in comparison with TA6V4 alloys in the focus to use them for dental applications. The TiNi alloy was prepared in a vacuum induction melting furnace while TA6V4 commercial alloy should be used as a reference material. The TiNi alloy (50/50) was prepared in a vacuum induction melting furnace while the TA6V4 commercial alloy will be used as a reference material. The microstructural analysis and chemical composition of the two TiNi and TA6V4 alloys was determined by scanning electron microscopy (SEM) coupled to EDS. Results showed that TiNi alloy exhibits a better wear resistance in dry sliding mode ($1.327 \times 10^{-4} \text{ mm}^3 / \text{Nm}$) when compared to the alloy TA6V4 ($9,506 \times 10^{-4} \text{ mm}^3 / \text{Nm}$). The wear mechanisms of both alloys have been clearly established. It can be retained that NiTi alloy degradation is governed by an adhesive and abrasive wear mechanism, but for the TA6V4 alloy, abrasive and oxidative wear mechanisms are determined. Electrochemical studies reveal a passive behavior character and higher resistance against corrosion.

Key words: Titanium alloys- Microstructure- Wear behavior- Corrosion resistance- Impedance.

* Auteur correspondant : soumaya.meddah@yahoo.com

1. INTRODUCTION

Le titane et ses alliages sont largement utilisés dans le domaine biomédical. Ils sont les biomatériaux les plus attractifs pour les implants orthopédiques et autres applications dentaires en raison de leurs remarquables propriétés physico-chimiques et de leur biocompatibilité élevée avec les tissus humains [1-3]. L'alliage TiNi(50/50), présente une bonne combinaison d'effet de mémoire de forme et de superplasticité, une faible densité, une excellente biocompatibilité associée à une bonne résistance à la corrosion dans les fluides corporels, Cet alliage présente également un faible module d'Young proche de celui de l'os, et donc très approprié pour une implantation afin d'éviter le relâchement des implants et augmenter leurs durée de vie [4-7]. L'excellente résistance à la corrosion de ces alliages est due à la formation d'un film d'oxyde passif mince et stable de quelques dizaines d'angströms [8,9], Le film d'oxyde formée sur les alliages de Ti d'épaisseur inférieure à 10 nm, se compose typiquement de l'oxyde TiO₂ mais peut coexister avec d'autres oxydes de titane comme TiO et Ti₂O₃ [10]. Cependant, l'utilisation de ces alliages est limitée par la faible tenue à l'usure par frottement, due à leur faible résistance au cisaillement [11,12]. Outre cela, de nombreuses études ont montré que la corrosion électrochimique est l'un des modes de défaillance prédominants d'implants à base de titane [13]. L'étude de G.Straffelini et al [11] et de A. Molinari et al [12] sur les mécanismes responsables de la mauvaise résistance à l'usure a montré que les caractéristiques mécaniques (la faible résistance au cisaillement plastique et le faible durcissement par écrouissage) et les caractéristiques chimiques de surface des alliages de titane influent sur leur résistance à l'usure. Bien que, les performances électrochimiques de ces alliages ont été également discutées par plusieurs auteurs [4, 7, 14]. Tous s'accordent à dire que les alliages de titane présentent une résistance à la corrosion améliorée. En réalité, la dégradation de ces alliages est due à des mécanismes complexes. Ce comportement serait le résultat de l'interaction de la corrosion électrochimique et d'un mécanisme d'usure mécanique dans l'environnement de corrosion dans les fluids corporels [13]. L'objectif de ce travail est axé sur la caractérisation tribologique à sec et électrochimique dans la solution de salive artificielle d'un alliage TiNi (50/50) comparativement au comportement d'un alliage TA6V4 utilisé en orthodontie.

2. MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

Le matériau faisant l'objet de cette étude est l'alliage TiNi (la composition ciblée est 50/50) élaboré par fusion dans un four à induction sous vide, à partir de poudres élémentaires de Ti et Ni avec un degré de pureté de 99%. Après dosage les poudres séchées et mélangées dans un broyeur à billes sont agglomérées dans une matrice de diamètre 13mm sous une charge compressive uniaxiale de 3MPa. Le comprimé est introduit dans un creuset en alumine pour éviter tout risque de contamination. L'alliage est fusionné sous atmosphère d'argon. Enfin, l'alliage TiNi a subi un recuit d'homogénéisation à l'état solide pendant 05 heures à 850°C sous atmosphère protectrice, suivi d'un refroidissement dans le four. L'alliage de référence TA6V4 utilisé pour la comparaison des comportements tribologiques et électrochimiques, est un alliage biphasé, avec une structure de type ($\alpha + \beta$). Il est fourni sous forme d'une barre cylindrique de 12 mm de diamètre. Les compositions chimiques des deux alliages TiNi et TA6V4, sont données par le tableau 1 et confirmées par EDS lors des investigations au microscope électronique à balayage (*Quanta 250-FEI*).

Tableau 1: Compositions chimiques globales des deux alliages(en %.at)

Alliage	Ti	Ni	Al	V	Fe	O
TiNi (50/50)	51,36	48,64	-	-	-	-
TA6V4	89,55	-	6	4	0,25	0,2

La micro dureté Vickers a été mesurée à l'aide d'un microduromètre (*INNOVATEST*) utilisant une charge de 100 g. Avant les essais d'usure et de corrosion, les échantillons ont subi un polissage mécanique et nettoyés dans un bain à ultrasons pendant 15 minutes, rincés à l'eau distillée, et finalement séchés à l'air chaud. Les essais d'usure ont été réalisés à sec, à température ambiante à l'aide d'un tribomètre *CSM-Instrument* en configuration billes/disque, conformément aux normes ISO 7148, ASTM G99-95a, ASTM G 133-95. Les paramètres d'essais tribologiques sont résumés dans le

tableau 2. Le partenaire statique est une bille en alumine d'une dureté de 16 GPa et de 6mm de diamètre. Le coefficient de frottement a été enregistré automatiquement pendant le test grâce au logiciel Tribotest 4.49. Le taux d'usure a été calculé en utilisant l'équation (1) proposée par Archard [15].

$$\text{Taux d'usure} = V \div WL \quad (1)$$

Où V est le volume d'usure (mm³), W la charge appliquée (N) et L représente la distance totale de glissement (m). Le volume d'usure a été estimé à partir de la section transversale de la piste d'usure, la profondeur et la largeur du sillon d'usure ont été mesurées à l'aide d'un profilomètre de source laser Cyber Technology CT100.

Tableau 2: Paramètres des tests tribologiques.

Charge appliquée (N)	2
Vitesse linéaire (cm/s)	1
Distance de glissement (m)	20
Diamètre de la trace d'usure (mm)	2
Rugosité de la bille d'alumine Ra (µm)	1,52
Rugosité initiale des deux alliages (TiNi et TA6V4) Ra (µm)	0,06
Environment	Air
Température (°C)	20±3
Humidité	40±5

Pour étudier la susceptibilité à la corrosion et la stabilité du film formé à la surface de ces alliages, les mesures électrochimiques ont été réalisées dans un milieu physiologique (salive artificielle), dont la composition est la suivante : 1,47g/l de KCl, 1,25g/l de NaHCO₃, 0,52g/l de KSCN, 0,19g/l KH₂PO₄H₂O [4]. Une cellule électrochimique à trois électrodes a été utilisée, elle est constituée d'une électrode en calomel saturée (SCE) comme électrode de référence, d'un fil en platine (Pt) ou électrode auxiliaire et de l'échantillon à étudier en tant qu'électrode de travail (WE). Les tests ont été menés à l'aide d'un Potentiostat/Galvanostat *Biologic SP300* contrôlé par un analyseur *EC-Lab V10.40*. La technique du potentiel à circuit ouvert (OCP) a permis d'apprécier l'évolution du potentiel au cours de deux heures (7200s). La technique de polarisation potentiodynamique a été mise à profit pour déterminer le comportement général à la corrosion des deux alliages. Les courbes potentiodynamiques sont tracées dans la plage de surtension entre (-0,8 et 1 V/SCE), avec une vitesse de balayage de 1mV.s⁻¹. La spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE) a été utilisée dans la gamme de fréquence 100 kHz à 10 mHz avec une amplitude de 10 mV à l'OCP, identique à celle utilisée par Wang et al [16].

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Analyse structurale

Les résultats de l'analyse structurale de l'alliage TiNi sont présentés par la figure 1 (a et b). La microstructure est constituée d'une matrice, qui serait de toute évidence la phase NiTi, dans laquelle sont répartie des précipités (Ti_xNi_y) de formes complexes appelés « scripts chinois ». La figure 1.b, donne plus de détails des constituants de la microstructure (formes et répartition des précipités). L'analyse quantitative par EDS (Spectroscopie par Dispersion d'Energie) représentée dans le tableau

3, confirme la nature intermétallique des précipités (Ni_2Ti et Ti_2Ni) et de la matrice (NiTi). La figure 2 présente un diffractogramme obtenu sur l'alliage TiNi . On notera la présence des pics de NiTi constituant la matrice et des intermétalliques Ti_2Ni , NiTi_2 . Ces intermétalliques adoptent la forme spécifique citée préalablement. On peut conclure que la diffraction des rayons X, révèle la présence de trois phases: NiTi , Ti_2Ni et Ni_2Ti en parfait accord avec les fiches JCPDS N° 190-850, 180-898 et 05-0687 respectivement. Ces résultats sont en parfaite conformité avec les phases du diagramme d'équilibre Ti-Ni [17].

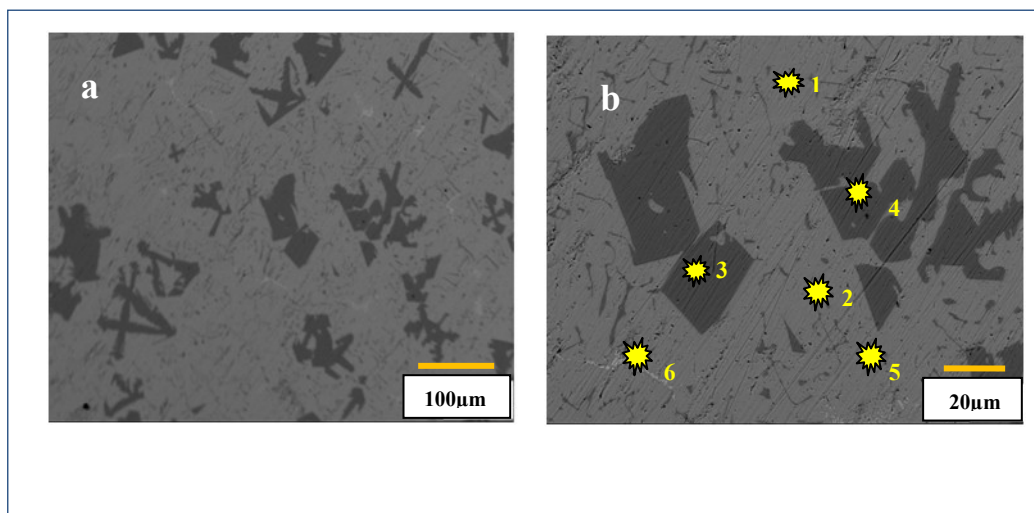


Figure 1: Micrographies MEB de l'alliage TiNi .

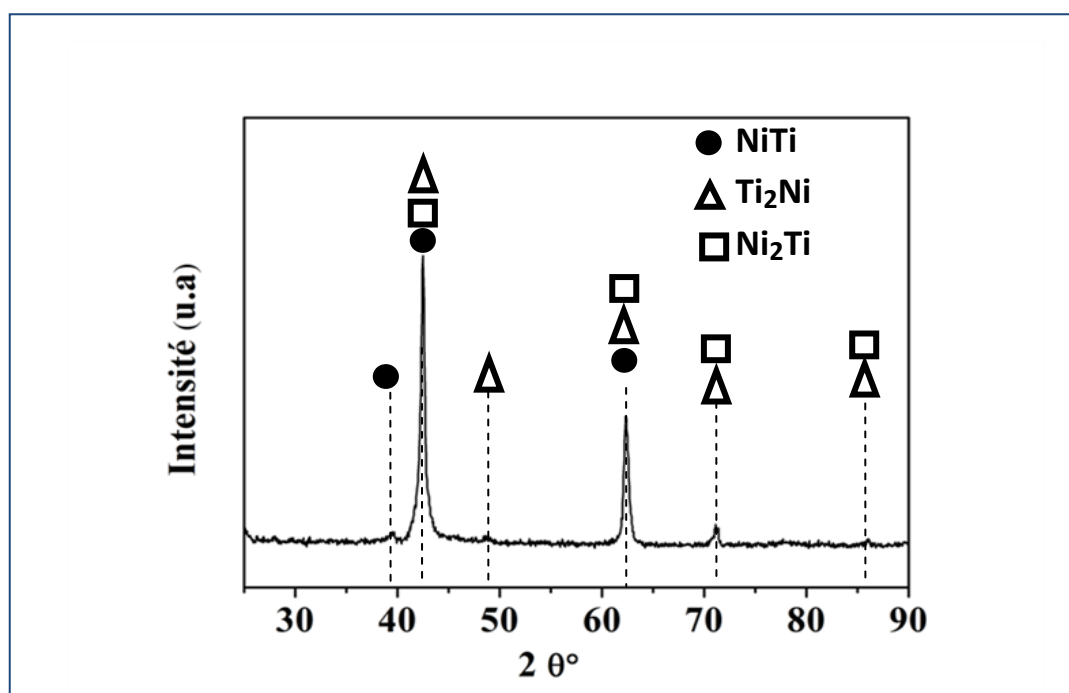


Figure 2: Spectre de diffraction DRX de l'alliage TiNi .

Tableau 3: Composition atomique ponctuelle de l'alliage TiNi.

Elément	Spectre 1	Spectre 2	Spectre 3	Spectre 4	Spectre 5	Spectre 6	Moyenne
Ti (%.at)	47,44	54,15	66,50	63,89	53,36	31,66	51,36
Ni (%.at)	52,56	45,85	33,50	36,11	46,64	68,34	48,64
Phases probables	NiTi	TiNi	Ti ₂ Ni	Ti ₂ Ni	TiNi	Ni ₂ Ti	

La nature des phases identifiées par DRX coïncide avec celle des phases reconnues par l'analyse EDS.

3.2 Comportement tribologique

3.2.1 Coefficient de frottement

La figure 3 montre l'évolution du coefficient de frottement (COF.) en fonction de la distance de glissement pour les couples TiNi/Al₂O₃ et TA6V4/Al₂O₃. L'analyse de ces courbes permet de distinguer deux périodes successives de frottement. La première serait une période de rodage ou de transition, durant laquelle, le coefficient augmente rapidement jusqu'à atteindre une valeur maximale. Cette période est caractérisée par l'usure et la déformation plastique des aspérités de surface. La deuxième période correspond à la stabilisation du coefficient de frottement dont la valeur est maintenue constante indépendamment de la distance de glissement. Cette étape correspond à la formation de débris d'usure solides (troisième corps) pendant le processus de glissement [18-20]. Le COF de l'alliage TiNi est de 0,64. L'alliage TA6V4 présente une période de rodage plus courte suivie d'une période de COF constant de 0,43, correspondant à l'état stationnaire. Le faible COF de l'alliage TA6V4 peut être attribué à la formation de deux oxydes : TiO₂ et Al₂O₃, qui peuvent apparaître à la surface usée de l'alliage et réduisent ainsi son coefficient de frottement [21]. Les résultats de mesure du coefficient de frottement obtenus pour les deux alliages sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4: Résultats COF des alliages TiNi et TA6V4.

Alliage	COF Début	COF Max	COF Moy
TiNi	0,042	0,736	0,648
TA6V4	0,011	0,647	0,439

* COF Début: valeur initiale du coefficient de frottement; COF Max: valeur maximale du coefficient de frottement; COF Moy: valeur moyenne du coefficient de frottement.

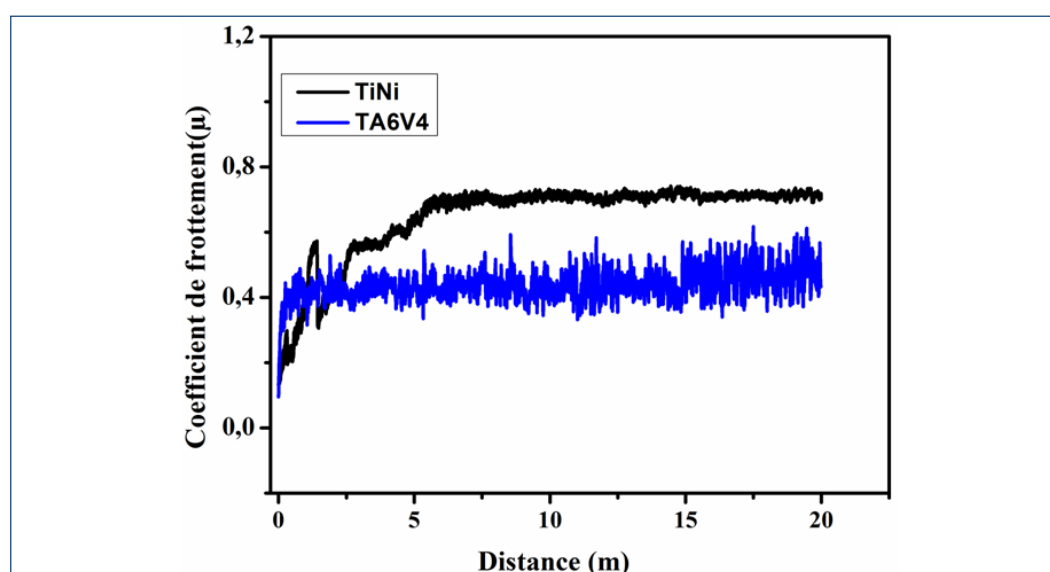


Figure 3: Evolution du coefficient de frottement en fonction de la distance de glissement des alliages TiNi et TA6V4.

La courbe illustrant le coefficient de frottement de l'alliage TA6V4 présente des perturbations que l'on peut attribuer à l'évolution rapide du troisième corps. La coexistence de deux oxydes (TiO_2 et Al_2O_3) conduit à une dégradation non uniforme de la couche du fait de son caractère hétérogène. Par contre pour le cas de l'alliage TiNi, la courbe est uniforme malgré des valeurs du coefficient de frottement plus élevées. Une couche d'oxyde monophasée (TiO_2) accuse moins de perturbations. Les résultats de l'analyse de surface en 3D (Figure. 4b) confirment le caractère perturbé des traces d'usure obtenues sur l'alliage TA6V4. La morphologie de la trace d'usure présente plusieurs pics avec des rainures de différentes profondeurs. Ceci traduit une forte tendance à la déformation plastique contrairement à l'alliage TiNi (Figure 4a).

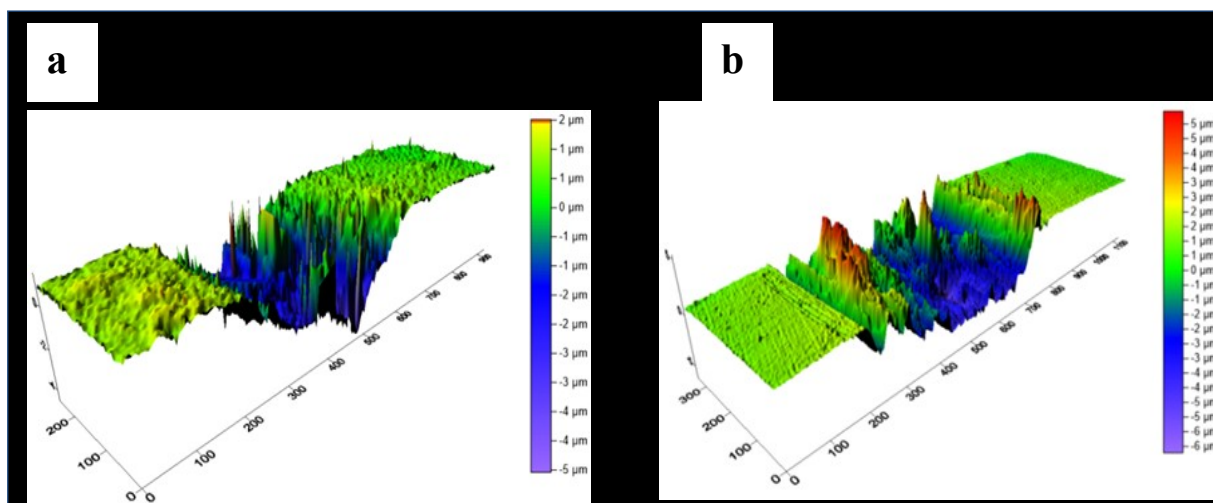


Figure 4: Photos en 3D du sillon d'usure des deux alliages :a) TiNi, b) TA6V4.

3.2.2 Taux d'usure

Les tests d'usure ont engendré des taux d'usure différents soit $1,327 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ pour l'alliage TiNi et $9,506 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ pour TA6V4. Nos observations expérimentales semblent être confirmées par la loi d'Archard selon laquelle le volume perdu du matériau est inversement proportionnel à la valeur de dureté du matériau [22].

Les alliages étudiés montrent une différence significative dans les valeurs de dureté ($511 \text{ HV}_{0.1}$ pour l'alliage TiNi et $461 \text{ HV}_{0.1}$ pour l'alliage TA6V4). Par conséquent, on peut conclure que l'alliage TiNi présente une meilleure résistance à l'usure malgré un COF relativement plus élevé que celui de l'alliage TA6V4. Pendant le frottement, une grande quantité de débris d'usure peut être compactée à la surface de la bille ou à la surface de l'échantillon, avec possibilité de microsoudage. Cet édifice protège la surface de l'alliage en formant une couche d'oxydes protectrice stable [21].

Le volume d'usure de la bille d'alumine pour les alliages TiNi et TA6V4 est respectivement de $0,608 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ et $3,63 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$. L'alliage de titane TiNi présente le plus faible volume d'usure. Tandis que, l'alliage TA6V4 engendre une dégradation plus accentuée de la bille. Cela est probablement dû à une plus grande quantité de matière arrachée à la surface de l'alliage TA6V4 et accumulée à la surface de la bille. Il s'ensuit donc une dégradation plus intense de la surface de la bille par détachement des débris de la couche au cours du glissement. Les images optiques (de la Figure 5) montrent une accumulation de débris accolés à la surface des billes. Les traces d'usure produites sur les billes acquièrent une forme elliptique pour les deux alliages.

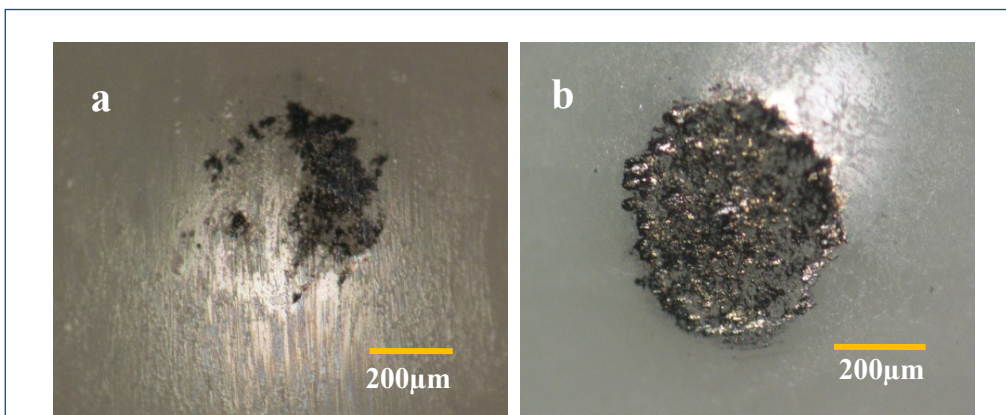


Figure 5: Micrographies optiques montrant les traces d'usure traces sur les billes: a) TiNi, b) TA6V4.

3.2.3 Morphologie des pistes d'usure

La figure 6 montre des micrographies MEB des traces d'usure obtenues pour les deux alliages. Ces traces révèlent des zones de déformation plastique et des débris d'usure résultant d'abord de la destruction des aspérités de surface, et par la suite de la dégradation des couches écrouies et oxydées. Ces phénomènes produisent inévitablement un troisième corps qui intervient dans le processus de dégradation de la surface [18]. Nous notons également la présence de rainures parallèles à la direction de glissement visibles sur les surfaces usées, confirmant une usure abrasive. Cette dernière est induite par des phases dures (intermétalliques et oxydes), et par les débris d'usure issus des parties de l'alliage déformées plastiquement et écrouies [21]. Il existe également des signes de délaminage de la surface de contact par détachement suggérant une usure adhésive. Les intermétalliques Ti_2Al , Al_3Ti peuvent générer le troisième corps pendant le frottement de l'alliage TA6V4. Pour l'alliage TiNi, les stries sont peu profondes. Il est alors suggéré que l'usure adhésive est prédominante dans ce cas.

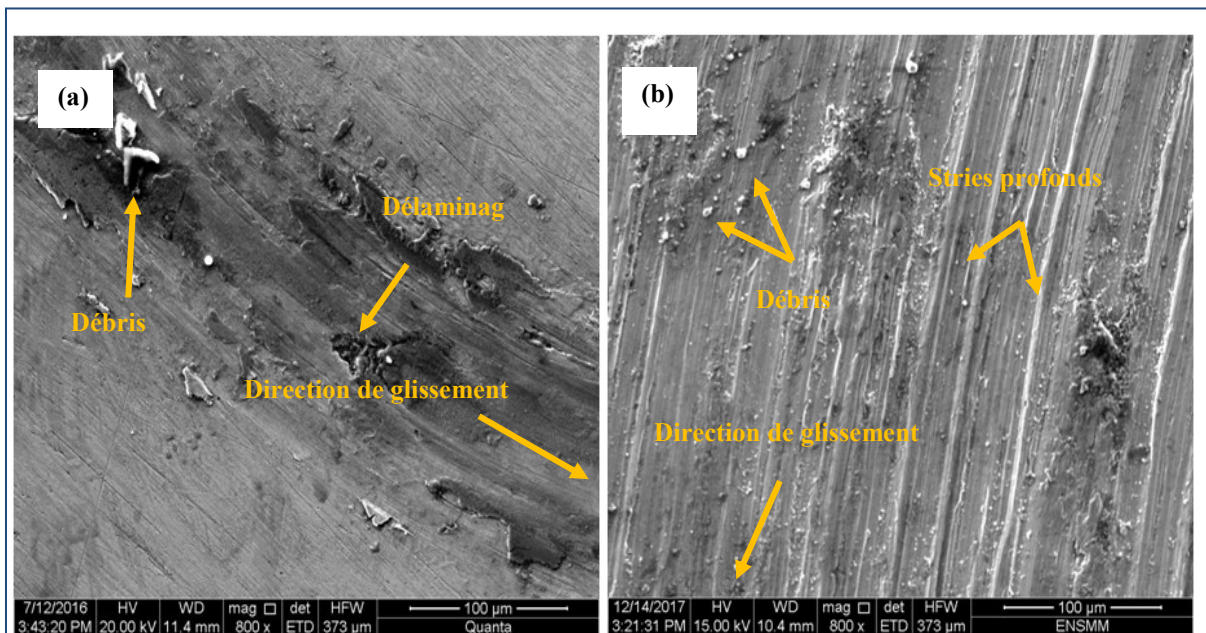


Figure 6: Micrographies MEB montrant les morphologies d'usure des alliages de titane: a) TiNi, b) TA6V4.

3.3 Comportement électrochimique

3.3.1 Potentiel de circuit ouvert (OCP.)

La figure 7 présente l'évolution du potentiel de circuit ouvert (OCP.) en fonction du temps d'immersion dans une solution de salive artificielle, pour les deux alliages de titane. Selon cette figure, la forme des deux courbes indique que le potentiel à circuit ouvert augmente avec le temps d'immersion vers des valeurs plus nobles, montrant la passivation de ces alliages dans la solution suite au développement d'un film d'oxyde à la surface. Ce comportement signifie une résistance à la corrosion élevée [16]. Le potentiel d'équilibre a été stabilisé à -0,316V et -0,448V respectivement pour les alliages TiNi et TA6V4. L'obtention de la valeur constante d'OCP suppose l'achèvement de la formation du film d'oxyde protecteur pour les deux alliages.

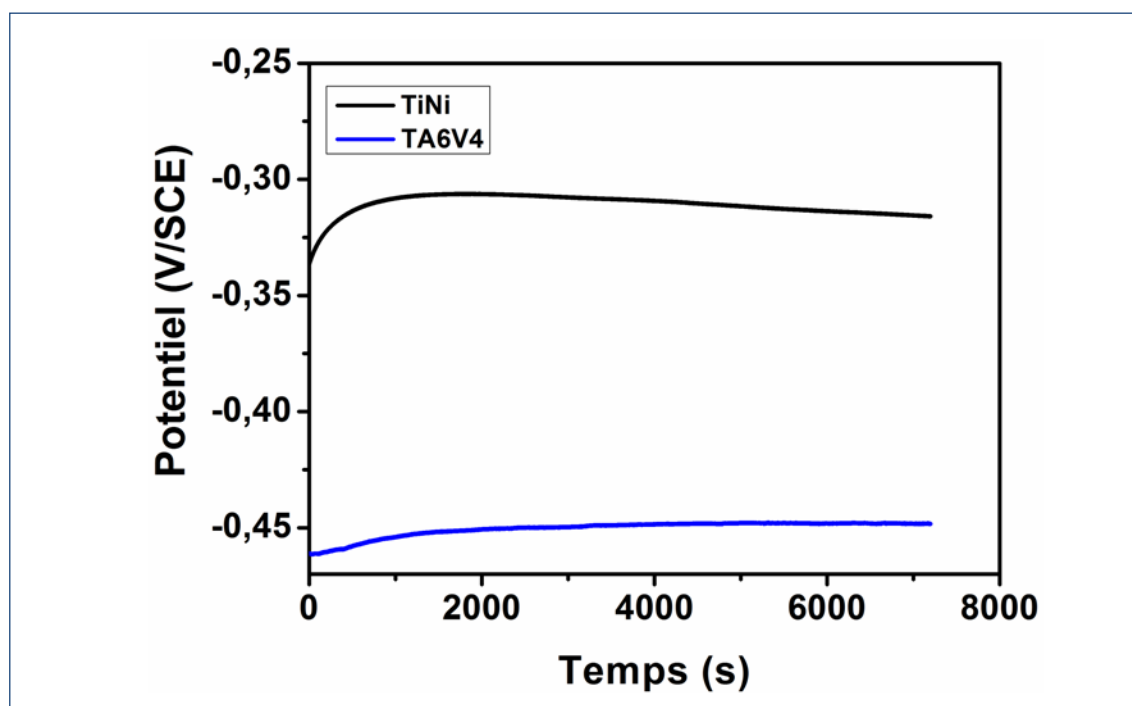


Figure 7: Courbes de potentiel de circuit ouvert (OCP) des alliages TiNi et TA6V4 dans la salive artificielle.

3.3.2 Polarisation potentiodynamique : courbes de Tafel

Les courbes de polarisation potentiodynamique dans la solution de salive artificielle sont présentées sur la figure 8. Les deux alliages montrent un comportement passif. L'alliage TA6V4 présente un large plateau de passivation suivie d'une augmentation brusque de la densité du courant. Ce comportement peut être expliqué par une rupture du film passif avec un potentiel de rupture E_{rp} ($E_{rp} = -0,140V$), dans une première étape. Il y a régénération du film dans une seconde étape avec un potentiel de repassivation E_{rp} ($E_{rp} = 0,018V$). Pour l'alliage TiNi, le film passif formé sur sa surface présente un potentiel de rupture E_{rp} ($E_{rp} = 0,204V$). Par la suite, la densité du courant de corrosion augmente avec le potentiel. Ceci est associé à l'amincissement et à la rupture du film passif qui devient moins stable [7,23]. Cette valeur du potentiel de repassivation montre que l'alliage TA6V4 présente une résistance élevée à la corrosion localisée par piqûres dans la salive artificielle. Ces résultats sont en parfait accord avec ceux obtenus par Mr. X et al. [6,24]. Les valeurs du potentiel de rupture obtenues pour les deux alliages montre que le film passif formé sur la surface est protecteur

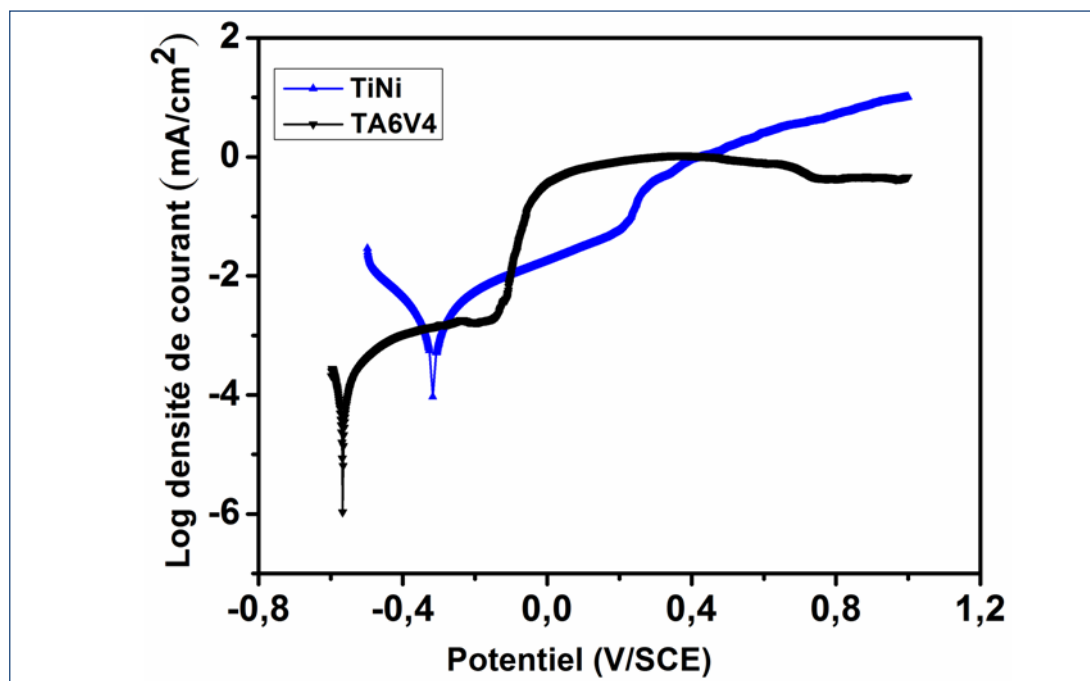


Figure 8: Courbes de polarisation potentiodynamique des alliages TiNi et TA6V4 dans la salive artificielle.

L'alliage TA6V4 présente un processus cathodique inférieur à celui de l'alliage TiNi, ce qui facilite sa passivation. Ces résultats sont confirmés par la valeur de la résistance de polarisation (R_p) mentionnée dans le tableau 5. Sur la base de ces valeurs, il est confirmé que le film passif formé à la surface de l'alliage TA6V4 accuse une résistance à la corrosion supérieure à celui formé à la surface de l'alliage TiNi. Le tableau 5 résume les différents paramètres de corrosion obtenus à savoir, le potentiel de corrosion E_{corr} (V), la densité du courant de corrosion i_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$), la vitesse de corrosion V_{corr} (mm/an) et la résistance de polarisation (R_p).

Tableau 5: Paramètres de corrosion des alliages TiNi et TA6V4.

Alliage	Paramètres				
	E_{OCP} (mV)	E_{corr} (mV)	i_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	V_{corr} (mm/an)	R_p (Ω)
TiNi	- 316	- 330	1,93	0,027	25 417
TA6V4	- 448	- 566	0,249	0,021	147 257

3.3.3 Spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE)

La figure 9 présente les spectres d'impédance des alliages TiNi et TA6V4. Les tests ont été réalisés après 24 heures d'immersion. Globalement, les spectres d'impédance illustrés dans le plan de Nyquist sont identiques pour les deux alliages, ils sont sous la forme d'un demi-cercle incomplet. Selon ces courbes, on constate que la résistance de polarisation du film passif formé sur la surface de l'alliage TA6V4 est supérieure à celle du film présenté à la surface de l'alliage TiNi. La présentation dans le plan de Bode indique un comportement capacitif qui se caractérise par un angle de phase de -60° et -70° respectivement pour l'alliage TiNi et TA6V4, pour les basses et moyennes fréquences. L'impédance de Bode est caractérisée par deux constantes de temps qui confirment les données de Nyquist [25]. Suggérant que l'interface de corrosion de ces alliages est caractérisée par un comportement capacitif à l'interface métal/électrolyte, typique des systèmes passifs. Ceci s'explique

par la formation d'un film d'oxyde à la surface de ces alliages constituée de deux couches, à savoir une couche barrière interne et une couche externe poreuse [26].

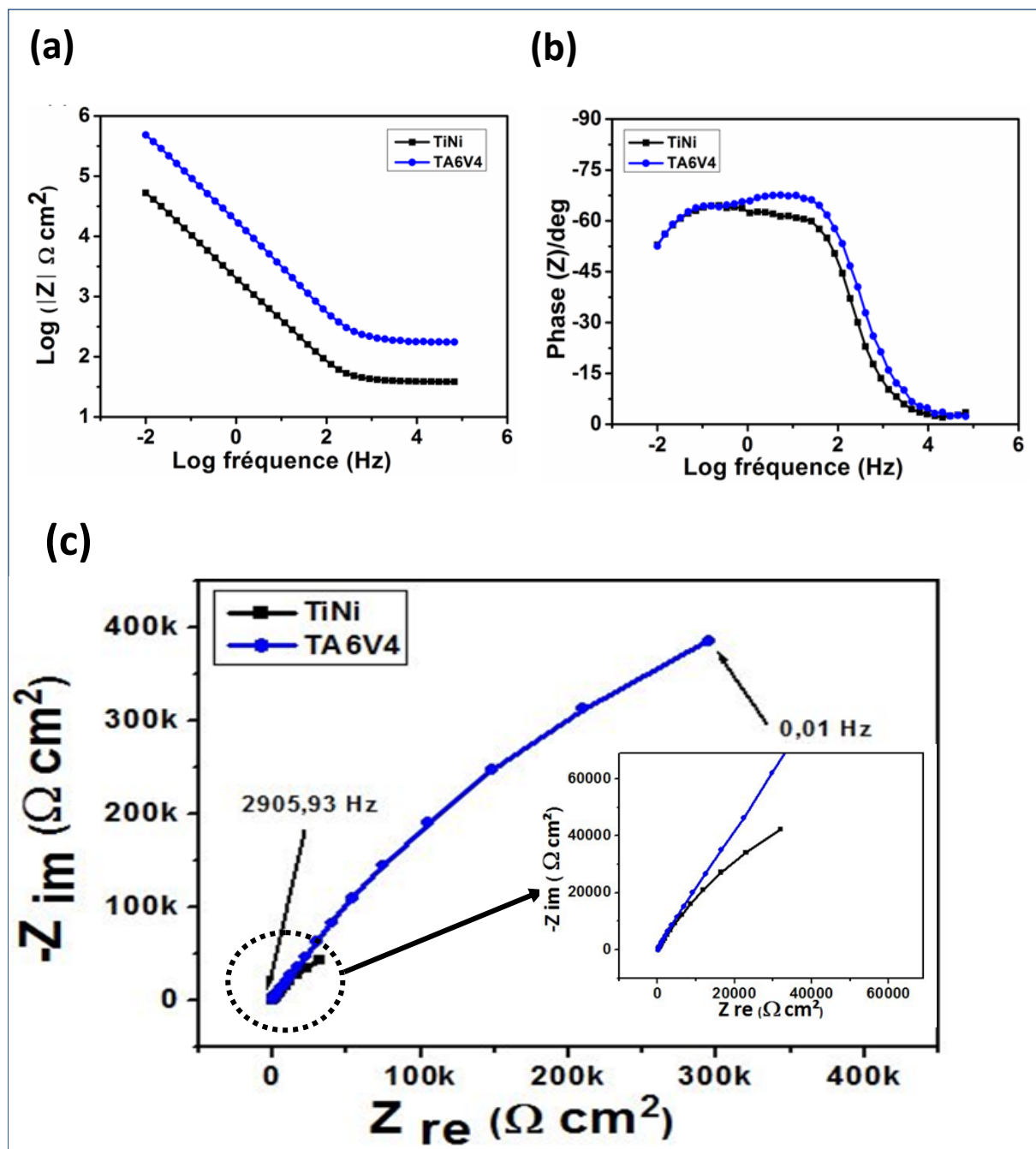


Figure 9: Spectres d'impédance des alliages TiNi et TA6V4 dans la salive artificielle: (a) Module, (b) Angle de phase et (c) spectres de Nyquist.

Le modèle du circuit équivalent choisi pour analyser les données EIS des interfaces des deux alliages TiNi et TA6V4 est donné par la figure 10. Ce circuit, généralement utilisé pour le titane et ses alliages, est basé sur un modèle utilisé par Pan et al [27] pour simuler des données de titane dans une solution saline. Ce modèle a également été proposé par d'autres auteurs [14, 16,28]. Le circuit équivalent est composé des éléments suivants: R_s représente la résistance ohmique d'électrolyte entre l'électrode de travail (WE) et l'électrode de référence (RE). Les éléments $R_2\text{-CPE}_2$ et $R_1\text{-CPE}_1$ représentent respectivement la résistance et la constante de phase élémentaire des films internes et externes.

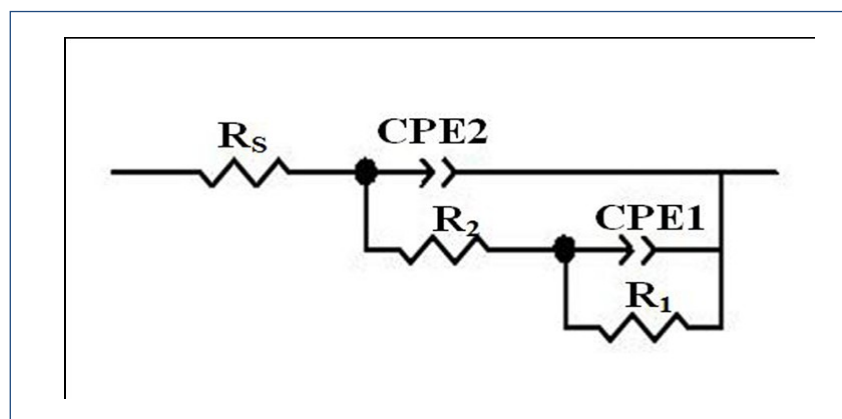


Figure 10: Schéma de circuit équivalent utilisé pour la simulation des données d'impédance des alliages TiNi et TA6V4.

Les résultats des valeurs d'ajustement obtenues à partir de la simulation de circuit équivalent sont résumés dans le tableau 6.

Tableau 6: Paramètres d'impédance des alliages TiNi et TA6V4 immergés pendant 24 h dans la salive artificielle.

Alliage	R_s ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	Q_1 ($\mu\text{F} \cdot \text{cm}^{-2}$)	R_1 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	n_1	Q_2 ($\mu\text{F} \cdot \text{cm}^{-2}$)	R_2 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	n_2	χ^2
TiNi	37,77	$0,116 \cdot 10^{-3}$	$11,214 \cdot 10^3$	0,74	$14,26 \cdot 10^{-6}$	$188,003 \cdot 10^3$	0,82	$0,6 \cdot 10^{-3}$
TA6V4	157,4	$11,33 \cdot 10^{-6}$	$84,474 \cdot 10^3$	0,81	$4,478 \cdot 10^{-6}$	$1,465 \cdot 10^6$	0,72	$1,3 \cdot 10^{-3}$

A partir des valeurs des résistances présentées dans le tableau 6, on retient que la valeur de la résistance de transfert de charge (R_2) est très élevée par rapport à (R_1) pour les deux alliages. Ceci implique que le film passif interne formé sur leurs surfaces est stable et compact, donc présente une résistance élevée à la corrosion. Ces résultats sont également en bon accord avec les mesures de la résistance de polarisation.

4. CONCLUSION

Le présent travail est une étude portant sur le comportement tribologique et électrochimique des alliages Ti-Ni, élaborés par fusion à haute fréquence comparé à l'alliage commercial de référence TA6V4. Les résultats essentiels peuvent être résumés comme suit:

- 1- La microstructure révélée est une matrice à base de NiTi comportant des intermétalliques de type Ti_2Ni et Ni_2Ti .
- 2- L'alliage Ti-Ni présente un meilleur comportement tribologique qui se traduit par une grande résistance à l'usure comparé à l'alliage TA6V4.
- 3- Deux mécanismes d'usure ont été identifiés pour l'alliage TA6V4 à savoir l'usure abrasive et oxydative et une usure abrasive et adhésive pour l'alliage TiNi.
- 4- Les deux alliages de titane testés dans la salive artificielle, ont montré un caractère passif et une résistance à la corrosion élevée.

5-Les résultats des tests d'impédance électrochimique pour les deux alliages confirment le comportement capacitif avec la formation d'un film composé de deux couches, une couche interne compacte et une autre externe poreuse.

REFERENCES

- [1] J.P. Gueneau de Mussy, J.V. Macpherson, J.L. Delplancke, 2003. Characterization and behavior of Ti/TiO₂ / noble metal anodes, *Electrochimica Acta*, Vol. 48, 1131-1141.
- [2] E. Conforto, B.-O. Aronsson, A. Salitoc, C. Crestoud and D. Caillard, 2004. Rough Surfaces of Titanium and Titanium Alloys for Implants and Prostheses, *Materials Science and Engineering C: Biomimetic and Supramolecular systems*, Vol. 24 (5), 611-618.
- [3] M. Niinomi, 2008. Mechanical Biocompatibilities of Titanium Alloys for Biomedical Application, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, Vol. 1(1), 30-42.
- [4] G. Rondelli, B. Vicentini, 1999. Localized corrosion behavior in simulated human body fluids of commercial Ni-Ti orthodontic wires, *Biomaterials*, Vol. 20, 785-792.
- [5] M. Chembath, J.N. Balaraju, M. Sujata, 2015. Surface characteristics, corrosion and bioactivity of chemically treated biomedical grade NiTi alloy, *Materials Science and Engineering C*, Vol. 56, 417-425.
- [6] Y.F. Zheng, B.B. Zhang, B.L. Wang, L. Li, Q.B. Yang, L.S. Cui, 2011. Introduction of antibacterial function in to biomedical TiNi shape memory alloy by the addition of element Ag, *Acta Biomaterialia*, Vol. 7, 2758-2767.
- [7] D. Mareci, R. Chelariu, G. Doina-Margareta, G. Ungureanu, T. Gloriant, 2009. Comparative corrosion study of Ti-Ta alloys for dental applications, *Acta Biomaterialia*, Vol. 5, 3625-3639.
- [8] A.W.E. Hodgson, Yves Mueller, D. Forster, Sannakaisa Virtanen, 2002. Electrochemical characterisation of passive films on Ti alloys under simulated biological conditions, *Electrochimica Acta*, Vol. 47, 1913-1923.
- [9] D. Masmoudia, R. Capek, Abdelhedic, F. El Halouani, M. Wery, 2006. Application of surface response analysis to the optimisation of nitric passivation of cp titanium and Ti6Al4V, *Surface & Coatings Technology*, Vol. 200, 6651-6658.
- [10] A. Revathi, A. Dalmau Borrás, A. Igual Muñoz, C. Richard, G. Manivasagam, 2017. Degradation mechanisms and future challenges of titanium and its alloys for dental implant applications in oral environment, *Materials Science & Engineering C*, Vol. 76, 1354-1368.
- [11] G. Straffelini, A. Molinari, 1999. Dry sliding wear of Ti-6Al-4V alloy as influenced by the counterface and sliding conditions, *Wear*, Vol. 236, 328-338.
- [12] A. Molinari, G. Straffelini, B. Tesi, T. Bacci, 1997. Dry sliding wear mechanisms of the Ti6Al4V alloy, *Wear*, Vol. 208, 105-112.
- [13] R. Wen-Wei Hsua, Y. Chun-Chen, C.-An Huang, Yi-Sui Chen, 2004. Electrochemical corrosion properties of Ti-6Al-4V implant alloy in the biological environment, *Materials Science and Engineering A*, Vol. 380, 100-109.
- [14] M.A. Kerrzo, K.G. Conroy, A.M. Fenelon, S.T. Farrell, C.B. Breslin, 2001. Electrochemical studies on the stability and corrosion resistance of titanium-based implant materials, *Biomater*, Vol. 22, 1531-1539.
- [15] J.F. Archard, 1961. Single contacts and multiple encounters, *Journal of Applied Physics*, Vol. 32, 1420-1425.
- [16] Z.B. Wang, H.X. Hu, Y.G. Zheng, W. Ke, Y.X. Qiao, 2016. Comparison of the corrosion behavior of pure titanium and its alloys in fluoride-containing sulfuric acid, *Corrosion Science*, Vol. 103, 50-65.
- [17] T. B. Massalski, H. Okamoto, P. R. Subra-Manian and L. Kacprzak, 1990. Binary alloy phase diagrams. 2nd vol 3. (ASM International, metals park, OH). 2874 p.
- [18] T.M. Manhabosco, S.M. Tamborim, C.B.D. Santos, I.L. Muller, 2011. Tribological, electrochemical and tribo-electrochemical characterization of bare and nitride Ti6Al4V in simulated body fluid solution, *Corrosion Science*, Vol. 53, 1786-1793.
- [19] C. Zhang, Z.N. Farhat, 2009. Sliding wear of superelastic TiNi alloy, *Wear*, Vol. 267, 394-400.
- [20] R. Neupane, Z. Farhat, 2013. Wear and dent resistance of superelastic TiNi alloy, *Wear*, Vol. 301, 682-687.
- [21] Z. Doni, A.C. Alves, F. Toptan, J.R. Gomes, A. Ramalho, M. Buciumeanu, L. Palaghian, F.S. Silva, 2013. Dry sliding and tribocorrosion behavior of hot pressed CoCrMo biomedical alloy as compared with the cast CoCrMo and Ti6Al4V alloys, *Materials Design*, Vol. 52, 47-57.
- [22] J. F. Archard, 1953. Contact and rubbing of flat surfaces, *Journal of Applied Physics*, Vol. 24 (8), 981-988.

- [23] M. Karthega, V. Raman, N. Rajendran, 2007. Influence of potential on the electrochemical behavior of β titanium alloys in Hank's solution, *Acta Biomaterialia*, Vol. 3, 1019-1023.
- [24] T. Zhao, Y. Li, Y. Xiang, X. Zhao, T. Zhang, 2011. Surface characteristics, nano-indentation and corrosion behavior of Nb implanted NiTi alloy, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 205, 4404-4410.
- [25] G. Rondelli, P. Torricelli, M. Fini, R. Giardino, 2005. In vitro corrosion study by EIS of a nickel-free stainless steel for orthopaedic applications, *Biomaterials*, Vol. 26, 739-744.
- [26] X.T. Sun, Z.X. Kang, X.L. Zhang, H.J. Jiang, R.F. Guana, X.P. Zhang, 2011. A comparative study on the corrosion behavior of porous and dense NiTi shape memory alloys in NaCl solution, *Electrochimica Acta*, Vol. 56, 6389– 6396.
- [27] J. Pan, D. Thierry, C. Leygraf, 1996. Electrochemical impedance spectroscopy study of the passive oxide film on titanium for implant application, *Electrochimica Acta*, Vol. 41, 1143-1153.
- [28] J.E.G. González, J.C.M. Rosca, 1999. Study of the corrosion behavior of titanium and some of its alloys for biomedical and dental implant applications, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, Vol. 471, 109-115.

Experimental characterization of friction wear and mechanical behavior of train wagon brake shoes made of carbon/carbon (C/C) composite material with an organic matrix

Caractérisation expérimentale à l'usure par frottement et étude du comportement mécanique de garniture des sabots de frein de wagon de train en matériau composite C/C à matrice organique

Issam Benbrinis*¹ & Bachir Redjel²

¹Mechanical Engineering Department, University of Badji Mokhtar, Po Box 12, Annaba, 23000, Algeria

²Civil Engineering Laboratory (LGC), University of Badji Mokhtar, Po Box 12, Annaba, 23000, Algeria.

Soumis le : 03/05/18

Révisé le : 30/09/2018

Accepté le : 30/09/2018

Résumé

L'analyse du contact acier/composite a permis de dresser un diagnostic des usures des semelles en matériaux composites de frein des wagons SNTF. Des essais en service réels effectués sur 32 wagons comprenant 256 sabots évoluant dans des conditions atmosphériques variables, sur un parcours de 600 Km ont permis d'étudier le comportement en ligne des sabots en cours d'exploitation et de dresser une classification des usures permettant de cerner celle la plus fréquente. Une comparaison établie entre les deux périodes hivernale et estivale explique l'influence de la température sur l'usure des sabots. En aval des mesures des caractéristiques physique et mécanique du composite carbone/carbone composant les semelles de sabots montrent une dispersion caractéristique de l'aspect hétérogène de ce type de matériau. Des essais de freinage réalisés sur un tribomètre ont permis d'étudier le comportement en frottement et d'identifier les mécanismes physiques de frottement activés au contact sous sollicitations de freinage sévères.

Mots clés : composite carbone/carbone – sabot de frein – semelle de sabot – usure – freinage - frottement

Abstract

The analysis of the contact steel/composite allowed to raise a diagnosis of the wears of soles in composite materials of brake of cars SNTF. Real tests on in-use testing carried out on 32 cars including 256 clogs evolving in variable weather situation, during several shuttles on a route of 600 km allowed to study the on-line behavior of clogs in the course of exploitation and to raise a classification of the wears allowing to identify that it more frequent. A comparison established between two wintry and summer (summery) periods explains the influence of the temperature on the wear of clogs. Downstream, measurements of the physical and mechanical characteristics of the organic matrix C/C composite component of wagons brake shoe blocks show a characteristic dispersion mainly of the heterogeneous appearance of this type of material. Some braking tests carried out on a tribometer, enabled to study the frictional behavior and identify the physical mechanisms of friction, which were activated with contact under severe braking loads.

Keywords : carbon/carbon composite – brake shoe – brake pad – wear – braking – friction

* Corresponding author : benbrinis.issam@gmail.com

1. Introduction

The composite materials with reinforced polymer matrix (CFRP) are known for the excellent combination of their mechanical and thermal properties with their low mass. However, their tribological properties remain largely unknown, which further limits their use in both mass-market and advanced industries. A judicious choice of friction materials must take into account diverse factors like safety and durability, ease of replacement of wear parts, sustainable development, environmental preservation and the cost.

As such, the use of composite upstanding brake shoes materials generally metallic friction materials as cast iron, copper, carbon, metal oxides and silica abrasives, often produce burnt rubber odors when braking is severe [1]. Amalgamated using a synthetic resin binder, the use of composite material brake shoes tend to substitute for those made of iron or metal alloys and may contribute significantly to reduce and limit the acoustic signature of freight trains [2, 3, 4, 5, 6]. The Significant progress made on these composite brake shoes have reduced their high moisture sensitivity and generalize their use in many machinery and mechanical systems [5, 6]. However, it particles torn off the wheel, which then makes them more aggressive towards it. Their still low thermal capacities limit their use to applications requiring medium energy levels [1, 5, 6]. The physical phenomena involved in braking and the interactions between them, as well as the transitory nature of the braking itself even complicate the study.

In order to improve the composite friction contact during braking and to reduce the corresponding thermal gradients, an optimization of the structure and the shape of a brake lining was adopted by N. Benseddiq [7], which led to the design of a new multilayer trim. Thanks to experimental investigations, the variations of the temperature of the friction face during braking was mastered.

Thanks to experimental investigations based on the implementation of a digital tool (algorithm) which aims at integrating the interaction of the physical phenomena put in games (variation of the contact area of the braking, the thermal resistance of contact, wear and the energy waste), the variations of the temperature of the face of friction during the braking was mastered.

M. Baklouti [8] adopts an experimental approach based on the composition of a material composed of a reduced number of constituents in order to define the role of each of these constituents in the braking performance. Wear tests complementary to the braking tests have as such been developed considering solicitations representing heavy-vehicle braking situations. The work focuses on understanding the links between the material, its microstructure, properties, tribological behavior, as well as friction and wear mechanisms.

This study has allowed the understanding of the role of constituents on the performances of braking for the improvement of composite materials, in particular particles of brass, by their function of primary tray, as well as fiber glasses which by their orientation parallel to the sliding, have difficulty in trapping the third body in the contact. These two constituents stiffen the material and limit its anisotropy.

N. Hentari [9] adopts a strategy of exploiting "model" materials with a different formulation and carrying out tests to overcome the complexity of industrial formulations. The objective is to understand the phenomena that appear during the friction with a particular attention to their performances.

This study allowed to understand the influence of the manufacturing processes on the performances of the materials of friction with organic matrix as well as the possible axes of improvement.

A Bulthé [10] breaks down the phenomena as much as possible. He completes the braking tests by friction tests on a tribometer coupled to a spectrometer, themselves supplemented by a study of the physical and chemical degradation with the temperature of the organic composite material. Very numerous friction materials were tried to make the clogs which have has to rub on the wheel, itself constituted by steel the choice of which is practically independent from the problem of the braking. The cast iron is a material of

little expensive friction, easy to develop and to shape, and whose influence on the steel of wheels is little harmful. However its wear is rather strong and its characteristics of friction are not completely satisfactory. Indeed its coefficient of friction is rather low (of the order of 0.1) and varies strongly according to the speed, on one hand, and to the pressure of application, on the other hand.

However this coefficient of friction is not practically influenced by the presence of water what allows to have a good constancy of the performances of braking whatever is the weather situation

The cast iron initially used by SNCF was P14 (1.4 % of phosphor). This nuance presents a less important wear and a coefficient of friction higher than a classic cast iron but also a certain fragility.

Soles in cast iron P10 quickly wear out, in particular on the suburban equipments for which stops are frequent. Certain networks use then soles in cast iron P30 which wear out twice less faster than P10. But the phosphor increases the fragility of the cast iron. The mechanical solidity of the sole was obtained by flooding in the cast iron a special armature meta.

The sintered soles were essentially created to mitigate the reduction in coefficient of friction under humidity of the composite soles. The coefficient of friction is the same than that of the composite soles but it is practically independent from weather situation.

Among the materials in constant progress, the organic carbon carbon composite (C/C) which has good mechanical and tribological properties begins to be widely used in the manufacture of brake shoes. However, the oxidation phenomena degrade it as soon as the temperature exceeds 500 degrees. Recent work highlights the importance of the thermal properties of C/C 2D or 3D composites in their braking simulation performance [11]. It should be noted that there is very little work on braking simulations. These works are restricted to near-industrial studies should be noted that the soles made of composite materials remain subject to metal inclusions such as the primarily designed to test different materials under conditions approaching reality and compare their tribological behaviors including views of the variation of friction and the wear rate.

The analysis of work concerning the friction of C / C composites reveals similarities with those concerning graphite (low and high friction regimes with the existence of a sudden transition). In general, the approach taken for the analysis of the physical mechanisms of friction and wear is based on the concept of three-body tribology. This concept introduced in the 1970s by M. Godet [12], developed by Y. Berthier [13, 14] involves a third body formed between the first two that are the shoe and the wheel. This third body, which takes on a material meaning and a cinematic sense, forms with the first two, accompanied by the friction mechanism, the tribological triplet that must be considered when studying any tribological phenomenon [15]. In addition, the analysis of the consumption of composite soles demonstrates the persistence of the increase in their use especially during the summer period of the months June, July and August compared to other periods [16,17] These important consumptions imposed by frequencies of journeys put the SNTF (National Railway Transport Company) offset towards the plans and forecasts.

As such, this field research work deals with the analysis of composite brake shoes of the ore transport wagons of the SNTF (Algeria) in order to study and identify their behavior during the service. A physical and mechanical characterization of the basic material that is the C/C composite is experimentally investigated and enabled to measure some important basic properties such as the coefficient of friction, the hardness and the compression resistance of this material.

2. Experimental Methodologies

The strategy adopted in this study was to break down and study the phenomena separately. Thus, the diagnostic approach adopted in this paper is based on two types of test protocols. The first is conducted

on-line to derive the probabilities of types of wears and possible causes. The second is a brake shoe resistance test under severe stress, which corresponds to degraded operating conditions. This test represents a method of approval of this type of sole in accordance with UIC standards 2006 in force [5, 6]. These tests are reinforced by friction tests on a tribometer. These investigations are completed by a mechanical characterization study of the performances of the C/C composite material.

2.1. Material constituting the brake shoes

The brake shoe product used by SNTF is a carbon / carbon composite material referred to as "C/C". It consists of a solid carbon matrix reinforced by fibers that are carbon itself. Complementarity and the combination of qualities of the two components that are the fibers and the matrix should give the overall material an interesting mechanical thermal and tribological performance [18]. Figure 1 shows a micrograph of the structure of the C/C carbon-carbon composite. A large number of filaments are grouped within the structure to distribute the local micro defects that may exist within the filament and subsequently obtain a basic wire diameter sufficient for quick handling.

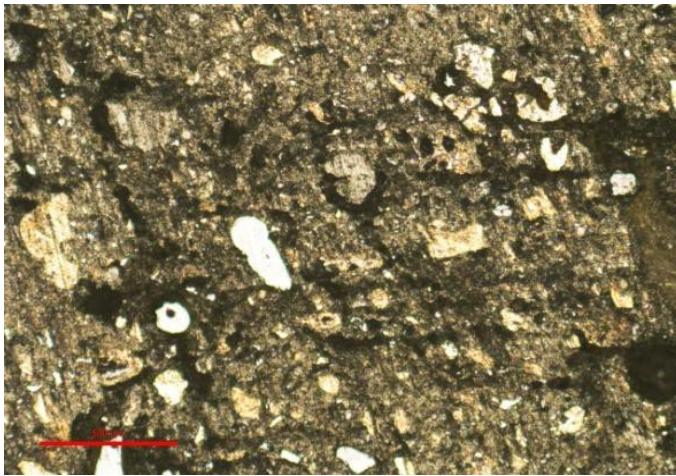


Figure 1: Example of microstructure of the C / C composite

The micrographs of figure 2 and figure 3 show respectively microscopic views of the structure of the material.

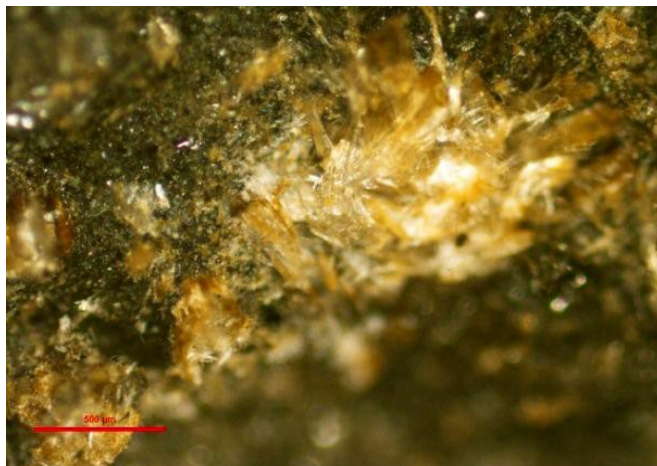


Figure 2: Microscopic view of the composite structure "Before rupture (500 μm)"

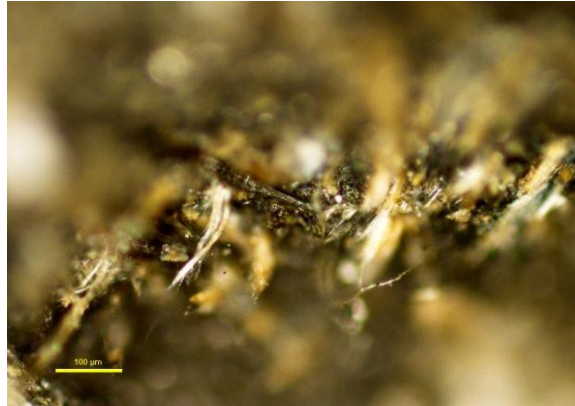


Figure 3: Microscopic view of the filament "After the rupture of the material ((100 µm))"

2.2. Physical and mechanical characterizations of constituents

2.2.1. Density measurement

Two methods were used for volumic mass measurement (m_v): the classical method and the method of pendulum. The details of manipulation of these two methods are presented in the reference [18]. The measured values are:

Classical method: $m_v = 1.66 \text{ g / cm}^3$

Pendulum method: $m_v = 1 \text{ g / cm}^3$

There appears to be a fairly a significant divergence between the results given by these two methods. The limited number of measurements as well as the difficulty in the accuracy of the second method may be one of the probable causes of this significant difference. It is interesting to note, however, that the value measured by the first method is very close to the order of magnitude measured by R. Devi and R. Rao [19] on liquid-densified multidirectional C/C composites (unspecified precursor) of 1.8 g / cm^3 as well as that one obtained by C. Taylor [20] on C / C composites densified by different routes which is 1.6 g / cm^3 .

2.2.2. Rockwell hardness measurement

The test pieces for the Rockwell hardness tests are first prepared by cutting cylindrical samples of 25 mm in height and 20 mm in diameter of the packing at the specified location on the sole of the brake (Fig. 4). They undergo thereafter machining of the back until the disappearance of the entire iron sheet and supports until obtaining a smooth surface parallel to the upper braking surface.



Figure 4: samples used for the measure of the hardness

The Rockwell hardness test is performed conventionally in accordance with ASTM Method D 785-65 on an apparatus intended for this use (Fig. 5).



Figure 5: Apparatus used for the classic measure of the hardness

The NF EN ISO 6508-1 standard is also used for this type of test. The latter consists in printing, in two stages, in the surface layer of the specimen, an indenter, which is a diamond cone at a 120° angle and a spherical end of diameter 0.2 mm in order to measure the increase issued from the depth of penetration by a direct reading. The use of the cone makes it possible to avoid a large dispersion. These Rockwell Indices can be read directly on the graduated dial. The Rockwell hardness C designated by HRC is expressed by a dimensionless number. Three tests were applied for each sample and the average value is adopted for characterization. Ten samples were tested. The German standard DIN 50-150 has established a specific abacus to deduce Brinell hardness (HB) and Vickers hardness (HV) by conversion from the Rockwell hardness measurement. Furthermore, there is a relationship between the Brinell HB hardness and the tensile strength R_m . For carbon steels: $R_m = 3.5 \text{ HB}$. Table 1 summarizes the results obtained from measure and from conversions as well as the standard deviation and the coefficient of variation relative to HRC.

Table1: Measured and converted values of hardnesses.

Hardness	HRC	HV	HB
Average	35,5	350	333
Standard deviation	1,85	-	-
Coef. of Variation %	5,2	-	-

Despite all the precautions taken during handling, the hardness measurement results show a significant dispersion. This is mainly due to the heterogeneous nature of the material as well as its surface condition that is very difficult to make perfectly smooth despite all the precautionary operations performed in this direction. However, the order of magnitude of this dispersion seems to be acceptable for this type of composite material.

2.2.3. Tribological wear test

In order to better understand and identify the damage mechanisms that occur on industrial brake shoe devices during travel, tribological tests simulating wear have been performed on a CSM + module / version 4.4U pawn-to-disk tribometer, equipped with a digital display. The acquisition rate is 10 Hz. The entire device connected to a microcomputer presents the results of the variation of the coefficient of friction according to the three parameters of time, displacement and the number of turns. The tests are carried out at a temperature of 25 ° C in an environment characterized by a relative humidity of 50% and are compatible with the standards DIN 50324, ASTM G99 and ASTM G133. The wear rate for the sample is calculated by determining the volume loss per unit traveled distance. The cylindrical samples, diameter 20 mm and height 15 mm are brought into contact with a ball mounted on an elastic arm. Each sample is rotated. The weak deflection of the arm makes it possible to determine the tangential forces and consequently the coefficient induced by this displacement.

2.2.4. Measurement of compressive strength

The specimens for compressive characterization of the material were removed from the shoes are then packaged immediately preceding the test for three days at a temperature of 23 ± 2 ° C and a relative humidity of $50 \pm 5\%$. Two types of tests were used : cubic pieces of $40 \times 40 \times 40$ mm³ (Fig. 6) and cylindrical samples of 25 mm in height and 20 mm in diameter conform to normative requirements EN 12350-1, EN 12390-1, EN 12390 -2 and EN 12504-. The diameter and height of the samples are measured with an accuracy of 10 µm.

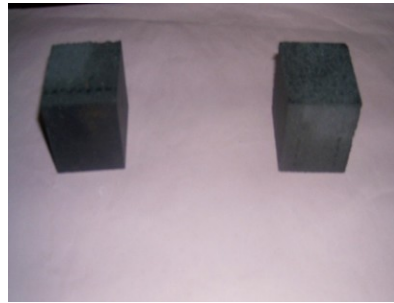


Figure 6: cubic samples used for the compressive characterization tests

The specimens were subjected to the crushing test according to ASTM D695 standard with a compression press with a digital display for the cubic samples. The loading speed is slow and constant and is of the order of 1500 KN.s^{-1} . The tests on cylinders are carried out on an universal machine of type Zwick Roell Z 20 at a travel speed of the crossbar of 5mm/min (Fig.7). The tests are conducted until the samples are completely broken.



Figure 7: Compressive test device in cylinder sample tests

2.2.5. Homologation of shear and three-point-bending strength tests (UIC 2006) A- Shear strength

The tests were conducted by adopting a device using a hydraulic press as shown in figure 8 in accordance with the UIC specifications 2006 [6]. An iron sheet was placed between the two sides of the sole to ensure a good transmission of the effort.



Figure 8: Device for the shear test on a hydraulic press

B- Flexural strength

The same device, the hydraulic press was adopted for the mechanical tests of the flexural strength made in accordance with the specifications of the UIC 2006, in order to locate the most fragile parts of the composite shoe [6].

Test N° 1: in accordance with the UIC 2006 requirements concerning the application of a force of about 19 KN for a type K sole [6] and a length of 320 mm, a composite sole was subjected to a monotonous increasing effort applied by a hydraulic press (Fig. 9).



Figure 9: Application of the flexure test number 2

Test N° 2 : this test is used to define the actual cause of the deformation if it is due to the notch separating the two parts of the sole or if it is a poor quality of the material (Fig. 10).

These two tests are performed each time with new soles. The stress is applied monotonously at a speed of 30 mm / min.



Figure 10: flexure test number 2

2.2.6 Diagnostic of wear tests and experimental protocols

The approach to conduct the diagnosis adopted is based on on-line tests in order to deduce the probabilities of types of wear and possible causes. It is important to note that the insoles used for the tests must imperatively present the dimensions the original model corresponding to mass production. Each program was carried out with new soles from the same production batch. It is also important to point out that during the tests line, the appearance on the soles of flames, exudation of the binder, permanent and screeching and odors are strictly prohibited.

Moreover, the soles should not crumble or delaminate on an important surface and they should not present damages hindering their mechanical performance. All these precautions were taken and monitored during all the paths of the experiments. In-service tests were performed on a total of 32 wagons with brakes of different designs and used under varying atmospheric conditions winter period and in summer, for several uninterrupted shuttles on the route Djebel Onk -Annaba with a distance of 452 Km on the same vehicle. This course is sufficient to produce anomalies. An investigative system used for years by the SNTF contributed to this measure. It is interesting to note that these in-service tests are conducted to prove that the composite sole in question is used under the conditions indicated for the compliance evaluation, and that it does not cause any deterioration on the wheels and that it does not induce disturbance in the train traffic. For the purposes of the analysis, each observation was symbolized as follows:

A: wear on one side of the shoe - B: acceptable wear (in conformity) - C: abnormal crack or breakage - D: takeoff of the composite from the metal frame of the outsole - X: very advanced wear beyond the wear limit - Y: metal inclusion on the wheel - Z: sole charred or burned.

After each course of a train composed of thirty two axle wagons for the transport of phosphates from Djebel Onk (loading site) to Annaba (Maintenance station of replacement of shoes), the observed wear are thus recorded according to the classification by symbol and this for both winter and summer periods.

The 32 cars operated include 256 brake shoes. Each wagon is equipped with 8 clogs. Figure 11 shows an example of an axle wagon used for the transport of the phosphate equipped with 8 shoes with extreme wheels.



Figure 11: Example of an axle car equipped with 8 extreme wheel hooves

3. Results and discussions

3.1. Measure of the coefficient of friction

The tracking of the coefficient of friction and wear is an essential aspect in understanding the damage mechanisms that occur on industrial devices such as brake shoes. A typical example of the variation of the coefficient of friction according to three parameters : time, displacement, number of turns is shown in figure 12.

The coefficient of friction increases rapidly at the beginning of the simulation and stabilizes thereafter around a constant value of 0.21 from 200 s. This value remains comparable and consistent with that given by the manufacturer. It should be noted that recent work highlights the importance of the thermal properties of 2D / 3D C/C composites in their performance in braking simulation [11]. FM Kustas et al. [16] note that the friction of the C/C 3D composites at room temperature under vacuum is low compared to the friction obtained with the reference test.

Few results on friction coefficient measurements of carbon fiber reinforced polymers (CFRP) are available in the scientific and technical literature. However, some experimental studies have attempted to explore the effects of normal load, velocity or environmental conditions on the value and variation of the coefficient of friction and on the wear of high modulus and high strength carbon fiber reinforced composite materials [21, 22, 23]. The effects of volume fraction and fiber orientation were also considered [24]. Numerical models of a contact between a fibrous composite and an opposite roughness have been proposed [25].

It should be noted that all these works describe the friction under normal load strong enough to induce a wear of the composite. Experimentally studying the friction between two composite CFP under low normal charge O. Smerdova et al. [26] reported a slight increase in the coefficient of friction with the change of orientation of the fibers of the two composites from parallel to perpendicular to the direction of slip while the proposed analytical model assuming that the actual contact area is made up of a multitude of micro contacts of three types: fiber-fiber, fiber-matrix and matrix-matrix predicts an independence of this angle. Furthermore, the tests highlight a decrease in the coefficient of friction of half with an increase in the fiber volume fraction V_f from 0% to 62%, which corresponds to the qualifying dependence found in the context of the model.

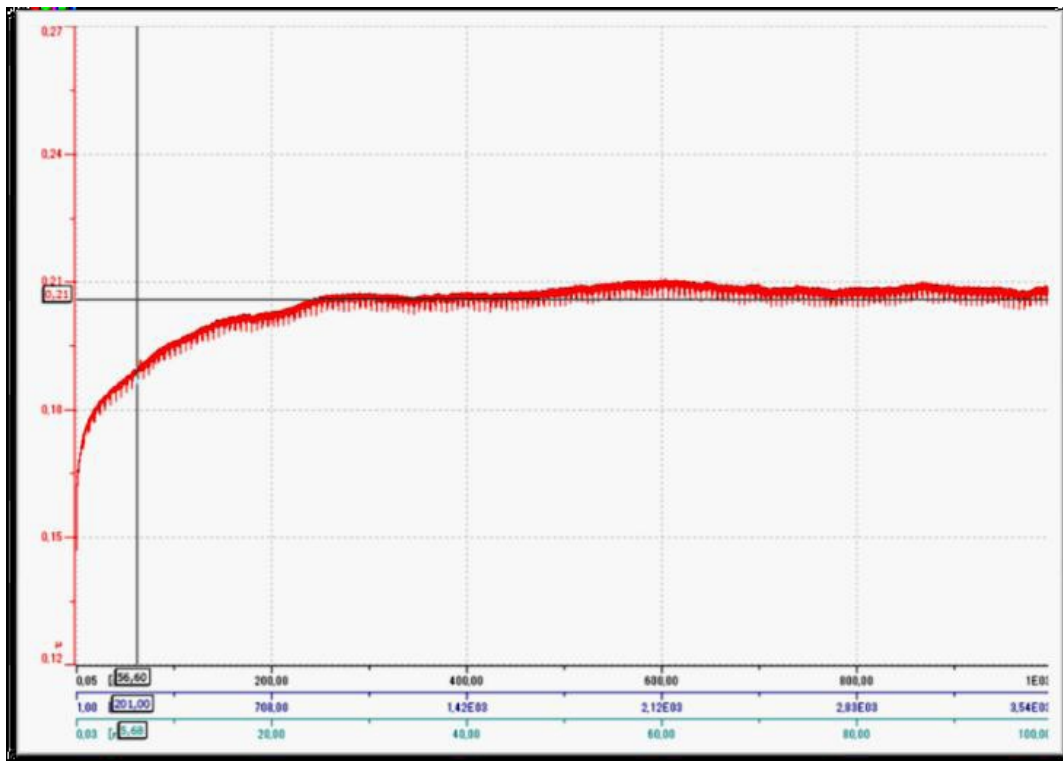


Figure 12: variation of the coefficient of friction as a function of time, displacement and the number of turns.

In a tribological characterization study of an AA5083 aluminum alloy made by a conventional test using a pion-disk tribometer only allowing to determine a Coulomb type friction coefficient, DT Pham et al. [27] show, taking into account measurement uncertainties, that the coefficients of friction measured for a variation in speed from 0.0005 m / s to 0.05 m / s and for loads varying from 0.08 N to 0.42 N are not very sensitive to speed except at lower speeds ($V = 0.0005$ m / s and $V = 0.001$ m / s) which display smaller coefficients. They conclude that the average value of the Coulomb coefficient stabilizes around 0.2 and that its variation is negligible when the applied load changes. Studying the tribological behavior of organic matrix composites selected for braking applications to ensure a gain in energy evacuation capacity, a reduction in wear and a reduction of unsuspended masses. O. Roussette et al [28] conclude that the instantaneous coefficient of friction shows a level close to the value of 0.35 and a stability compatible with its industrial use at high pressures. An increase in the coefficient of friction at low slip speeds; however, it is noted during experimentation at the end of braking. The study of the physical mechanisms of friction and wear revealed scattered areas of contact on the surface of the pion. An experimental characterization study of the rubbing contact of the packing disk under severe stressing by A. Bulthé [10] reveals a different behavior of the evolution of the coefficient of friction for each of the two braking operations considered. Indeed, during the low energy braking during which the temperatures do not exceed 100°C under the friction surface in the disk and in the pad, the coefficient of friction is stable around 0.3 during the first two thirds of the braking before making a significant recovery to reach 0.42 at the time of shutdown.

In the case of high energy stop braking which constitutes a severe contact stress leading to high mass temperatures, 240°C and 180°C measured at 2 mm below the friction surface respectively in the disc and in the slip, the evolution of the coefficient of friction shows a tribological behavior disturbed during the first part of the braking before stabilizing around the value of 0.28 until the end of the braking.

3.2. Compression behavior of the C / C composite

Figures 13 and 14 show examples of the statement of load-displacement curve obtained during the compression test for both types of specimens tested. These curves have the same appearance and are linear from the beginning of the test until the total rupture of the sample reflecting the resilient elastic character of the C/C composite. It should be noted that the sampling of cylinders and cubes were made in different locations on different shoes

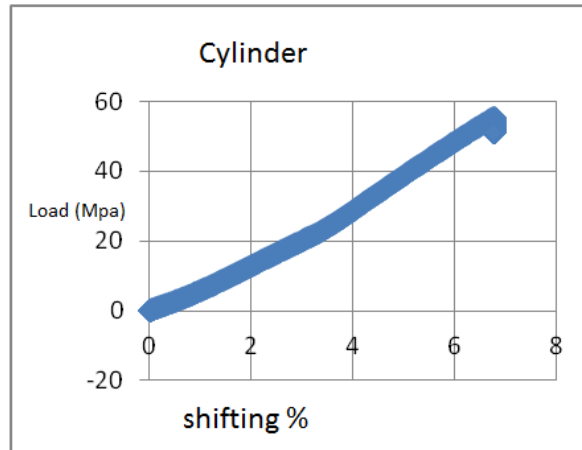


Figure 13: Compression behavior of the cylindrical specimen

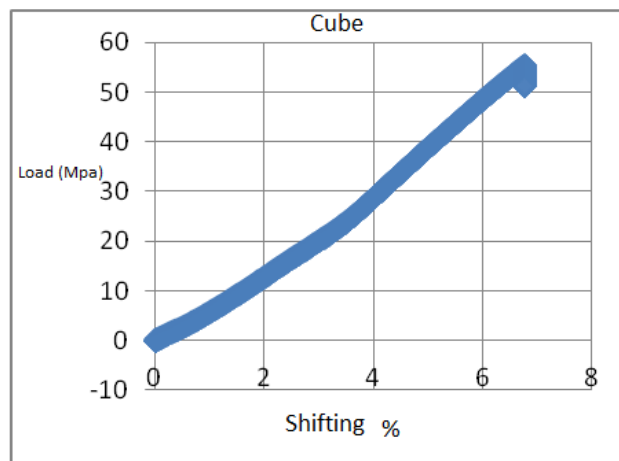


Figure 14: Compression behavior of the cubic specimen.

Table 2 summarizes the results of measurement of the average compressive stress in compression obtained on cubic and cylindrical specimens as well as the calculated standard deviations.

Table 2: Compressive strength

	Number	Resistance (MPa)	Standard Deviation (MPa)	Coef of variation (%)
Cylinder	10	85	11	13%
Cube	5	86,5	4,8	5,5%

These results are characterized by a dispersion due to the aspect of the composite material, the dispersion of the mechanical test itself as well as the probabilistic appearance of the fracture for the two test samples. However, the order of magnitude of this dispersion remains acceptable insofar as it is squared in the range of that indicated in the literature for granular composite materials. It is important to point out that the specimens rarely have comparable characteristics because nominally they are not identical because of the heterogeneity at the level of the microstructure as well as the presence of defects of different sizes and densities randomly distributed within the volume of each sample and which are therefore the cause of the ruin of these materials. This can then be triggered at different levels of constraints depending on the orientation, the location, the size and the density of micro-porosities, inclusions, manufacturing discontinuities and weak interfaces and subsequently spread unstable.

Both geometries indicate comparable values. The ratio between the value given by the cylinder and that given by the cube is on average 0.98, which is satisfying. It should be noted that to make an analogy with the concrete material, this ratio on specimens 15/30 for the cylinder and on cubes of 20 cm of concrete edge varies from 0.7 to 0.9 and that an average of 0.83 is then adopted by the European Committee for Concrete for this material [29-30-31]. Finally, it should be noted that the measured values of the stress at break both on the cylinder and on the cube fall within the ranges given by the data sheets of the physical and mechanical characteristics of this type of composite material C/C found in the scientific and technical literature. In spite of their large number, the cylindrical specimens show a dispersion of the values of the resistance greater than those shown by the cubic specimens.

The fracture of the cubic specimens in compression takes place in oblique planes with the formation of two truncated pyramids and opposed by the small base as shown by the examples of this ruin mode in figure 15. This mode of rupture is typical on cubic specimens. It is a mechanism similar to that observed on concretes and cement based materials and it is mainly conditioned by the friction forces that develop between the faces of the specimen and the press plates and which are directed inside of the block which stops the development of transverse deformations [31].

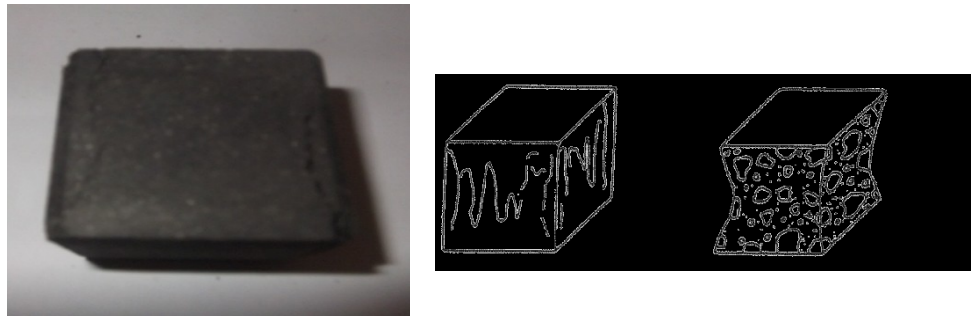


Figure 15: example and schematization of the mode of rupture of the cube

The mode of fracture of the cylindrical specimens is shown in figure 16. The mechanism ruin is characterized by the emergence and formation of rupture lines in planes parallel to the direction of the compression load as shown schematically in figure 16. This is an illustrative example of a proper cylinder break.



Figure 16: Example and diagram of the cylinder failure mode

3.3. Results of online trials

32 wagons were operated online including a total of 256 clogs. Each car is equipped with 8 brake shoes. Thus the summation of the different types of wear observed must obey the following parametric equation:
 $\sum N_{i,j} = 256$

Ni: number of shoes corresponding to a type of wear; i ranging from 0 to 256

J = A, B, C, D, X, Y, Z type of wear observed on each shoe

3.3.1 Winter period

Observations after replacing clogs in the maintenance station of Annaba made on the worn shoes of the two wheels of each axle were raised, collected and stripped. Wear is then quantified using the symbols adopted for their denomination. It should be noted that for each wheel the failures were noted on the two left and right shoes and this for the 3 oars.

The summation of the different wear observed on each shoe was established for the three tests carried out on the three experienced trains. The results give the following equations :

- First test (1st train) : $10A+12B+106C+45D+36X+24Y+23Z=256$

- Second test (2nd train) : $15A+17B+91C+60D+31X+20Y+20Z=256$

- Third test (3rd train) : $20A+17B+81C+40D+51X+14Y+33Z=256$

Table 3 summarizes the number of shoes damaged by type of wear and their rate for each train.

Table 3: Rates of different types of wear in winter

	1st train		2nd train		3rd train	
	shoe	rate	shoe	rate	shoe	rate
A	10	3.9	15	5.86	20	7.81
B	12	4.70	17	6.64	17	6.64
C	106	41.40	91	35.55	81	31.64
D	45	17.58	60	23.44	40	15.62
X	36	14.06	31	12.10	51	19.92
Y	24	9.38	20	7.81	14	5.47
Z	23	8.98	20	7.81	33	12.89

These results are shown in the histogram of figure 17.

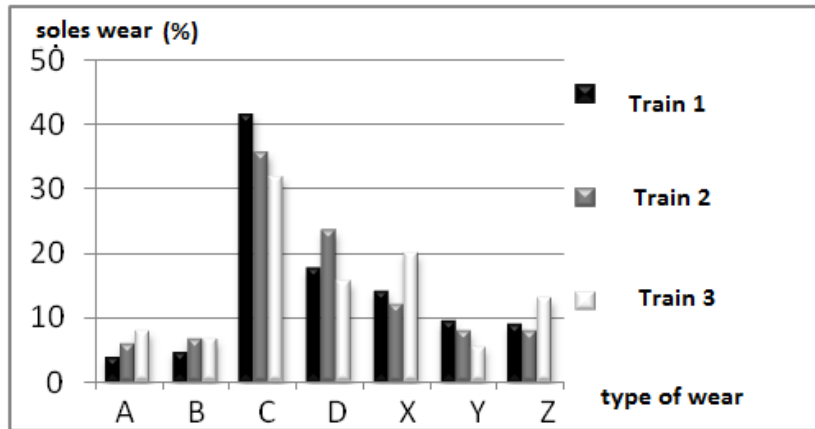


Figure 17: Histogram of worn shoe rate for different types of wear in winter.

The analysis of the results of recorded measurements makes it possible to draw the following observations:

- Type of wear (A) : wear on one side of the shoe is at a rate varying from 3,9 to 7,81. This type of wear is generally due to the geometrical defects of the soles. It may also be caused by a defect in the keying device of the fastener as shown in figures 18 and 19:



Figure 18: Fixing device



Figure 19: worn shoe

-Type of wear (B) : [4.7 - 6 .64] : few soles wear out according to the requirements of the manufacturers, demonstrating that this is a serious shoe quality problem

- Type of wear (C) : [31.64 - 41.40] : this case of wear is widespread as confirmed by the high rates measured. It has even been noted that the propagation of the crack is often systematic from the notch separating the two parts of the soles and which has been created for a better dissipation of the heat resulting from the sole-wheel friction (Fig. 20 and Fig.21).



Figure 20: cracked sole



Figure 21: Sole from the notch

- Type of wear (D): [15,62 – 23,44]: this type of wear reflects a non-conformity of the connection of the composite with the reinforcement, which causes damage to the shoe-holder and even the wheels (Fig. 22).



Figure 22: Take-off of the composite at the ends

- Type of wear (X) : [14.06 - 19.92] : usually this type of wear is rarely encountered in similar climatic conditions (Fig. 23). Its consequences sometimes cause very serious incidents on-line including brake failure as even the slack adjuster cannot catch the sole link wheel-shoe



Figure 23: Exceptional wear of shoe

-type wear (Y) : [5.47 - 9.38] : this type of abnormality is based on the different types of wear (C, D, X). This anomaly can also generate on-line derailments because it sometimes causes overheating and aggressiveness at the wheel running gear (hot box).

-type wear (Z) : [7.81 - 12.98] : regardless that this burning defect is unacceptable, the first finding of expertise of these burned soles, shows a bad smell. Therefore a chemical analysis is required to determine if the material contains any toxic minerals such as asbestos or other.

3.3.2. Summer time

The same types of tests of the winter have been conducted during the summer months of June, July and August for three oars in order to observe the influence of temperature on the nature and degree of wear on the shoes. The observed results were also gathered, counted and classified. Table 4 summarizes the number of damaged shoes by wear nature and rate for each train as in the case of the winter.

Table 4: Rates of different types of wear in summer

	1st train		2nd train		3rd train	
	shoe	rate	shoe	rate	shoe	rate
<i>A</i>	5	1,95	8	3,12	2	0,78
<i>B</i>	8	3,12	7	2,73	5	1,95
<i>C</i>	30	11,71	40	15,62	25	9,76
<i>D</i>	47	18,35	38	14,84	51	19,92
<i>X</i>	58	22,65	61	23,82	67	26,17
<i>Y</i>	38	14,84	35	13,67	23	8,98
<i>Z</i>	70	27,34	67	26,17	83	32,42

These results are shown in the histogram of figure 24.

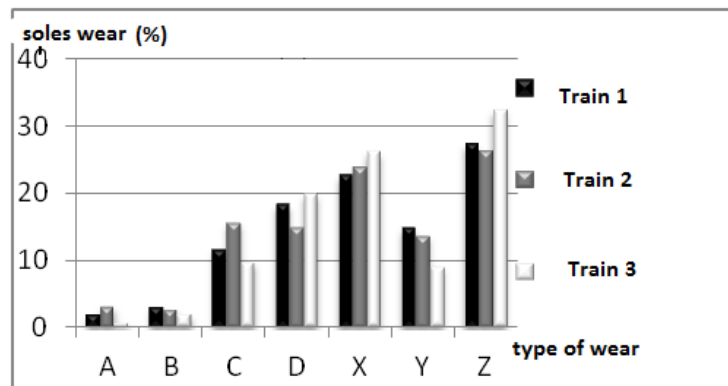


Figure 24: Histogram of the rate of worn shoes of different types of wear in the summer.

In order to objectively analyze these results, a comparison between the two periods better explains the influence of temperature on wear clogs.

-type wear (A):the wear rate compared to the winter period is almost the same. The realignment of the mechanical linkage is not related to climate change.

-type wear (B):in contrast to the wear, the wear rate in conformity with this period is almost zero. Thus, the behavior of composite brake blocks during the summer is poor compared to the winter period.

-type wear (C):the presence of cracking shoe levels persists but with small percentage. The reduction in temperature promotes the breakage of the composite.

-type wear (D):a same percentage is recorded for two periods.

-type wear (X):light influence of temperature on the soles damage beyond the wear limit is recognized. The increase in temperature has caused the soles wear out more quickly during the summer and before the train reaches the planned route. The wear of the shoes exceeds the limit.

-type wear (Y) : there is an appearance of hot tears to levels of a very large number of wheels. This can cause paralysis of traffic and even lead to accidents.

-type wear (Z) : the observations of the braking edge during this period and descents indicate a creation of a red spark between the wheel and the sole. These observations explain very well the percentage of such wear. We spend an average of 10.15 during the winter period and 28.64 rate in summer.

3.3.3. Finding

From the observations made in both periods, the following observations can be made :

- For wear A and according to the geometrical characteristics of the soles, the fastener does not appear to meet the standards in force (p.ex.ISO- 2768) [1].

- For wear B, a very small number of sole wears as required.

- Wear C is a type contrary to probate rules soles. According to the UIC standards [6] a sole according would have withstood the bending and shear stresses, which was not the case for these types of soles that have cracks and breaks at least the braking forces.

- To wear D, contrary to what was required by the regulations in force, a good assembling composite-rear plate was not assured. That is certainly explains the ease of launch of the composite of the metal frame.

- The same observations can be made for wear X: a composite sole according never wear out beyond its wear limit, which is 10 mm in accordance with a mileage 45000Km course.

- According to the Y wear, it may be that of a poor sole for the simple reason that the potential life of the wheels is 1200 000 Km while this type of shoe attacks wheels causing repelled at distances much smaller.

- The Z wear is now the sum of all failures because its health effects are harmful because of released materials. This type of shoe is a real danger for the user especially when transporting fuel tank.

3.4. Results of mechanical testing

3.4.1. Results of the shear test

To close the application of tangential force in the space of 4 S on a regular basis as recommended by UIC in 2006 [5], a bending of the sole was noticed as soon as a maximum value of 15 KN of the applied force is reached. The sole has broken abruptly (Fig. 25 and Fig.26).



Figure 25: Result of shear tests



Figure 26: assembly (sheet-composite) taken off

This experiment highlights the bad connection between the back (plate) and the composite material. This is consistent with the test results on-line.

3.4.2. Results of the bending tests

Type 1: after application of a load (the first development effort after 4 S) base began to rapidly flex and even before the load reaches 10 KN, the sole has broken just medium and an abrupt manner (Fig. 27). It is clear from the observations found that plastic deformation appears and the notch being in its presence the seat of high stress concentrations promotes crack propagation.



Figure 27: Result of the Type 1 flexural test

Type 2: same findings of Test No. 1 of the reflection on the homogeneous part of the shoe have been identified on the type2 test (Fig.28).



Figure 28: Result of the type2 test of flexion

4. Conclusion

Measurements of physical and mechanical characteristics of the C / C composite with an organic matrix show a characteristic dispersion of the composite aspect of the material. This is mainly due to the heterogeneous aspect of this type of material. The resistance values measured on cubic and cylindrical samples are convergent and fall within the order of magnitude of those reported by the scientific and technical literature.

The establishment of the wear tests conducted on a tribometer to simulate the operation of the industrial device of the brake shoes composite material C / C by a representative braking tests on tribometer with respect to the service brake are enabled evaluating the variation in friction coefficient with time. The diagnostic failure analysis of composite brake blocks shows that the study of their on-line behavior that is to say during operation reveals abnormal wear and damage compared to ordinary aging. Bending and shear tests show the breakup of the product and highlight its non-compliance with the rules. To this end, and following the data collected at each stage of this study, it is clear that the product "composite blocks" currently used does not yet meet the standards and rules and urgent measures must be taken by the

National Company of Railway Transportation (SNTF – Algeria) to cope with this situation, by registering very large expenditure items and by developing new innovative composite materials based on high performance resistant resins reinforced with suitable resistant fibers.

In perspective, industrial investigations should focus on improving the performance of braking systems by seeking to better understand the durability of new friction composite materials under severe stress by a better understanding of the interactions between the physical phenomena of friction, their multi-scale and multi-physical natures as well as the transient nature of braking.

Thanks

The authors would like to thank Annaba's regional rail transport department (SNTF) and especially its material service for all the facilities granted at its premises and workshops as well as the management of the Annaba National School of Mines and Metallurgy (ENSMMA).) for the assistance provided when using the equipment of their laboratories.

References

- [1] Normes Internationales : Organisation internationale de normalisation (ISO)
- 1) 17025:2005 : Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais, 2005
 - 2) 2768-1:1989 : Tolérances générales - Partie 1 : Tolérances pour dimensions linéaires et angulaires non affectées de tolérances individuelles, 1989.
 - 3) 2768-2:1989 : Tolérances générales - Partie 2 : Tolérances géométriques pour éléments non affectés de tolérances individuelles, 1989.
 - 4) 9001:2000 : Systèmes de management de la qualité - Exigences, 2000.
- [2] X. Bourrat, "Structure in carbons and carbon artefacts", Science of carbon materials, H. Marsh and F.Rodriguez-Reinoso, Pub. Universidad de Alicante, 1999, pp. 1-97.
- [3] X. Bourrat, A. Oberlin & R. Bachelard, *Carbon*, 31, 2, 1993, pp. 287-302.
- [4] A. Fillion, "Composites C/C et C/C-SiC pour applications tribologiques", Thèse de Doctorat de l'Université de Bordeaux I, France, n° 2168, 2000.
- [5] Fiches UIC : Union Internationale des Chemins de fer (UIC)
- 1) Fiche UIC n° 541-1 : Frein - Prescriptions concernant la construction des différents organes de frein, 6e édition, novembre 2003.
 - 2) Fiche UIC n° 541-4 : Frein - Freins avec des semelles de frein en matière composite, 2e édition du 01.10.90 et 3e édition du 1er avril 2006.
 - 3) Fiche UIC n° 544-1 : Frein - Performance de freinage, 4e édition, octobre 2004.
- [6] Normes Européennes : Commission Européenne (CEE) Directive européenne 91/155/CEE de la Commission définissant et fixant, en application de l'article 10 de la directive 88/379/CEE du Conseil, les modalités du système d'information spécifique relatif aux préparations dangereuses, 5 mars 1991, JO L 076 du 22/03/1991.
- [7] N. Benseddiq « optimisation des garnitures composites pour les freins a disques ferroviaires » thèse de doctorat, Université de Lille 1, Laboratoire de mécanique de Lille EUDIL, 08 avril 1997, 152pages, France.
- [8] M. Baklouti « analyse tribologique du rôle de constituants dans les performances de matériaux composites organiques pour garnitures de frein » thèse de doctorat délivré simultanément par l'école centrale de Lille et l'école nationale d'ingénieurs de Sfax dans le cadre d'une cotutelle internationale, 26 novembre 2013, 158 Pages.
- [9] N. Hentati « matériaux composites a matrice organique pour garnitures de frein, microstructure, les propriétés et le comportement tribologique » thèse de doctorat , Ecole Centrale de Lille, 26 décembre 2015, 160 pages.
- [10] A. L. Bulthé "Caractérisation expérimentale du contact frottant disque garniture sous sollicitations sévères de freinage. Prise en compte des interactions tribologique, thermique et physico-chimique", *Thèse de doctorat*, Mécanique, N°d'ordre 39, Ecole Centrale de Lille et Université des Sciences et Technologies de Lille, Lille 29 novembre 2006, France, 144p.
- [11] G. Lu, P. Cui., Q. Wang, "Influence of structure of the reinforcement in C/C composite on its friction and wear behavior", *Proc. Conf. Carbon 2002*, Shanxi Chungin Audio-Visual Press Ed., Beijing, 15-19 Sept. 2002.
- ©UBMA - 2018

- [12] M. Godet “The third body approach, a mechanical view of wear”, *Wear* 100, 1984, pp. 437-452.
- [13] Y. Berthier, M. Godet, The Third Body Concept Interpretation of Tribological Phenomena. Tribology Series, 31 Editor: D. Dowson Proceedings of the 22nd Leeds-Lyon Symposium on Tribology held in the “Laboratoire de Mécanique des Contacts”, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France, 5th-8th September 1995, 760 pages.
- [14] Y. Berthier, « Background on friction and wear” in Lemaître *Handbook of Materials Behavior Models*, Academic Press, Section 8.2. 2001, pp. 676-699
- [15] S. Descartes, Y. Berthier, “Rheology and flows of solid third body: background and application to an MoS_{1.6} coating”, *Wear*, 252, 2002, pp. 546-556.
- [16] F.M. Kustas, R.R. Hanson, J.L. Summer, “Tribological performance of 3D carbon-carbon composite », *Composites Part I: Ambient Environment, Lubrication Engineering*, 1995, Vol. 51. (7), pp. 599-604.
- [17] K. Anand, V. Gupta, «The effect of processing conditions on the compressive and shear strength of 2D carbon-carbon laminates », *Carbon*, 1995, vol. 33, N° 6, pp. 739 - 748
- [18] I. Benbrinis, B. Redjel » Caractérisation expérimentale physico mécanique et étude tribologique des sabots de frein en matériau composite C/C à matrice organique des wagons SNCF », *Revue « Nature & Technologie ». A- Sciences fondamentales et Engineering*, n° 16/ Janvier 2017, pages 01 à 12.
- [19] G. R. Devi, K. R. Rao, “Carbon-carbon composites – an overview”, *Defence Science Journal*, 43, 4, 1993, pp. 369-383.
- [20] C. Taylor, “Carbon matrix composites » *Comprehensive Composite Materials*, A. Kelly, C. Zweben, R. Warren (Eds), Pergamon Press, 4, 2000, pp. 387- 426.
- [21] M. Beaumont, T.N. Farris, C.T. Sun, « Scratch testing of advanced composite surfaces », *Composites Part A*, Vol. 28A, 1997, pp. 683-686.
- [22] B.S. Tripathy, M.J. Furey, «Tribological behavior of unidirectional graphite-epoxy and carbon-PEEK composites ». *Wear*, Vol. 162-164, 1993, pp. 385-396.
- [23] B. Suresha, G. Chandramohan, « Effect of normal load and sliding velocity on friction and wear behavior of carbon fiber reinforced epoxy composites ». *Journal of reinforced plastics and composites*, Vol. 26, 2007, pp. 1695-1703.
- [24] H.H. Shim, O.K. Kwon, S.R. Youn, «Effects of fiber orientation and humidity on friction and wear properties of graphite fiber composites », *Wear*. Vol. 157, 1992, pp. 141-149.
- [25] X. Ning, M.R. Lovell, « On the sliding friction characteristics of unidirectional continuous FRP composites ». *Journal of tribology*, Vol. 124, 2002, pp. 5-13.
- [26] O. Smerdova, A. Le Bot, J. Cayer-Barrioz, B. Sarbaev, “Frottement des matériaux composites polymères a renfort de fibre de carbone : expériences et modélisation”, *AMAC- Comptes Rendus des JNC 17 – Poitiers-futuroscope 15-17 Juin 2011, France*, pp.178. <hal-00597754>.
- [27] D. T. Pham, A. Gavrus, H. F. Tancillette” Conception d'un nouveau test de frottement pour le forgeage à froid par extrusion et études tribologiques d'un alliage d'aluminium” *20ème Congrès Français de Mécanique CFM 20*, Besançon, 29 Août au 2 Septembre 2011, France.
- [28] O. Roussette, Y. Desplanques, G. Degallaix, M. Minet, Y. Gallo « Comportement tribologique en freinage à haute énergie de garnitures en matériaux organiques ».
- [29] F. Gorisse, «Essais et contrôle des bétons », Editions Eyrolles, Paris, France, 1978.
- [30] F. Gorisse, «Les essais mécaniques » in le béton hydraulique, Presses de l'ENPC, Paris, France, 1982, pp. 379-381.
- [31] F. Chellali, B. Redjel, “La pratique des essais destructifs : l'essai d'écrasement du béton », *Algérie – Equipement, Revue Technique de l'ENTP*, N° 41, Mai 2006, pp. 16-20.

Sommaire

Un algorithme hybride pour la résolution du problème de partitionnement matériel/logiciel Mourad Khetatba & Rachid Boudour.....	1
Elaboration of AISi13 Casting Alloys modified using Directional Solidification Processing Khadouja Ghedjati, Eric Fleury, Ouanassa Guellati & Youcef Samih.....	14
Réseau sur puce sans buffer pour les applications de codage vidéo : étude de cas H.264/AVC Hichem Mayache, Salah Toumi, El Bey Bourennane & Atef Benhaoues.....	25
Effets du compost de filao (<i>Casuarina equisetifolia</i>) enrichi sur les rendements des cultures maraichères dans la zone des Niayes au Sénégal Mamoudou Abdoul Touré, Saliou Ngom, Elhadji Faye, Diaminatou Sanogo & Malaïny Diatta.....	39
Technologies, qualité et importance socioéconomique du poisson séché en Afrique Hissein O. Abdoullahi, François Tapsoba Flibert Guira, Cheikna Zongo, Lawane Idriss Abakar, Abdelsalam Tidjani & Aly Savadogo.....	49
Valorisation et étude phytotoxicologique des eaux d'irrigation à partir des eaux usées, sur deux cultures (tomate industrielle et haricot vert) Mourad Lazhar Bouzou, Chaabene Rahmoune, Ratiba Seridi & Moussa Houhamdi.....	64
Etude de quelques expressions morpho- physiologiques chez trois génotypes de blé dur pour la sélection à la tolérance au déficit hydrique Houda Benmounah & Louhichi Brinis.....	78
Le plan d'occupation des sols (POS Sud) de Guelma:Un projet urbain et des éléments influents Mohammed Cheraitia & Mokhtar Makhoulf.....	87
Impact de la pollution agricole sur la qualité des eaux souterraines dans le périmètre irrigué Guelma-Boucheouf (Nord Est Algérien) Mounira Touati, Moussa Benhamza & Fatma Bouhafs	103
Qualité des eaux brutes du barrage Hammam Debagh, Wilaya de Guelma (Nord-Est Algérien) Nadjette Zeghaba, Abdelaziz Laraba & Mohamed Mahia.....	113
Analyse aéroélastique des paliers à structure à feuilles en régime stationnaire Youcef Amine Masmoudi & Ammar Haiahem.....	122
Modélisation numérique bidimensionnelle de l'effet de chargements des revêtements de tunnels circulaire et non circulaire en présence d'écoulement Said Kechida, Farid Bouchelghoum, Fares Laouacheria & Hocine Amarchi.....	138
Alterations in concrete samples due to Alkali-Carbonate-Reaction 'ACR' Nadjette Rehamnia, Mohamed Fouzi Habita, Fouzia Bouabdallah & Nouredine Ferhoune.....	153
Simulation and optimization of realized traction factor of belt conveyor Naima Djouema & Ali Belhamra.....	170
Maintenance Function Audit According to ISO 9001/2008 Standart Case Study TSS (Arcelor-Mittal) Annaba-Algeria Mounira Djemai, Elias Hadjadj Aoul & Messaoud Bouakkaz.....	183
Effets de la vitesse du brassage et du taux du renfort sur la structure et les propriétés d'un composite A356/SiC_p moulé. Mohamed Hacini & Allaoua Chibani.....	208
A Computational Simulation of bending fatigue in spur gear with profile modification Tarek Maifi, Rabah Bourenane & Rabia Khelif.....	209
Comportement à la corrosion des alliages TiNi et TA6V4 dans la salive artificielle et performance d'usure Soumaya Meddah, Hacène Chadli, Said Boudebane & Samia Lemboub.....	222
Experimental characterization of friction wear and mechanical behavior of train wagon brake shoes made of carbon/carbon (C/C) composite material with an organic matrix Issam Benbrinis & Bachir Redjel.....	235