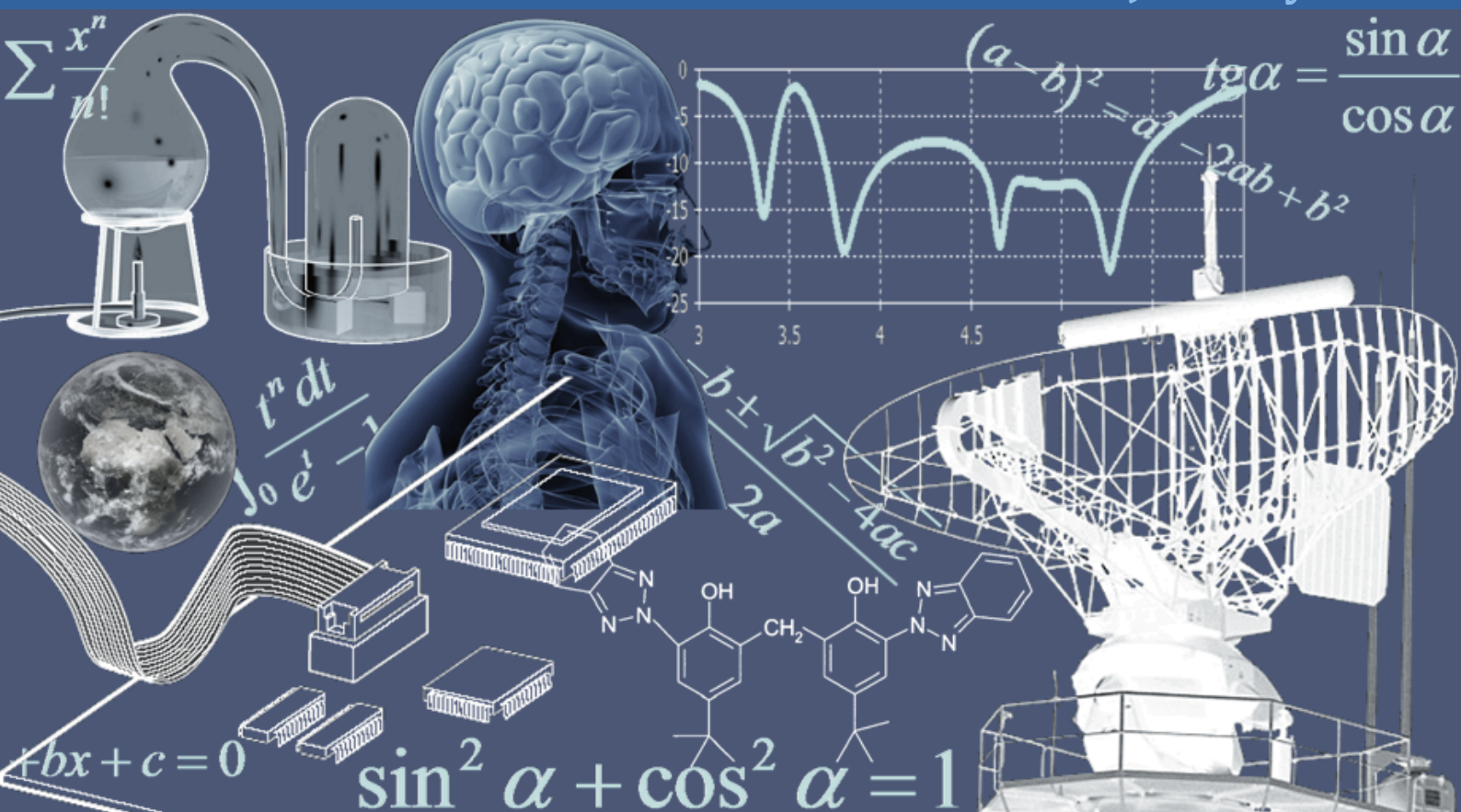


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 2 N. 1 January 2013



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Applied Studies

International Journal of Innovation and Applied Studies (ISSN: 2028-9324) is a peer reviewed multidisciplinary international journal publishing original and high-quality articles covering a wide range of topics in engineering, science and technology. IJIAS is an open access journal that publishes papers submitted in English, French and Spanish. The journal aims to give its contribution for enhancement of research studies and be a recognized forum attracting authors and audiences from both the academic and industrial communities interested in state-of-the art research activities in innovation and applied science areas, which cover topics including (but not limited to):

Agricultural and Biological Sciences, Arts and Humanities, Biochemistry, Genetics and Molecular Biology, Business, Management and Accounting, Chemical Engineering, Chemistry, Computer Science, Decision Sciences, Dentistry, Earth and Planetary Sciences, Economics, Econometrics and Finance, Energy, Engineering, Environmental Science, Health Professions, Immunology and Microbiology, Materials Science, Mathematics, Medicine, Neuroscience, Nursing, Pharmacology, Toxicology and Pharmaceuticals, Physics and Astronomy, Psychology, Social Sciences, Veterinary.

IJIAS hopes that Researchers, Graduate students, Developers, Professionals and others would make use of this journal publication for the development of innovation and scientific research. Contributions should not have been previously published nor be currently under consideration for publication elsewhere. All research articles, review articles, short communications and technical notes are pre-reviewed by the editor, and if appropriate, sent for blind peer review.

Accepted papers are available freely with online full-text content upon receiving the final versions, and will be indexed at major academic databases.

Table of Contents

Compact Cylindrical Dielectric Resonator Antenna excited by a Microstrip Feed Line	1-5
Carbonatación de estructuras de hormigón ubicadas en ambiente urbano y rural	6-15
Mortality in Moroccan children: Study of geographic distribution	16-20
Degré de Pertinence de la politique de ciblage d'inflation: Aspect pratique de l'expérience des banques centrales des pays industrialisés et adaptabilité pour quelques pays en voie de développement et en transition	21-33
A Novel Method for Delamination Detection in Composites	34-42
A Novel Approach of Shape Optimization in Spoke Type Permanent Magnet Motors	43-49
An experimental and Finite Element analysis of radii and skew effects on interior permanent magnet motors performance	50-60
Evaluation des propriétés hydrauliques des aquifères de socle cristallin et cristallophyllien: Cas de la région du N'zi-Comoé (Centre-Est de la Côte d'Ivoire)	61-71
Rules of origin in preferential agreements: favorable factor or constraint to trade? Case of the agreement between the United-States and Morocco	72-82
Caractérisation des moûts et bières du <i>Sahel</i> houblonnés avec <i>Vernonia amygdalina</i> et <i>Nauclea diderrichii</i>	83-91

Compact Cylindrical Dielectric Resonator Antenna excited by a Microstrip Feed Line

Rabih Rahaoui and Mohammed Essaïdi

Information and Telecommunication Systems Laboratory,
Faculty of Sciences, Abdelmalek Essaadi University
Tetouan, Morocco

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This letter proposes a novel compact cylindrical Dielectric Resonator Antenna excited by a microstrip feed line. The matching bandwidth is 16.9 – 21.523 GHz and the maximum radiation gain are 9.08 dBi at 17.474 GHz, 12.42 dBi at 18.715 GHz, 12.51 dBi at 19.8 GHz and 10.65 dBi at 20.986 GHz. The performance of the dielectric resonator antenna is simulated by electromagnetic simulator CST Microwave Studio.

KEYWORDS: Dielectric resonator antenna, matching bandwidth, microstrip, compact antenna.

1 INTRODUCTION

In recent years, Dielectric resonator antennas (DRAs) have received broad attentions in various applications due to their attractive features in terms of high radiation efficiency, low dissipation loss, small size, low profile, and light weight [1]-[6]. They were originally proposed by the professor S. A. Long [7], and over last decades, many bandwidth enhancement techniques have been developed [8].

In this letter, we present a new design of a compact cylindrical Dielectric Resonator Antenna. Details of the simulated results exhibiting the characteristics of the studied antenna are presented and discussed.

2 ANTENNA DESIGN

The proposed configuration of the compact cylindrical Dielectric Resonator Antenna excited by a microstrip feed line is depicted in Fig. 1. The DRA is fabricated by using Rogers RO3010 with relative permittivity $\epsilon_{r1} = 10.2$, with radius $R = 5$ mm and height $H = 2$ mm. The developed prototype is printed on a FR-4 dielectric substrate with a relative dielectric constant $\epsilon_{r2} = 4.3$ and a thickness of 0.794 mm (t). The length and width of the microstrip feed line are $L1 = 34$ mm and $W1 = 1.56$ mm, and the length and width of wide strip are $L2 = 11$ mm and $W2 = 3$ mm. The DRA is placed on the substrate such that the wider edge of the microstrip line coincides with the DRA's center [9].

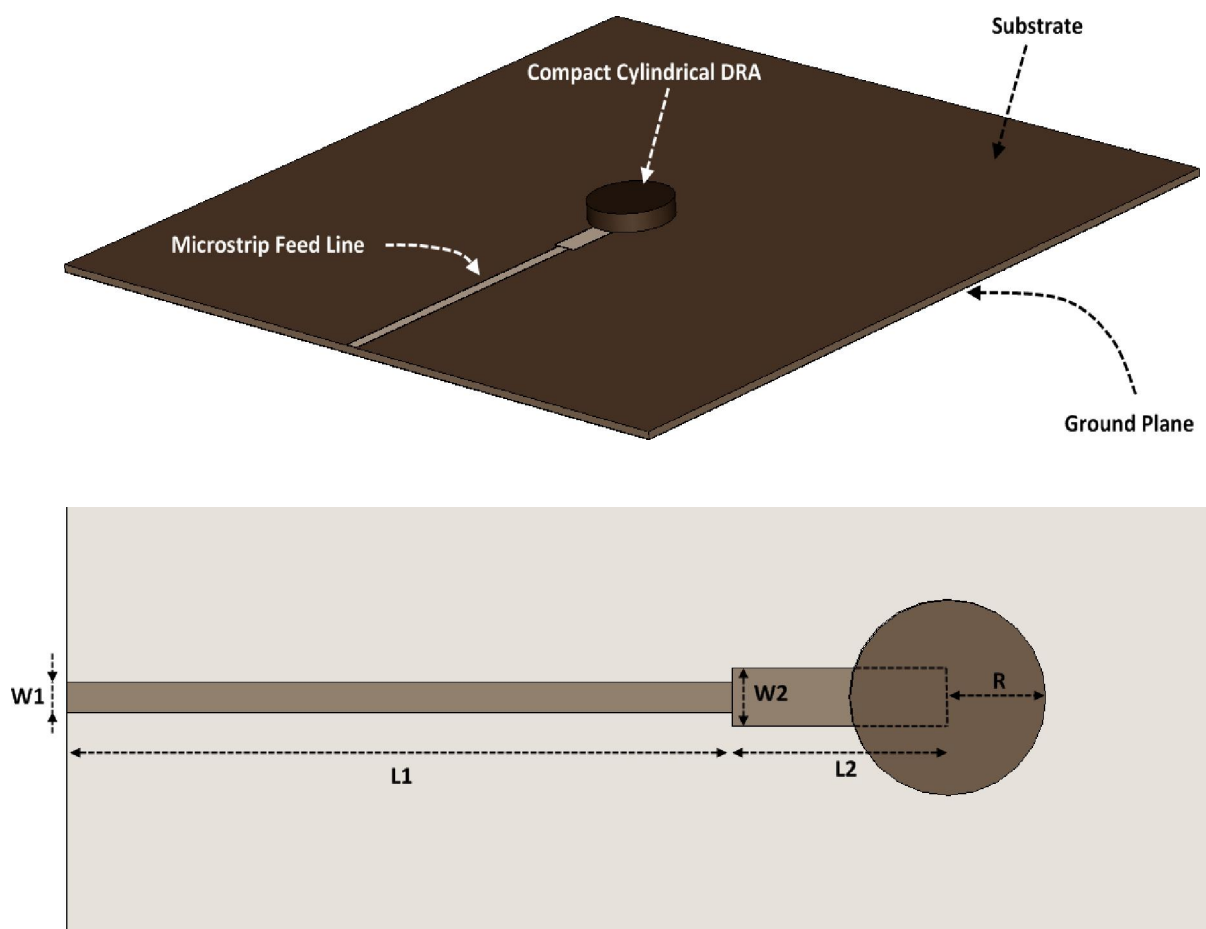


Fig. 1. The geometry of the proposed antenna

The bottom of the dielectric is completely covered by foil and grounded. The ground plane dimensions are 90 mm by 90 mm and the metal cladding is $mc = 0.05$ mm.

3 RESULTS

Fig. 2 shows simulated return loss of the proposed compact cylindrical Dielectric Resonator Antenna. So, we can notice that for the DRA provides an impedance matching bandwidth in excess of 24.06%. Moreover, four modes are excited: 17.474 GHz, 18.715 GHz, 19.8 GHz, and 20.986 GHz.

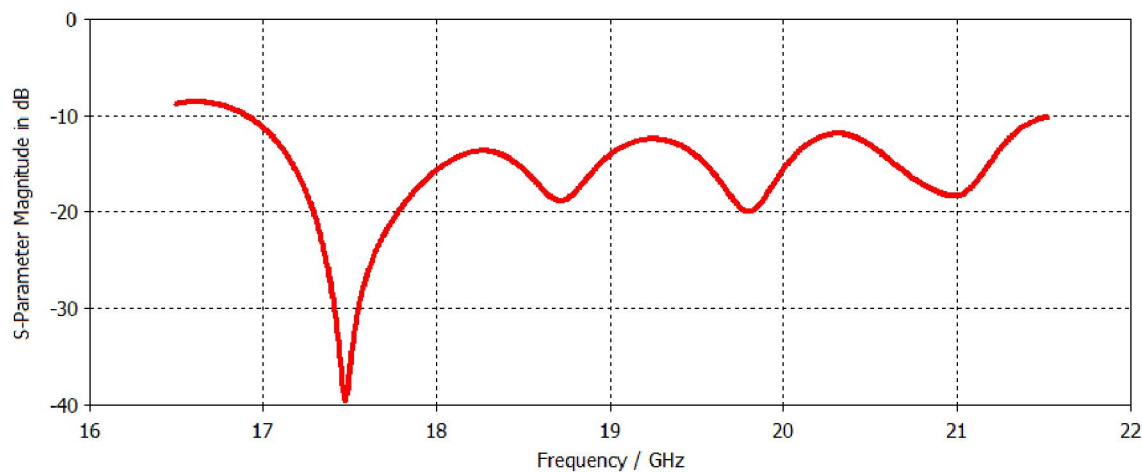


Fig. 2. Reflection coefficient for the cylindrical DRA

Fig. 3 shows the realized gain of the proposed antenna computed using CST Microwave Studio. The maximum obtained gains are 9.08 dBi at 17.474 GHz, 12.42 dBi at 18.715 GHz, 12.51 dBi at 19.8 GHz and 10.65 dBi at 20.986 GHz.

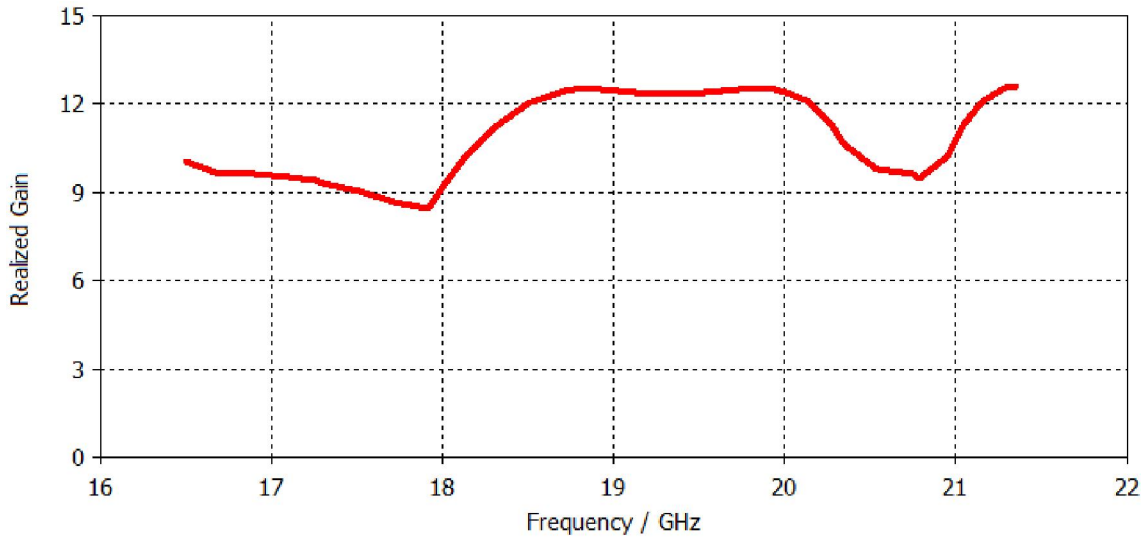


Fig. 3. Simulated realized gain of the proposed antenna

Fig. 4 shows the simulated VSWR of the proposed antenna using CST Microwave Studio. It is clearly that the VSWR is less than 2 along the matching band.

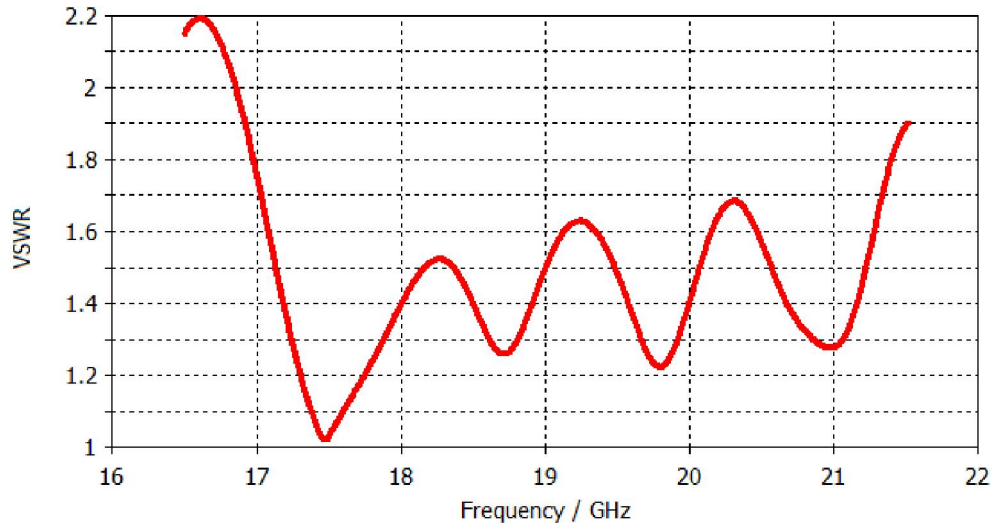


Fig. 4. Simulated VSWR of the proposed antenna

Figures 5, 6, 7 and 8 represent the radiation patterns of the proposed antenna in the x-z, y-z and x-y planes at 17.474 GHz, 18.715 GHz, 19.8 GHz and 20.986 GHz respectively.

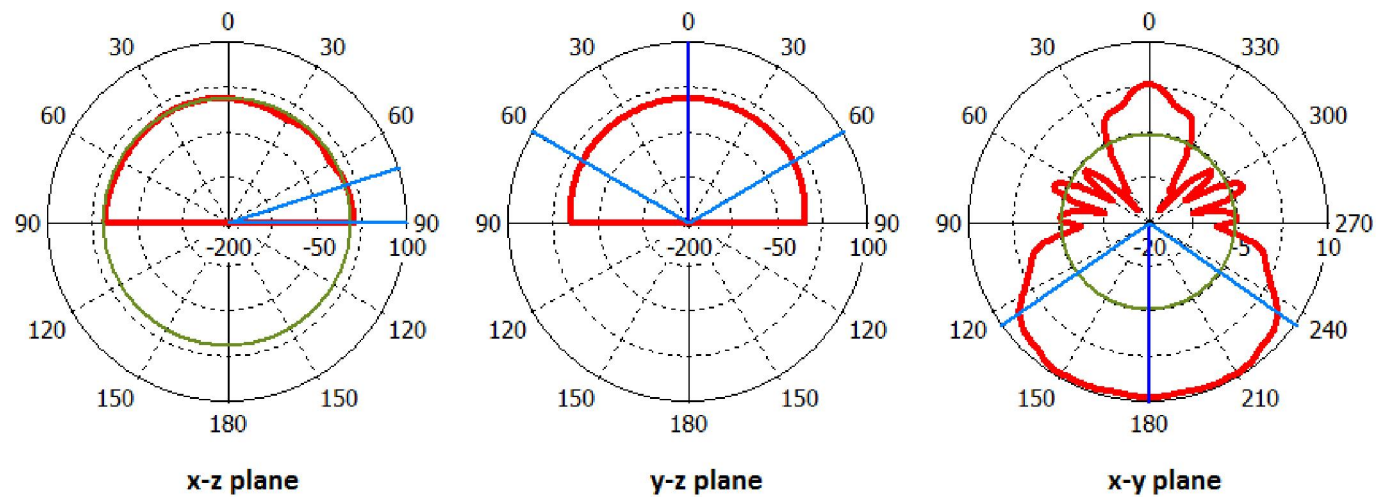


Fig. 5. Simulated radiation patterns of the proposed antenna at 17.474 GHz

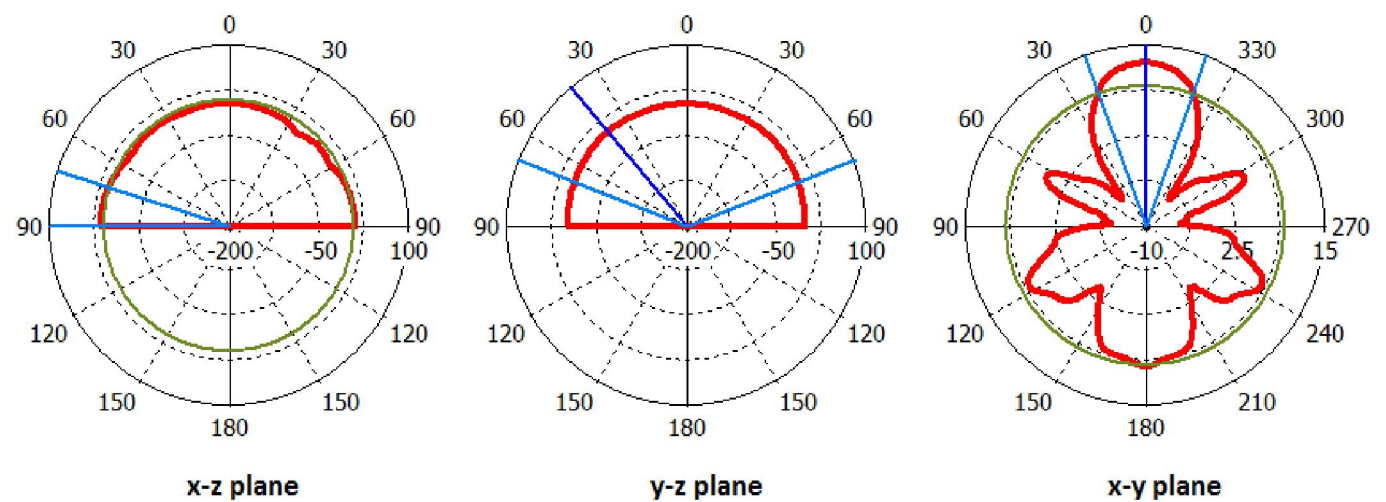


Fig. 6. Simulated radiation patterns of the proposed antenna at 18.715 GHz

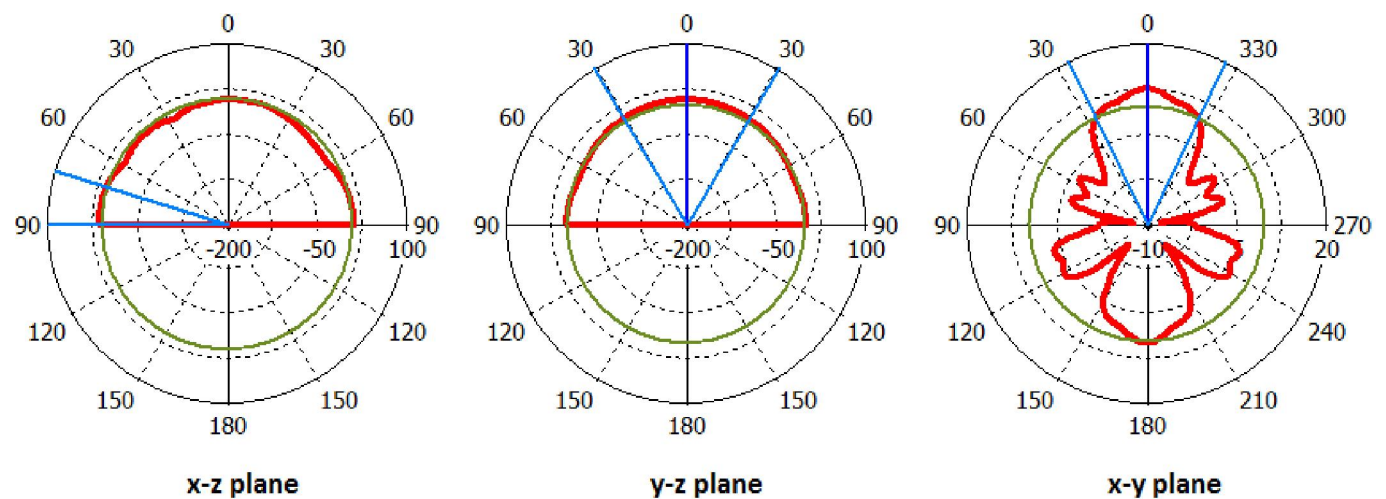


Fig. 7. Simulated radiation patterns of the proposed antenna at 19.8 GHz

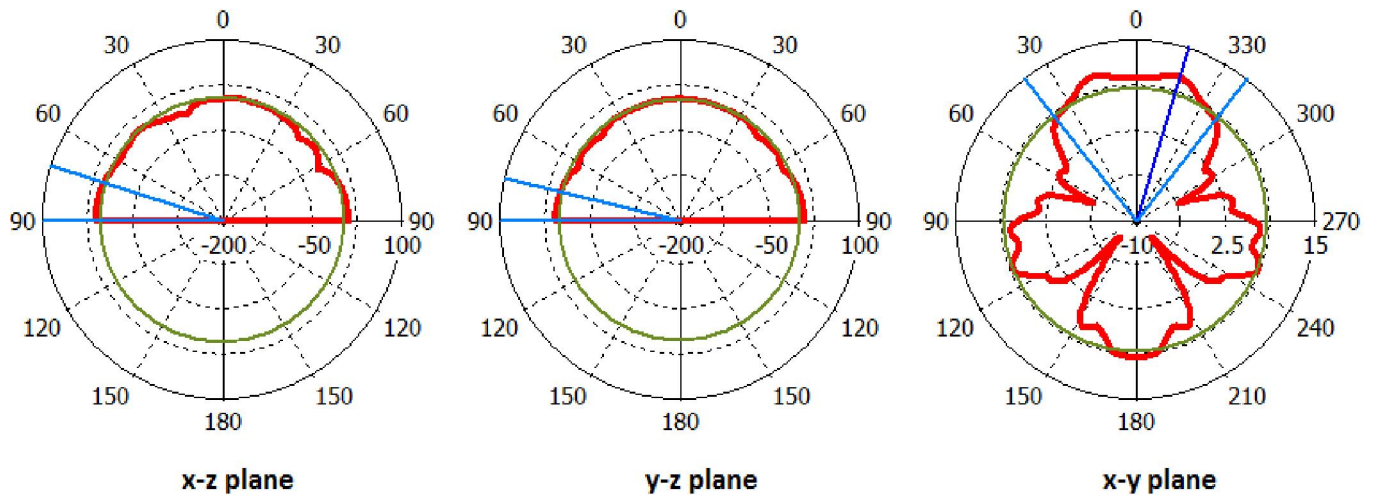


Fig. 8. Simulated radiation patterns of the proposed antenna at 20.986 GHz

It is observed that the radiation patterns in x-z and y-z are unidirectional, however, in the x-y plane are almost omnidirectional for the four resonance frequencies.

4 CONCLUSION

In this paper, a novel compact dielectric resonator antenna having cylindrical topology and excited by a microstrip feed line, for [16.50 - 21.55] GHz frequencies band applications is proposed. The return losses coefficient and the radiation patterns of the suggested antenna design are presented. As results, this antenna has a bandwidth in excess of 24.06 % (between 16.9 and 21.523 GHz). The maximum radiation gain obtained is 12.51 dBi at 19.8 GHz.

REFERENCES

- [1] Drossos, G., Wu, Z. and Davis, L.E., "A comparative study of circular microstrip and cylindrical dielectric resonator antennas," *Antennas and Propagation, Tenth International Conference on (Conf. Publ. No. 436)*, vol. 1, pp. 38-42, 1997.
- [2] Kishk, A. A., Yan Yin and A. W. Glisson, "Conical Dielectric Resonator Antennas for Wideband Applications," *IEEE Transactions Antenna and Propagations*, vol. 50, pp. 469-474, 2002.
- [3] Kishk, A. A., "Elliptic Dielectric resonator Antenna for Circular Polarization with Single Feed," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 37, no. 6, pp. 454-456, 2003.
- [4] Kishk, A. A., "Experimental Study of Broadband Embedded Dielectric Resonator Antennas Excited by Narrow Slot," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 4, 2005.
- [5] Mongia, R. K., Ittipiboon, A. and M. Cuhaci, "Measurement of Radiation Efficiency of Dielectric Resonator", *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 4, no. 3, pp. 80-82, 1994.
- [6] Qinghua Lai, Georgios Almpanis, Christophe Fumeaux, Hansruedi Benedickter, and Ruediger Vahldieck, "Comparison of the Radiation Efficiency for the Dielectric Resonator Antenna and the Microstrip Antenna at Ka Band", *IEEE Transactions Antennas and Propagation*, vol. 56, no. 11, pp. 3589-3592, 2008.
- [7] Long, S. A., McAllister, M.W., and L. C. Shen, "The resonant cylindrical dielectric cavity antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 31, no.5, pp. 406-412, 1983.
- [8] Qinjiang Rao and Tayeb A. Denidni, "Study of Broadband Dielectric Resonator Antennas", *Progress In Electromagnetics Research Symposium 2005*, Hangzhou, China, August 22-26, pp. 137-141, 2005.
- [9] M. Saed and R. Yadla, "Microstrip-fed low profile and compact dielectric resonator antennas," *Progress In Electromagnetics Research, PIER 56*, pp. 151-162, 2006.

Carbonatación de estructuras de hormigón ubicadas en ambiente urbano y rural

[Carbonation of concrete structures located in urban and rural environment]

C. Priano y L. Señas

Engineering Department,
Universidad Nacional del Sur,
Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective of this investigation was to study the effect of carbonation on two reinforced concrete structures of 42 and 60 years old, located on two different environments: urban and rural. Samples of concrete were taken, the carbonation depth was measured and density, absorption and porosity tests were performed. The carbonation process can be modeled by the equation of the square root of time. From that model, the carbonation constant for each sample was calculated, the progress of the carbonation depth versus time was plotted and the correlation between porosity and depth of carbonation was analyzed. It was verified the existence of different microclimates surrounding structural elements. The moisture content of the surrounding surface of each structural element is the most important factor affecting the progress of carbonation.

KEYWORDS: Durability, concrete, carbonation, environment, microclimate.

1 INTRODUCCIÓN

El concepto de diseño por performance mediante requisitos que vinculan el desempeño de la estructura con el medio de exposición y las características del hormigón de recubrimiento, en especial, su calidad evaluada a través de la conectividad de su estructura porosa, está siendo incluido en varios códigos y reglamentaciones de diversos países. Los más avanzados en este sentido, son Australia, Nueva Zelanda, Canadá, Sudáfrica y la Unión Europea, siendo Australia el país que se destaca como líder en el uso de especificaciones prestacionales [1]. El planteo de diseño prestacional requiere establecer un modelo matemático de predicción de la vida en servicio, basado en conocimientos científicos, para cada uno de los procesos de degradación. Además, requiere la búsqueda y calibración de métodos de ensayo que permitan cuantificar las variables incluidas en dicho modelo de predicción. En base a esta necesidad, surge el concepto de “indicadores de durabilidad” [2] como aquellas propiedades medidas en el hormigón que puedan reflejar aspectos de la microestructura o del transporte de moléculas e iones en su interior.

El punto más cuestionado en el diseño por durabilidad, quizás por lo difícil que resulta implementarlo en la práctica, es el referido a definir la velocidad de ingreso del agresivo a través del hormigón mediante modelos sencillos y accesibles que permitan inferir, con cierta fiabilidad, la vida en servicio conforme al proceso de deterioro que prevalece [3]. No obstante existen avances al respecto. La Federación Internacional del Hormigón (fib) ha publicado en el Boletín 34 “Model Code for Service Life Design” [4], un enfoque probabilístico para el diseño por durabilidad según distintos procesos de deterioro, con la intención de incorporar el material contenido en dicho documento, en el Código Modelo de la fib (Model Code for Service Life Design). Otro avance es el introducido por la Instrucción del Hormigón Estructural [5] que regula el proyecto y ejecución de las estructuras de hormigón en España. La nueva Instrucción EHE presenta distintos aspectos relevantes vinculados a la durabilidad, en particular se incluyó un anexo en el que se establecen pautas para la comprobación del estado límite de durabilidad cuando la degradación se debe a la corrosión inducida por cloruros o carbonatación del recubrimiento.

Las barras de acero embebidas en el hormigón se encuentran protegidas de la corrosión por dos efectos: la elevada alcalinidad de la fase acuosa y el efecto barrera que proporciona el recubrimiento del propio hormigón aislándolas del medio exterior. Una de las causas fundamentales de la pérdida de esta capacidad protectora debido a la disminución de la alcalinidad del hormigón de recubrimiento, es la carbonatación, que genera un ataque en forma homogénea por toda la superficie de las barras de refuerzo y produce una corrosión generalizada semejante al que se da en la atmósfera, con la diferencia que en este caso, las armaduras quedan recubiertas por el hormigón que retiene agua en sus poros, prolongando los tiempos de humectación. El responsable de este proceso es el dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera que ingresa a la masa del hormigón a través de la red de poros interconectados con el exterior y en presencia de agua, transforma al hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) en carbonato de calcio (CaCO_3).

Para que se produzca la carbonatación, el contenido de humedad es fundamental. Si los poros están completamente secos, el CO_2 no podrá reaccionar, y si están completamente saturados, su penetración será muy lenta debido a la baja solubilidad del CO_2 en el agua. Sólo cuando los poros están parcialmente llenos de agua (entre 50% y 80%) se dan las condiciones óptimas para la carbonatación [6]. La velocidad de carbonatación puede ser lenta si la estructura se somete a mojados periódicos. Por ejemplo, en el caso de las paredes externas de un edificio, la velocidad de carbonatación será mucho mayor en el área protegida de la lluvia que en el área no protegida. La exposición de los edificios conduce a diferencias significativas: la superficie que está orientada de tal manera que quede abrigada de la lluvia y secada por el sol, se carbonata mucho más que las superficies horizontales protegidas del sol y sometidas al agua de lluvia [7]. La porosidad del hormigón es otro parámetro muy importante, ya que los poros capilares de menor tamaño están generalmente saturados de humedad y por tanto inaccesibles a la carbonatación.

La carbonatación es un proceso de difusión y por lo tanto su progreso en el interior del hormigón se atenúa con el tiempo. La velocidad de avance del frente carbonatado es de vital importancia para calcular el tiempo que tardará éste en llegar hasta la armadura y dar inicio a la despasivación en forma generalizada como consecuencia de la disminución del pH. La velocidad de avance es función fundamentalmente de: el contenido de humedad del hormigón, su porosidad (relación a/c) y su contenido en materia alcalina carbonatable. El modelizado de la carbonatación, a los fines prácticos, puede ser realizado mediante la simple ley de la raíz cuadrada del tiempo [8]:

$$x_c = k_c \cdot t^{1/2}$$

donde k_c representa una constante de carbonatación que depende de las características del hormigón y del medio ambiente, t es el tiempo de exposición y x_c es la profundidad del frente carbonatado que se puede detectar fácilmente mediante la pulverización de una solución de fenofaleína, la cual hace virar la superficie tratada a un color rosa-púrpura cuando el hormigón no está carbonatado, mientras que las zonas carbonatadas, con pH del orden de 9/10, permanecen incoloras. Si se conoce la edad de una estructura y se mide la profundidad del frente carbonatado en diferentes elementos estructurales, se pueden calcular las constantes de carbonatación de cada muestra analizada en forma experimental, mediante la ecuación de la raíz cuadrada del tiempo. A partir de dicha constante, se puede graficar el avance del proceso de carbonatación en función del tiempo para cada una de las muestras. Si además, se incluye el recubrimiento de las armaduras, se puede visualizar la edad estimada en que se produjo la despasivación de las armaduras o bien estimar el tiempo restante para que ello ocurra.

En el presente trabajo se analizaron dos obras de hormigón armado emplazadas en diferentes ambientes y se estudió el proceso de carbonatación desarrollado en diversos elementos estructurales. La concentración de CO_2 en el aire es uno de los parámetros que afecta directamente el proceso de carbonatación y es el que define el grado de agresividad del medio ambiente, el cual condiciona el comportamiento en servicio de la estructura.

La primera de las obras relevadas está emplazada en un ambiente urbano con un ligero aumento del contenido de dióxido de carbono, originado en la combustión del parque automotor. Es el ambiente que prevalece en áreas densamente pobladas, sin industrias significativas y con diferentes grados de contaminación que dependen del desarrollo de la ciudad y las medidas de control implementadas por el gobierno de la misma. Una situación particular se da en ambientes bajo techo o interiores que no están ventilados ya que pueden contener humos, los que en presencia de condensación o de humedad elevada, resultan altamente corrosivos.

La segunda de las estructuras analizadas está emplazada en un ambiente rural que no contiene contaminantes químicos agresivos al hormigón armado. Esta situación se puede considerar en aquellas zonas en las que, dentro de un radio de 5 km, no existan fábricas, industrias pesadas, grandes zonas urbanas y no estén próximas al litoral marítimo. Es de esperar que, en el corto plazo, sea la menos afectada por procesos corrosivos.

La obra emplazada en el ambiente urbano es una estructura de hormigón armado de la ciudad de Bahía Blanca (centro-este de la República Argentina), donde los valores de concentración de CO_2 son del orden de 413 ppm [9]. En el ambiente

rural se relevó un conjunto de siete puentes situados sobre la Ruta Provincial Nº 51, a unos 60 km al oeste de la ciudad de Bahía Blanca, emplazados sobre el río Sauce Grande y su valle de inundación. En mediciones realizadas en los puentes relevados se han detectado diferencias entre la concentración determinada sobre el tablero y debajo de él. El valor promedio correspondiente a la parte superior es de 346 ppm (promedio de 4 determinaciones y un desvío Standard de 6 ppm) y en la parte inferior es de 365 ppm (promedio de 4 determinaciones y un desvío Standard de 14 ppm). Debe recordarse que la concentración depende del parque automotor, de la densidad poblacional y de la existencia de un área industrial, siendo también significativa la influencia de los vientos la cual puede aumentar o disminuir la concentración de CO₂ [10].

El clima predominante en la región es semiárido templado, con una temperatura media anual de 15° C y con una precipitación media de 700 mm. La energía solar, que en el ambiente rural durante la mañana evapora el rocío y derrite el agua congelada, es absorbida en las ciudades en forma directa por los edificios. De allí que la humedad relativa dentro del área urbana, es siempre menor que la registrada en la periferia rural. Las islas de calor también producen células convectivas que pueden estar asociadas a patrones de difusión de contaminantes y a un incremento en las precipitaciones dentro de la ciudad [11]. Los vientos predominantes son del cuadrante norte y noroeste (sector continental) para las cuatro estaciones del año. La circulación atmosférica regional imprime a Bahía Blanca, pese a su localización costera, características continentales. Este hecho se manifiesta por la fuerte amplitud térmica anual y por el dominio de los vientos. Si bien la agresividad del ambiente varía con el esquema de vientos que modifican la presencia y contenidos de contaminantes, la diferencia de concentración entre los dos ambientes relevados coincide con datos publicados en otros trabajos [12]-[13], en los cuales las determinaciones en el ambiente urbano son aproximadamente un 15% superiores comparadas con aquellas correspondientes al área rural.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ESTRUCTURA EMPLAZADA EN AMBIENTE URBANO

La estructura relevada en el ambiente urbano fue construida en 1968. Se diseñó con dos subsuelos, planta baja y nueve pisos, pero apenas terminado el esqueleto de hormigón, se canceló el proyecto y recién en el 2012 se concluyó la obra. En el año 2010 se realizó un relevamiento para constatar el estado de conservación de la estructura. Las vigas, losas y columnas internas del edificio se encontraban en buen estado de conservación, teniendo en cuenta el tiempo transcurrido desde su ejecución (Figura 1.a). Aquellas zonas que sufrieron la acción del escurrimiento del agua de lluvia, por ejemplo las vigas del hueco de la escalera, mostraban signos de un proceso de corrosión avanzado (Figura 1.b). Las losas en donde se acumulaba el agua, sufrieron un desprendimiento del hormigón de recubrimiento, dejando a la armadura de refuerzo expuesta (Figura 1.c). En algunos sectores se evidenció el intento de remediar parcialmente dicha situación mediante el colado de un mortero cementiceo (Figura 1.d). En el subsuelo se pudo constatar la acumulación de agua y residuos sobre las bases de las columnas (Figura 1.e).

Se calaron testigos en columnas y losas, de 10 cm de diámetro y altura variable entre 16 y 29 cm, según los diferentes elementos estructurales relevados. Al momento de la extracción de los testigos Nº 1 y Nº 2, se evidenció un zunchado de hormigón simple de aproximadamente 6 cm de espesor. En el caso particular del testigo Nº 1, dicha zona se desprendió al momento de calado, ya que estaba pobremente adherida a la sección original (Figura 1.f)

2.2 ESTRUCTURA EMPLAZADA EN AMBIENTE RURAL

Se estudió un sector de la ruta provincial Nº 51, en la zona denominada "Bajo San José" o "7 puentes". Los puentes fueron construidos a mediados de la década del '50 y están emplazados sobre el río Sauce Grande y su valle de inundación. A fines del 2006, se llevó a cabo un relevamiento visual y muestreo del hormigón de pilas, vigas, superficie de rodamiento y estribos de los siete puentes, inclusive uno antiguo de vigas metálicas, con estribos de hormigón, construido en la década del '30, que se encuentra desactivado a la vera del camino. Del relevamiento realizado se constataron las siguientes situaciones:

- Muros "de vuelta" totalmente separados de estribos sin poder contener al terraplén: las alas de los estribos estaban constituidas por tablestacas de hormigón unidas únicamente, en su parte superior, por una viga de vinculación o encadenado. En varios sectores se encontró la armadura de estos encadenados cortada, dejando al muro "de vuelta" totalmente separado del estribo (Figura 2.a).
- Corrosión de las armaduras de refuerzo en vigas, losas de tablero y pilas: en algunos sectores, se observó un estado de corrosión generalizado (Figura 2.b).
- En concordancia con los sectores humedecidos por agua de lluvia liberada por los drenajes ubicados en vigas exteriores, se observó una corrosión generalizada de las armaduras y el consecuente desprendimiento del hormigón de

recubrimiento. Las vigas interiores, que no sufrieron procesos de mojado y secado, se encontraron en buenas condiciones (Figura 2.c).

- Espesores de recubrimiento mínimos: en algunas zonas donde el hormigón de recubrimiento se había desprendido totalmente, se pudieron medir los espesores, los cuales resultaron muy variables. El máximo espesor medido fue de 30 mm y el mínimo de 10 mm. Esta situación genera una condición riesgosa para las armaduras de refuerzo, ya que es el recubrimiento del hormigón el que le provee una barrera física contra la penetración de agentes agresivos desde el exterior.
- Diseño inadecuado de los drenajes: éstos no facilitaban la rápida evacuación del agua de lluvia, y permitieron que circule por la superficie del hormigón (Figura 2.d).
- Postes de hormigón de las barandas vehiculares y peatonales: las armaduras presentan un estado avanzado de corrosión, el que se puede apreciar en la figura 2.e.

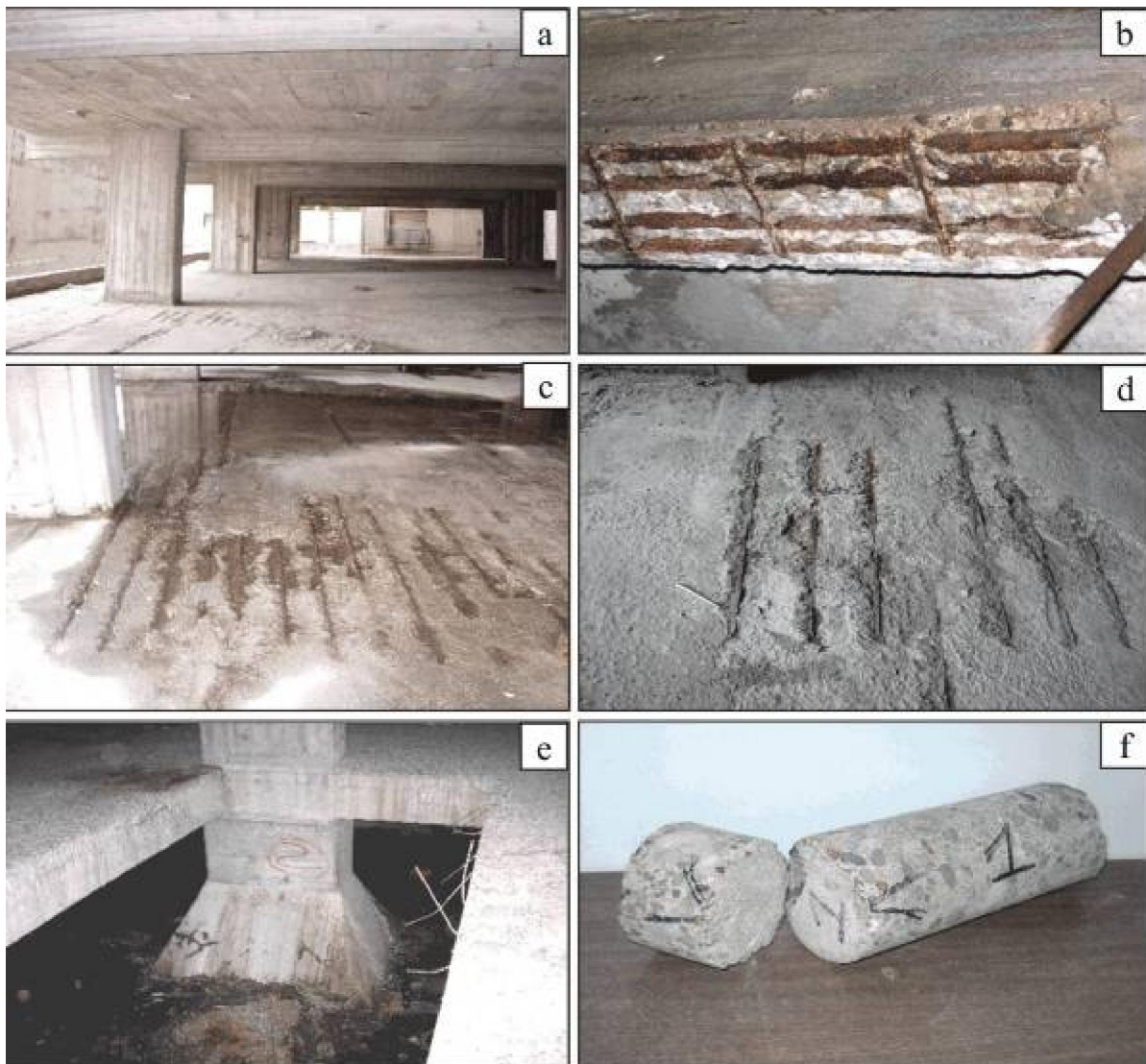


Fig. 1. Relevamiento de la estructura emplazada en ambiente urbano

- a: vigas, losas y columnas internas, en buen estado de conservación.*
b: avanzado proceso de corrosión en las armaduras de las vigas del hueco de escalera.
c: armadura de refuerzo expuesta en las losas donde se acumula agua de lluvia.
d: evidencias de reparaciones parciales mediante colado de mortero cementiceo.
e: acumulación de agua y residuos en contacto con las bases de columnas.
f: desprendimiento del zunchado de hormigón simple al momento de calar el testigo N°1.



Fig. 2.Relevamiento de los puentes de la ruta Provincial Nº 51

a: muro de vuelta separado del estribo.

b: corrosión generalizada con pérdida de sección en armaduras de refuerzo.

c: corrosión generalizada de las armaduras en concordancia con los drenajes ubicados en vigas exteriores. Vigas interiores en perfecto estado de conservación.

d: diseño inadecuado de drenajes que no evacuan eficazmente el agua de lluvia.

e: corrosión de las armaduras en los postes de hormigón de las barandas vehiculares y peatonales.

f: puente antiguo fuera de servicio (con más de 70 años de edad).

Con el hormigón de cada una de las muestras de ambas obras, se realizaron ensayos de densidad, absorción y porosidad, según lo establecido en la norma ASTM C642-97 [14] y se midió la profundidad del frente carbonatado mediante pulverización con fenolftaleína en solución alcohólica al 1%, sobre la superficie del hormigón recientemente expuesta. Mediante la ecuación de la raíz cuadrada del tiempo se calculó la constante de carbonatación (k_c) teniendo en cuenta la edad de cada una de las estructuras en años (t) y la profundidad de carbonatación en milímetros (x_c) medida sobre la superficie del

hormigón. Una vez obtenida la constante k_c , se graficó el avance del proceso de carbonatación en función del tiempo para cada una de las muestras.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La ubicación de los elementos estructurales muestreados en las dos obras relevadas, con las respectivas denominaciones, se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Ubicación y denominación

Ambiente	Muestra	Ubicación
Urbano	C1	columna zunchada subsuelo
	C2	columna zunchada subsuelo
	C3	columna interna
	C4	columna interna
	C5	columna interna
	C6	columna externa
	L7	losa con acumulación de agua
	L8	losa central
	L9	losa cercana perímetro externo
	L10	losa cercana hueco escalera
Rural	P1	Pila Puente 4
	P2	Estribo Puente 2
	P3	Tablero Puente 3
	P4	Viga Puente 4
	PV	Estribo Puente viejo

Los valores de densidad, absorción y porosidad, la profundidad de carbonatación medida en cada muestra (x_c) y la correspondiente constante de carbonatación (k_c) calculada mediante la ecuación de la raíz cuadrada del tiempo, en función de la edad de cada una de las respectivas estructuras, se detallan en la Tabla 2.

Más de la mitad de las determinaciones de porosidad y absorción resultaron significativamente elevadas (mayor a 15% y 5%, respectivamente), lo que indica que estas muestras de hormigón tienen alta probabilidad de desarrollar patologías debido a la facilidad que presentan para el ingreso de sustancias agresivas desde el medio exterior.

La compacidad del hormigón es el factor más importante que gobierna la capacidad de resistir la penetración del agua que transporta un agente agresivo. El criterio de evaluación establece que si el porcentaje de porosidad es menor al 10%, la calidad del hormigón es alta; entre 10% y 15%, es buena y finalmente si es mayor a 15%, la calidad es baja [6]. Los elevados valores de porosidad presentados por los hormigones estudiados, facilitan el ingreso de humedad y oxígeno hasta las barras de acero, favoreciendo el proceso de carbonatación que acelera la despasivación de la película protectora de las armaduras.

El menor valor de porosidad y absorción de las muestras tomadas en el ambiente rural, corresponde al hormigón del puente antiguo, que posee más de 70 años de edad, el cual se encuentra fuera de servicio (Figura 2.f). Los mayores valores de porosidad (superiores a 20%) corresponden a las muestras tomadas en los demás puentes.

Los valores de profundidad de carbonatación, para los elementos estructurales estudiados arrojaron diferencias significativas. Los hormigones de las columnas del subsuelo (testigos C1 y C2), resguardadas del agua de lluvia, presentaron los valores más elevados de profundidad de carbonatación, aunque la armadura no presentó signos de corrosión dado el recubrimiento que tienen dichas columnas luego de la reparación mediante el zunchado y la mínima disposición de humedad. En comparación con los hormigones de losas (en algunas con acumulación de agua de lluvia), las columnas interiores presentaron valores de penetración mayores. Sin embargo el proceso de corrosión más avanzado se dio en las losas debido al escaso recubrimiento de sus armaduras y a la presencia de humedad constante.

Tabla 2. Densidad, absorción, porosidad, profundidad y constante de carbonatación

Ambiente	Muestra	Densidad (g/cm ³)	Absorción (%)	Porosidad (%)	x _c (mm)	k _c (mm/año ^{0,5})
Urbano	C1	2,39	7,1	18,5	45	6,94
	C2	2,38	7,4	19,3	40	6,17
	C3	2,35	6,8	18,1	31	4,63
	C4	2,37	6,5	16,9	38	5,86
	C5	2,44	5,3	13,5	30	4,63
	C6	2,45	6,1	15,2	28	4,32
	L7	2,43	3,7	11,3	15	2,31
	L8	2,37	5,7	13,8	22	3,39
	L9	2,43	4,1	11,8	20	3,09
	L10	2,39	4,6	12,5	19	2,93
Rural	P1	2,32	13,1	27,0	31	4,00
	P2	2,23	10,7	21,8	10	1,29
	P3	2,24	9,6	20,1	11	1,42
	P4	2,30	11,7	23,9	22	2,84
	PV	2,42	7,8	17,4	5	0,56

En la Figura 3 se observa el progreso del frente carbonatado de las columnas y losas estudiadas de la estructura emplazada en ambiente urbano, calculado a partir de los respectivos coeficientes de carbonatación. Se incluyó en la gráfica, los diferentes espesores de recubrimiento (columnas de subsuelo: 60 mm, columnas: 36 mm y losas: 10 mm), para poner de manifiesto la edad estimada en que se produjo o producirá la despasivación de las correspondientes armaduras.

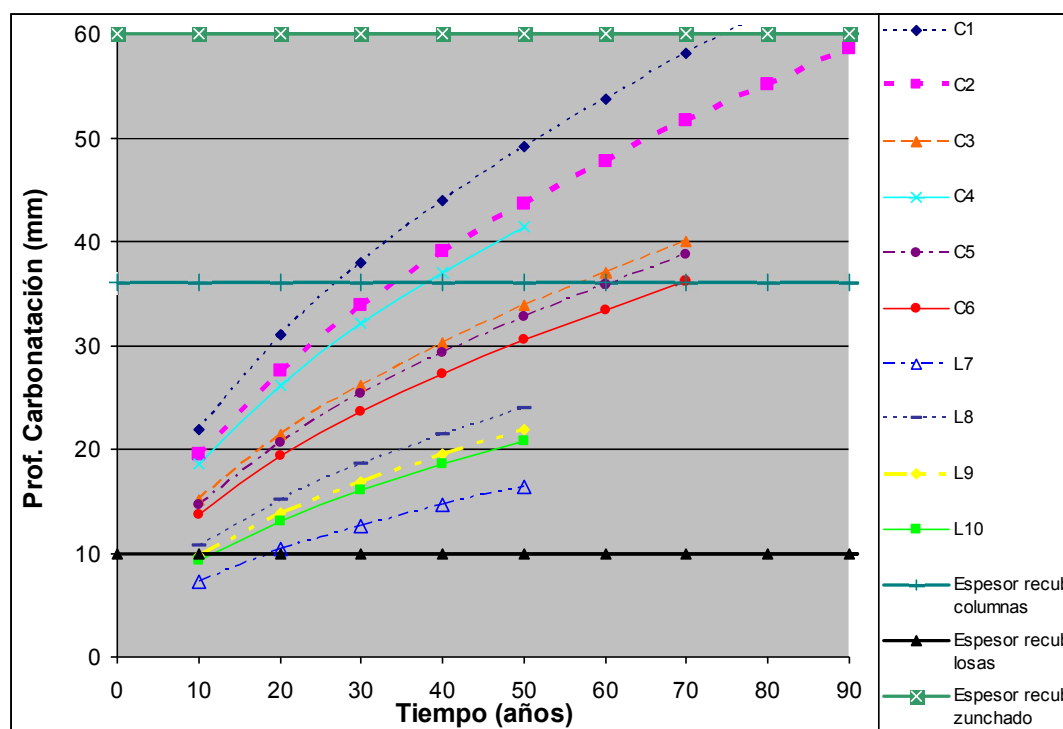


Fig. 3. Progreso de la carbonatación en la estructura emplazada en ambiente urbano

En la mayoría de los testigos extraídos de losas se puede apreciar el lento progreso de la carbonatación (constantes de carbonatación en el orden de $3 \text{ mm/año}^{0.5}$) pero a la vez, el escaso recubrimiento generó un prematuro inicio en la despasivación de las armaduras a partir de los 12 años de edad. Por otro lado, en la mayoría de las columnas interiores con constantes de carbonatación superiores, el considerable recubrimiento impide que el frente carbonatado llegue a las armaduras luego de 44 años de vida en servicio. De acuerdo al modelo, las armaduras de C3 y C5 permanecerían en estado pasivo durante más de 60 años. Algo similar sucede con las columnas del subsuelo, que aún manifestando los mayores valores de velocidad de carbonatación, tardarían más de 70 y 90 años, respectivamente, en perder su pasividad debido al proceso de carbonatación.

En la Figura 4 se observa el avance del frente carbonatado de los elementos estructurales estudiados de los puentes emplazados en el ambiente rural, con sus respectivos espesores de recubrimiento. El puente más antiguo es el que presenta la menor velocidad de carbonatación. La prolongada vida en servicio se puede asociar a la calidad del hormigón, en especial el de recubrimiento, el cual presentó un valor significativamente bajo de la constante de carbonatación.

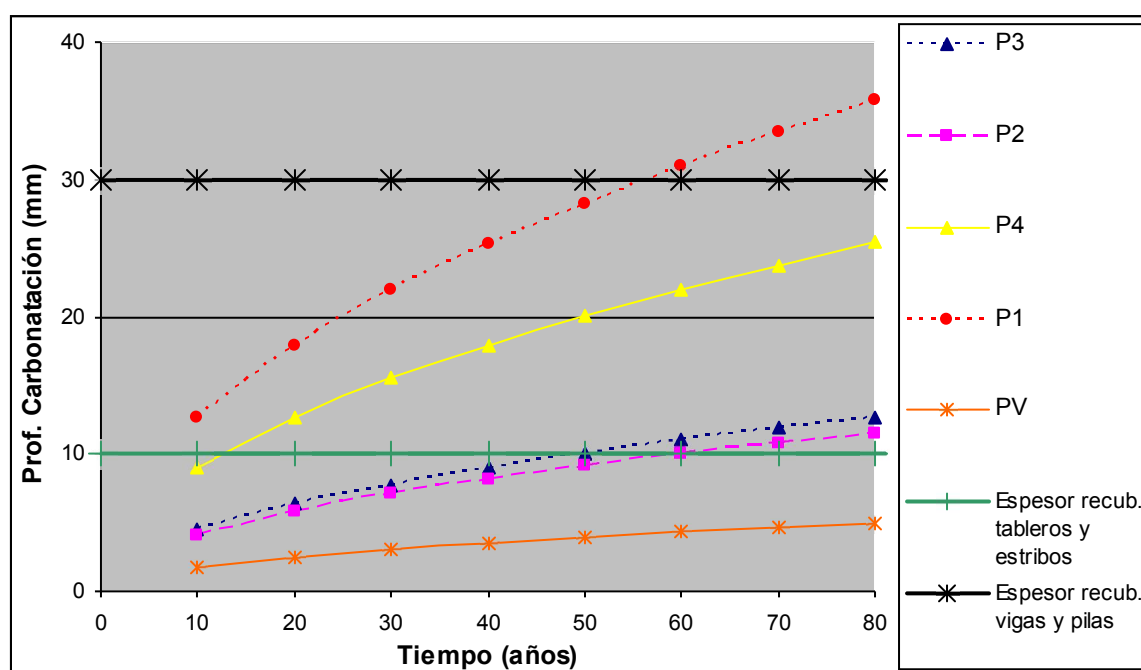


Fig. 4. Progreso de la carbonatación en los puentes emplazados en ambiente rural

En el caso del tablero del puente 3 (P3) y el estribo del puente 2 (P2), con escasos espesores de recubrimiento (10 mm), el frente carbonatado tardó más de 50 años en llegar debido a la baja velocidad de penetración del agresivo (constantes de carbonatación menores que $1,5 \text{ mm/año}^{0.5}$). A diferencia de la pila del puente 4 (P1) que presentó la constante de carbonatación más elevada ($4 \text{ mm/año}^{0.5}$) pero debido al considerable espesor de recubrimiento, el frente carbonatado también tardó más de 50 años en llegar a la armadura. Para el hormigón de la viga del puente 4 (P4), el frente de carbonatación aún no ha llegado a la armadura y según el modelo predictivo, esta situación se daría dentro de 50 años más de vida en servicio.

En todos los puentes analizados, el valor de porosidad que presentaron las muestras resultó elevado (más de 20%, excepto el puente viejo). A igualdad de hormigón, el factor distintivo sería el microclima que rodea cada uno de estos elementos estructurales.

En el tablero del puente 3 (P3) y el estribo del puente 2 (P2), en contacto directo con el agua de lluvia y expuestos a la radiación solar, se obtuvieron menores profundidades de carbonatación en el hormigón que en la pila y la viga del puente 4 (P1 y P4). En este último caso, el hormigón de la pila se encuentra resguardado de las lluvias y expuesto solamente a la humedad ambiente, de tal manera que los tiempos en los cuales éste permanece seco, son más prolongados, permitiendo una mayor penetración del dióxido de carbono. Aunque el frente carbonatado haya llegado a las armaduras, no hay signos visibles de corrosión debido a la falta de humedad suficiente para que este proceso se desarrolle. En el caso del hormigón de la viga del puente 4, que corresponde a una zona humedecida por agua de lluvia liberada por un drenaje mal diseñado, la

situación es diferente, ya que se observan signos de un proceso de corrosión avanzado. Esto se debe a la lixiviación de los productos cálcicos del hormigón superficial por donde escurre el agua del drenaje.

En la Figura 5 se grafica la correlación entre la profundidad de carbonatación, medida en los diferentes elementos estructurales y la correspondiente porosidad del hormigón para las obras emplazadas en ambiente urbano y rural.

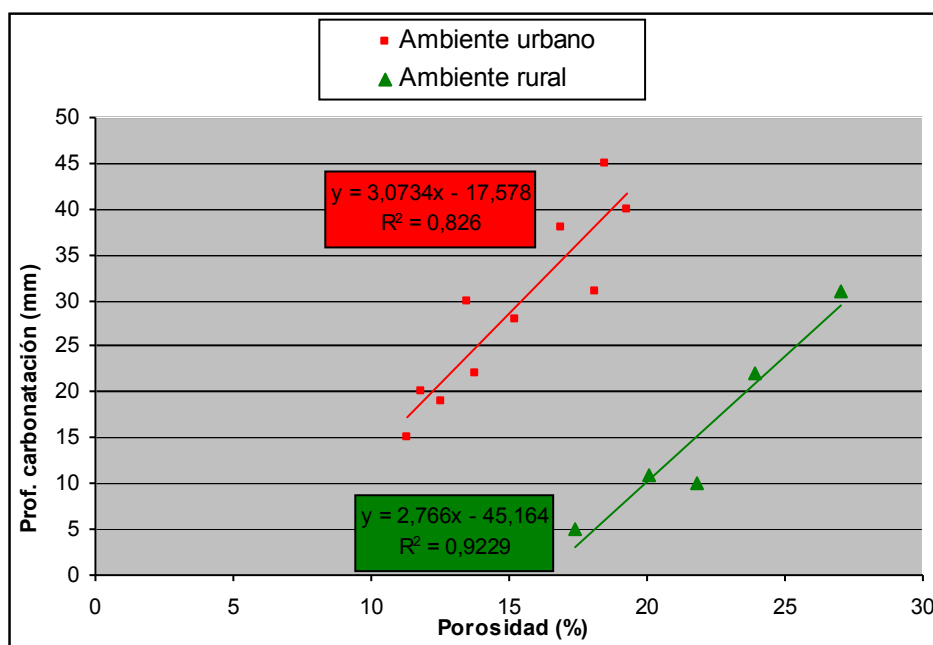


Fig. 5. Correlación entre profundidad de carbonatación y porosidad

En forma conjunta no se observa una tendencia en la relación entre ambos parámetros, pero si se analizan los valores de cada estructura independientemente, se puede apreciar una tendencia lineal en dicha relación e inclusive se observa una similitud en las pendientes de las rectas. En todos los casos, el hormigón de mayor porosidad presentó una mayor profundidad de carbonatación. La porosidad del hormigón es un parámetro adecuado para la evaluación de la tasa de degradación por carbonatación que los mismos sufren en distintos ambientes de exposición.

Las diferencias para cada estructura analizada están relacionadas a los factores que gobiernan el proceso de carbonatación además de la porosidad del hormigón, como por ejemplo las condiciones microclimáticas que rodean al hormigón, humedad relativa, concentración de CO_2 en el ambiente, tiempo de exposición y tipo de cemento empleado.

El hormigón correspondiente a la estructura del ambiente urbano es el que mayores valores de penetración del frente carbonatado presentó. Este hecho puede asociarse a la mayor concentración de CO_2 en cercanías de la estructura dado que está emplazada en el centro de la ciudad de Bahía Blanca. A diferencia del hormigón de los Puentes de la Ruta Nº 51, que sufrió un avance de carbonatación de menor orden pero con valores de porosidad muy elevados e inclusive en un período de tiempo de exposición al CO_2 mucho mayor.

4 CONCLUSIÓN

Se observaron procesos de corrosión de armaduras por carbonatación y lixiviación en estructuras emplazadas en ambientes de moderada agresividad, como lo son el urbano y el rural. Esta situación, que afecta directamente la durabilidad de la estructura, se debe al insuficiente espesor de recubrimiento, mala compactación y diseños inadecuados o falta de mantenimiento, que impidieron el correcto escurrimiento del agua.

Se comprobó que el deterioro depende del microclima de exposición, ya que éste varía para diferentes zonas de un mismo elemento estructural. Esta diferencia de microclimas en un mismo ambiente de exposición se ha visto reflejada en los distintos valores de profundidad de carbonatación. Por ejemplo, el hormigón que se encuentra resguardado de lluvias y expuesto solamente a la humedad ambiente, presentó mayor penetración de dióxido de carbono que aquel hormigón en contacto directo con el agua de lluvia y expuestos a la radiación solar. En ambos casos el avance en el proceso de corrosión

por carbonatación, es función de la humedad disponible en cercanías de la superficie del hormigón, que puede ser favorecido por un mal diseño de drenajes.

Los resultados indican claramente que hormigones con muy alta porosidad (mayor del 20%) permiten el desarrollo de procesos corrosivos en ambientes no agresivos. A pesar de las diferencias de concentraciones de CO₂ en los dos ambientes relevados, se registró una relación lineal entre porosidad y profundidad de carbonatación en las dos estructuras analizadas. El ensayo de porosidad podría ser un indicador del desempeño futuro del hormigón cuando está expuesto a ambientes en los que puede producirse corrosión por carbonatación. Este ensayo, conjuntamente con el de capilaridad, permitiría calificar la prestación del hormigón frente a distintos mecanismos de ingreso de sustancias a la masa.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen los datos suministrados por personal del LEMIT-CIC en referencia a las determinaciones de dióxido de carbono en el ambiente rural.

REFERENCIAS

- [1] J. Bickley, R. Hooton and K. Hover, "Performance specifications for durable concrete", *Concrete International*, vol. 9, pp. 51-57, 2006.
- [2] V. Baroghel-Bouny, "Which toolkit for durability evaluation as regards chloride ingress into concrete? Part II: Development of a performance approach based on durability indicators and monitoring parameters". *Proceedings of 3rd International Workshop "Testing and modelling chloride ingress into concrete"*. Madrid, Spain, pp. 137-163, 2002.
- [3] L. Eperjesi, E. Ferreira Hirschi and A. Vicente, "Avances en la normalización de la resistencia a la carbonatación de estructuras de hormigón armado". *I Congreso Hormigón Premezclado de las Américas 2010, XII Congreso Iberoamericano del Hormigón Premezclado, IV Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón y 18° Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón*. Mar del Plata, Argentina, 8 pág., 2010.
- [4] fib Bulletin 34, "Model code for service life design". *Internacional Federation for Structural Concrete (fib)*, Switzerland, 110 pág., 2006.
- [5] EHE-08, "Instrucción del hormigón estructural". Suplemento del Boletín Oficial del Estado Nº 203, España, 304 pág., 2008.
- [6] CYTED, "Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado". *Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo*, 208 pág., 1998.
- [7] P. Garcés Terradillos, M. Climent Llorca and E. Zornoza Gómez, "Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado". Editorial Club Universitario, España, 126 pág., 2008.
- [8] L. Traversa, "Corrosión de armaduras en atmósferas rurales, urbanas, marinas e industriales". *Durabilidad del hormigón estructural*. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, pp. 217-257, 2001.
- [9] L. Traversa, A. Di Maio and J. Sota, "Metodología de evaluación de patologías en estructuras de hormigón armado". *Revista Hormigón*, H49, pp. 29-39, 2011.
- [10] L. Traversa, "Corrosión de armaduras en el hormigón armado: una problemática del patrimonio moderno". *2do. Congreso Iberoamericano y X Jornada "Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio"*. La Plata, Argentina, 12 pág., 2011.
- [11] A. Capelli, M. Piccolo and A. Campo, "Clima urbano de Bahía Blanca". Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, 200 pág., 2005.
- [12] K. George, L. Ziska, J. Bunce and B. Quebedeaux, "Elevated atmospheric CO₂ concentration and temperature across an urban-rural transect". *Atmospheric Environment*, vol. 41, pp. 7654-7665, 2007.
- [13] S. Talukdar, N. Banthia, J. Grace and S. Cohen, "Carbonation in concrete infrastructure in the context of global climate change: Part 2 – Canadian urban simulations". *Cement and Concrete Composites*, vol. 34, pp. 931-935, 2012.
- [14] ASTM C642, "Standard test method for density, absorption and voids in hardened concrete". American Society for Testing and Materials, 3 pág., 1997.

Mortality in Moroccan children: Study of geographic distribution

Hassan Barouaca^{1,2}

¹Biology Department,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University,
Faculty of Sciences, PB: 1796,
Fez, Morocco

²Moroccan Association of Education for Health and Nutrition

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Over the period 1986-1992 the U5MR in urban and rural areas decreased from 97 to 25.42 and from 165 to 35.07‰, respectively. Since 1987, each of the 7 regions has reduced its U5MR by 32.35 %, with the lowest rate of 20.26% for the Eastern region and the highest rate 55.34 % in the South-central region. The disparities in under-5 mortality rate (U5MR) between rural, urban and regions in Moroccan population are persistent. Morocco was at the nearest to meet the Millennium Development Goal 4 (MDG) in urban (25.45 ‰) area, but must make a steady progress towards the attainment of it in rural (35.07 ‰). The rate reduction in U5MR at regional level is at least of 5.3 % putting them well on track to meet MDG 4.

KEYWORDS: Under-5 mortality, trend, region, Morocco.

1 INTRODUCTION

Substantial reductions in child mortality occurred in low-income and middle-income countries in the last 20th century, but more than 10 million children younger than 5 years still die every year [1]-[2]. The highest rates of child mortality continue to be found in sub-Saharan Africa, where, in 2008, one out of seven children died before their fifth birthday. Also, from the 67 countries defined as having high child mortality rates, only 10 are currently on track to meet the Millennium Development Goal (MDG) target. Therefore, many studies have been done to assess the mortality trend at the global level but the big challenge is to measure it at regional level within a country to seek out the inequalities in health and to ensure that the MDGs related to child survival (MDG 4) may be achieved at regional levels. The Moroccan government has set performance targets for reducing under-5 mortality to target the MDG4 at national level.

The pattern of mortality distribution by place of residence (rural, urban and region), and the changes that occur in these patterns are important for development and achievement of the MDGs in the country. Thus, the global momentum and investment for accelerating child survival grow monitoring progress at regional levels has become even more critical. Accordingly, the objectives of this paper were to describe the under-5 mortality trends at regional, urban, and rural areas in Morocco.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 SETTING

The population of Morocco was estimated at about 30 million in 2003, with children below 5 years old representing about 10 % of the total population. More than half (55 %) of the population reside in urban area and this proportion is expected to continue to increase, as urbanization continues.

2.2 METHODOLOGY AND DATA COLLECTION

This study is performed to highlight the trend of under-5 mortality through the exploration of demographic and health representative data survey conducted between 1960 and 2011. We focused on changes in U5MR and their annual rate decline. We are also interested in studying the difference between rural, urban and regional levels. Assessing the changes in mortality trends by analyzing the patterns of infant and under-5 mortality might provide some explanation for the effects of national health policy implementation and their effect in the possibilities of achieving the objectives of MDG 4 (reduce by two-thirds, between 1990 and 2015, the under-5 mortality rate). To achieve these objectives, we tried to homogenize the results, although sometimes the national data surveys are presented differently. Yet, during our study we encountered some limitations; because regional repartition used currently, are different from those used during the eighties. The regional distribution used during the eighties consists of 7 regions, while that of year 2000 consists of 16 regions which limit the comparisons over the time. However, we fixed our analysis on the trend of U5MR and just on the period 1984-1992 and 1984-85 to 2006-07 for regional, urban and rural. The data were drawn from the national representative survey that includes the Demographic Survey run by Center for Demographic Studies and Research (CERED) and Health Surveys conducted by the Ministry of Public Health. The data included information regarding health indicators (under-5 mortality and Infant mortality) and socio-economic indicators such as poverty rate and Gini-index.

3 RESULTS AND DISCUSSION

Table 1. *Distribution of infant and under-five mortality per 1000 births, by regions and areas of residence and their annual rate decline between 1987 and 1992*

	1987		1992		Annual rate decline of under-5 mortality (%)
	Infant mortality (‰)	Under-5 mortality (‰)	Infant mortality (‰)	Under-5 mortality (‰)	
Urban	66.10	81.40	51.90	58.70	5.58
Rural	91.00	137.30	69.30	97.80	5.75
North-west	99.30	131.00	77.30	96.00	5.38
North-central	88.80	127.20	69.80	95.50	4.98
Center	55.90	76.60	50.00	60.40	6.94
Oriental	60.20	90.80	57.60	72.40	4.05
South-central	71.30	109.50	48.90	72.10	11.07
Tensift	87.20	134.90	62.90	85.00	7.40
South	114.10	172.10	70.60	110.70	7.13

The distribution of infant-child mortality by region is reflected in table 1. There is a strong geographic disparity in mortality observed during the period 1987-1992: the observed U5MR range from 58.70 to over 172.10 ‰. We find a quasi-systematic high excess mortality (over 58%) in all regions and exceed the national average rate death (45.8 ‰) during the same period. We also observed the regions with the highest rate; the South region being about two times higher as in Centre region. In the same direction, the IMR varies from 55.9 deaths in Centre to 114.1 deaths in the south Region.

Since 1987, each of the 7 regions has reduced its U5MR by 32.35 %, with the lowest rate of 20.26% for the Eastern region and the highest rate 55.34 % in the South-central region. As we can observe in table 1, there are improvements in U5MR and IMR in all regions over the period 1987-1992. This overall trend also characterizes each region, although at different levels and speeds. The analysis show, also, that annual rate decline of U5MR, at regional level, are at least of 5.3 % and reached 11.07 % in South-central region with the lower pace of reduction in oriental region. Consequently, in except of Oriental region if all regions maintain this annual rate decline of U5MR to 2015 they will be well on track to meet MDG 4.

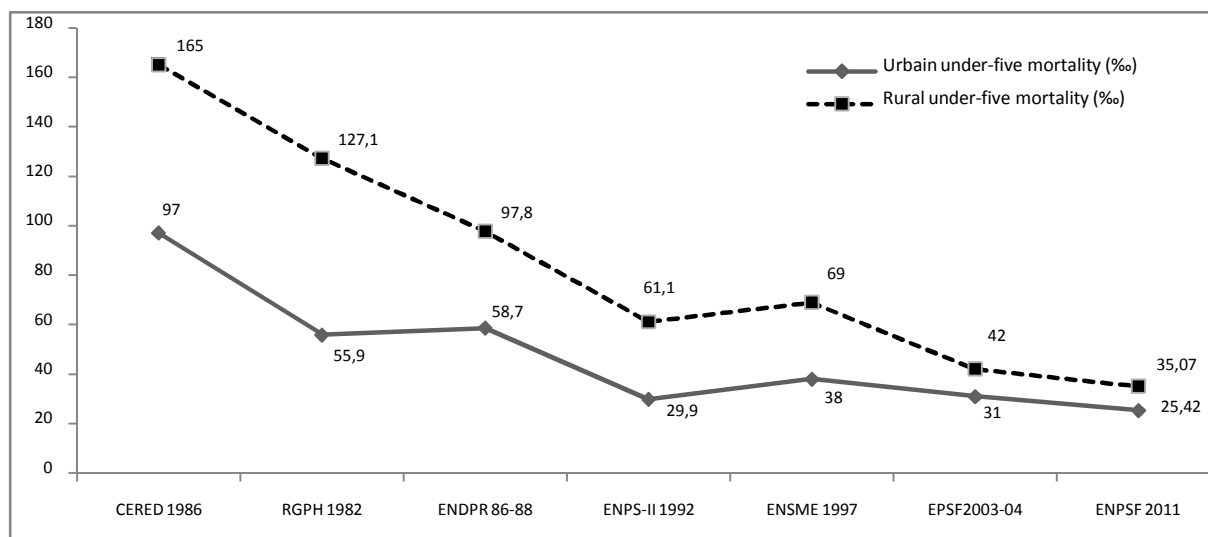


Fig. 1. Urban and rural under-5 mortality trend during the period 1986-2011

Estimated levels of under-5 mortality between 1986 and 2011 in urban and rural areas are shown in figure 1. Results show that urban and rural areas exhibited accelerate and high rate decline of U5MR (62.97% in rural areas vs. 69.17% in urban areas) over the period 1986-1992, succeeded by a slow decline in urban areas 14.98% and rural areas 42.60%, over the period 1992-2011. Generally, rapid gains during 1986-1992 were followed in the 1990s by a widespread deceleration. We suggested, that there are differences in U5MR between urban and rural population, with the rate being almost higher in rural than in the urban population over the period 1986-2011. In the opposite, the rural and urban population experiencing an equal and a rapid annual rate reduction of U5MR with an average of 5.58 % and 5.75 %, successively during the period 1987-1992 (Table 1).

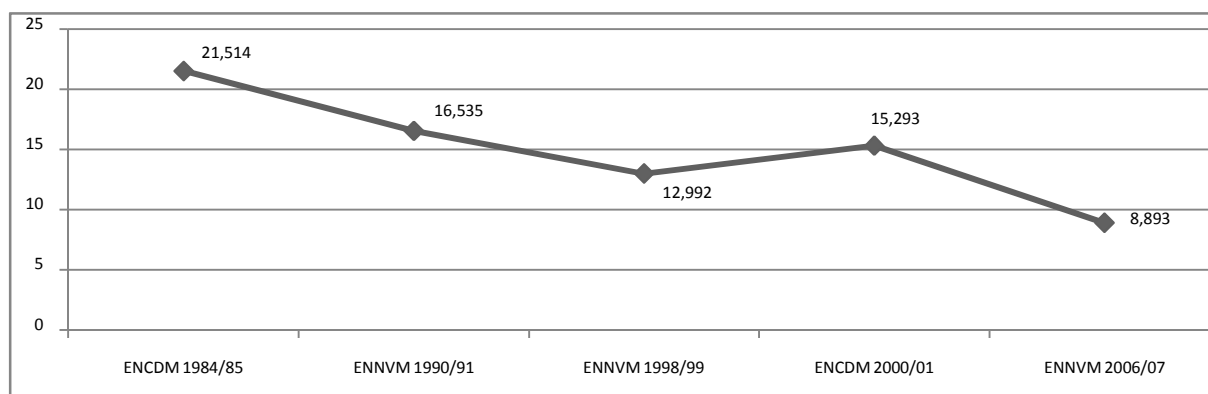


Fig. 2. The trend of poverty rate (%) in Moroccan regions during the period 1984-2007

This improvement in U5MR and IMR at regional, rural and urban levels seem to be due to socioeconomic development. As suggested by R.R Ettarh, and J. Kimani (2012) [3] the household poverty was a key predictor for mortality in rural areas. As we can observe in figure 2, the poverty rate decreased in Moroccan population region during the period 1984-2007. At the same time, the corresponding poverty rate dropped from the range of 21.51 to 8.89%. Also, the Moroccan's Gross National Income per capita increased by a staggering 617.15 % from US\$435.75 in 1980 to US\$2.735 in 2010.

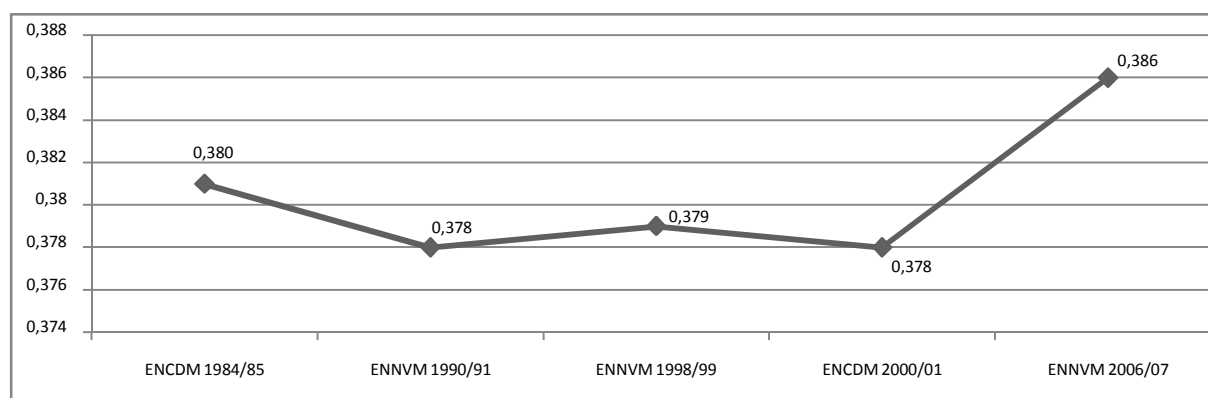


Fig. 3. The trend of annual mean of Gini-index at regional levels during the period 1984-2007

As shown in figure 1, in 2011, the U5MR was lowered to 25.45 % and 35.07 % in urban and rural areas, respectively. The national health objectives for the year 2015 relating to under-5 mortality are to reduce the under-5 mortality rate to 25 %, and 19 % for infant mortality. Nevertheless, in order to reach the fourth MDG U5MR of 25%, more significant efforts are necessary, particularly, in rural areas marked by an abnormally high U5MR; but for urban area Morocco is to the nearest of MDG4.

It is known that the socioeconomic and spatial determinants of health inequities have demonstrated that lower-income and rural populations frequently experience worse child survival rates than their wealthier, more urban counterparts [4]-[5]. In our study, we suggested that improvement in U5MR can't be explained only by economic factor given the relatively low middle income (about US\$2.735 in parity purchasing power). This conclusion is supported by the fact that economic inequality, demonstrated by a trend of Gini-index (Figure 3), wasn't decreased during the period 1984-2007 and it reveals an increase between 2000 and 2007. However, this proves that there are many other factors implicated in this improvement. In my opinion, the progress in mortality is due to the health policy of Morocco that focused its strategy to maintaining this decline by making health care as a priority basic health and a special place was given to vulnerable populations including children and women.

Therefore, we suggested that other studies are needed to understand the relative importance of the variables associated with policy instruments that seek to reduce U5MR in Morocco at regional levels. These studies are important for identifying population groups, for example the poor and hungry, where they live and for defining their characteristics and identifying their needs. Also, they are important for explaining why they fall in the poverty and hunger traps and to pinpoint the policies and actions needed to address them. In this context, identification of other factors behind the U5MR might shed some light on the differences in the rates (and hence the differences in child health) between Moroccan regions, and might help explain why U5MR has fallen faster in some regions than others.

4 CONCLUSION

Unlike to other African countries, Morocco's low U5MR has occurred against a backdrop of sustained economic growth between 1984 and early 2001. There is a clear evidence that Morocco was at the nearest to meet the MDG 4 in urban (25.45 %) area, but must make a steady progress towards the attainment of it in rural (35.07 %) and at regional levels. In spite of this improvement in U5MR, there is a significant disparity of rates across urban, rural and between the regions. Thus, urgent, accelerated and concerted actions are needed to deliver and scale up such interventions to achieve MDG 4 and other health-related goals in rural area and particularly Oriental region that exceed the national level of U5MR. Our finding presented here demonstrates that this can be done if concrete steps are taken and the economic growth may not be a limited factor for progress.

REFERENCES

- [1] O. B. Ahmad, A .D. Lopez, and Inoue, M., "The decline in child mortality: a reappraisal," *Bull World Health Organ*, vol. 78, pp. 1175–91, 2000.
- [2] World Health Organization, "The world health report 2002: reducing risks, promoting healthy life," *Geneva: World Health Organization*, 2002.
- [3] R. R. Ettarh, and J. Kimani, "Determinants of under-five mortality in rural and urban Kenya," *Rural Remote Health*, vol. 12, pp. 1812, 13 Mar 2012.
- [4] C. G. Victora, A. Wagstaff, J. A. Schellenberg, D. Gwatkin, M. Claeson, and J. P. Habicht, "Applying an equity lens to child health and mortality: more of the same is not enough," *Lancet*, vol. 362, pp. 233-41, 2003.
- [5] The World Bank, "Health, nutrition and population sector strategy," *Washington: The World Bank*, 1997.

Degré de Pertinence de la politique de ciblage d'Inflation: Aspect pratique de l'expérience des banques centrales des pays industrialisés et adaptabilité pour quelques pays en voie de développement et en transition

[Degree of relevance of the Inflation Targeting policy: Practical aspect of the central banks experience of industrialized countries and adaptability for some developing and transition countries]

Mohsen Brahmi¹ et Sonia Zouary²

¹Faculty of Economics and Management, University of Sfax,
Campus Zarruk Gafsa IAE, Tunisia

²Head Department of Economics,
Higher Institute of Business Administration,
University of Sfax, Tunisia

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Since the nineties years until nowadays, many industrialized countries adopted the inflation targeting strategy, following per other transition countries thus as other developing countries. In this framework, the monetary authorities are attached to announce an explicit target range of inflation rate foreseen on one or several periods. The inflation targeting requires the strengthening of communication between the monetary authorities and the public what enhance accountability and the discipline of the Central Bank towards its commitment to respect the realization of the objectives announced of its monetary policy in terms of inflation. The monetary authorities must be transparent concerning their monetary policy and will be judged, or even punished on all deviation from the target announced. The station results in a loss of credibility expressed by the economy actors.

Through this paper, firstly, we discuss the theoretical background of this approach to inflation targeting as a new monetary policy rule. To do this, we have tried to practice this new strategy of inflation targeting while presenting its main interests, preconditions, its advantages and unwinding mechanisms. In a second time, we were moving to concrete examples through the main experiences of Industrialized Countries Central Banks, which are in fact the first precursors to incorporate explicit inflation targets in the formulation of monetary policies following this new strategy target, followed by other Transition countries (Czech Republic, Romania ... etc..) and some in developing countries such as Brazil and the Philippines, ... etc. which are actually encouraged by good results achieved by the major Western countries.

KEYWORDS: Inflation Targeting policy, industrialized countries, transition countries, developing countries.

JEL: E52, E58, E42, E31

1 INTRODUCTION

L'étude des stratégies de contrôle de l'inflation est parmi les plus importantes questions d'actualité dans les débats relatifs à la politique monétaire. Plusieurs pas ont opté pour les objectifs intermédiaires comme stratégies pour atteindre la stabilité des prix. Ces objectifs sont, en général, soit un agrégat monétaire, soit le taux de change.

Au début des années quatre-vingt-dix, les banques centrales de plusieurs pays ont adopté un cadre de politique monétaire connu sous le nom de « ciblage de l'inflation » (Direct Inflation Targeting « D.I.T ») pour remédier aux difficultés que soulevaient l'arrimage du taux de change ou le recours à un agrégat monétaire, comme principaux objectifs intermédiaires. Pour se faire, elles se sont fixé un objectif chiffré d'inflation. L'adoption d'un objectif explicite d'inflation tend à responsabiliser la Banque Centrale et à l'encourager à atteindre le but fixé. Ce cadre va favoriser la transparence et aider le public à comprendre les plans et les objectifs des autorités monétaires.

L'efficacité de cette stratégie de politique monétaire est reliée à sa capacité de définir et d'annoncer des objectifs clairs présentant un repère aux anticipations des agents économiques et des opérateurs du marché. Compte tenu des délais d'actions de la politique monétaire sur l'inflation, les autorités monétaires devront expliquer leur stratégie et les facteurs qui influencent leurs décisions de manière claire et fréquente, préalable à l'acquisition d'une véritable crédibilité.

Ainsi, l'adoption d'un objectif de maîtrise d'inflation dans plusieurs pays développés a amené les banques centrales à prendre un certain nombre de mesures dans le but d'atteindre cet objectif et d'accroître leur crédibilité. Les stratégies conçues par les banques centrales des pays occidentaux, qui ont adopté des cibles d'inflation explicites (l'expérience pionnière celle de Nouvelle Zélande), acquies une indépendance vis-à-vis des autorités politiques, et mis en place des mécanismes de transparence vis-à-vis de leur public, ont réussi cette maîtrise et réalisé un haut degré de crédibilité.

Bien que d'autres pays soient en train d'évoluer graduellement dans l'introduction de cette nouvelle approche dans la conduite de la politique monétaire comme les économies en transition (République de Tchèque, la Roumanie, la Pologne, la Hongrie...) et d'autres pays comme le Brésil et la Philippines, certains autres pays en voie de développement connaissent de grosses difficultés dues à leur instabilité politique, à la dépendance de leurs institutions d'émissions par une politique monétaire tracée par leurs gouvernements respectifs.

Il est à signaler, qu'avant la mise en œuvre en pratique de la politique de ciblage de l'inflation, il n'existe pas, concrètement, des études théoriques en cette matière, puisque toutes les tentatives de recherche se focalisant sur le degré d'indépendance de la banque centrale et la stabilité des prix. C'est juste après les expériences faites en la matière, que le terrain de recherche s'ouvre vers d'autres prolongements de modélisation économétrique. Toutefois, les renseignements dégagés de ces expériences étrangères, en politique de cibles de l'inflation, conduisent à démontrer le ressort de pertinence et le degré d'efficacité de la politique monétaire pour atteindre ses objectifs fixés, dont notamment en primauté la stabilité des prix.

Le présent article est organisé comme suit:

Dans une première section, nous traiterons le fond théorique de cette approche de ciblage de l'inflation en tant que règle de politique monétaire. Par la suite, nous présenterons la politique de ciblage d'inflation: pratique et intérêts. On abordera ses conditions préalables, ses avantages et ses mécanismes de déroulement.

La deuxième section présente l'expérience des banques centrales des pays industrialisés qui ont été les premiers à intégrer des objectifs explicites d'inflation dans la formulation de leurs politiques monétaires, à savoir la New-Zélande, le Canada et le Royaume-Uni. Nous exposerons, ensuite quelques expériences des pays de transition (cas de la Rép. Tchèque), et les PED comme le Brésil et la Philippines en cette matière.

2 LA POLITIQUE DE CIBLAGE D'INFLATION: ASPECT THEORIQUE ET CADRE PRATIQUE:

Le débat sur la nécessité d'établir une règle dans la conduite de la politique monétaire est réapparue au début des années soixante-dix, dans un contexte caractérisé par une méfiance des agents économiques à l'égard des autorités monétaires.

Toutefois, certains pays avaient déjà eu recours aux agrégats monétaires et aux taux de changes fixes. Mais durant les années quatre-vingt les tentions inflationnistes se sont accentués et s'accompagnaient par la crise de l'endettement des pays en développement, mettant donc fin à ces pratiques même s'ils ont obtenu un degré de succès qui reste limité.

C'est ainsi, qu'au début des années quatre-vingt-dix, marquant l'apparition d'une ère d'innovation dans le domaine de la politique monétaire, est apparue la décision de la mise en œuvre de cibles explicites pour maîtriser l'inflation et favoriser une stabilité des prix, dans des pays industrialisés comme (la Nouvelle Zélande en 1990, le Canada en 1991, etc.).

2.1 INSUFFISANCES D'EXPERIENCES DE CIBLAGE DES AGREGATS MONETAIRES

F.S. Mishkin (1999) [1] a décrit les expériences étrangères suivant la stratégie de ciblage des agrégats monétaires, celle-ci vise les objectifs intermédiaires de la politique monétaire. Toutefois, depuis les années soixante-dix, les banques centrales dans divers pays industrialisés ont utilisés cette stratégie qui semble être un outil efficace pour réguler les agrégats monétaires. Ceux-ci sont considérés comme les principaux déterminants de l'inflation à long terme. Aux Etats-Unis d'Amérique, ce régime de ciblage monétaire a commencé en 1970, mais l'annonce au public des objectifs en terme de croissance de l'agrégat cible (M1) n'a été pratiqué qu'à partir de 1975.

Cependant, la Réserve Fédérale ne jugerait pas prioritaire la réalisation de ces objectifs par rapport à ceux de la réduction du chômage et l'optimisation du taux d'intérêt, c'est pourquoi l'agrégat M1 a connu une fluctuation importante. La Réserve Fédérale, n'a pas pu atteindre sa cible à plusieurs reprises, et a fini par abandonner ce système en 1993.

Pour le Royaume-Uni, en 1973, a débuté cette stratégie de ciblage d'un agrégat monétaire plus large (M3), mais sa publication formelle des objectifs a été annoncée dès 1976. Cependant, la banque centrale a rencontré des difficultés dans la réalisation de son agrégat monétaire M3 cible. De ce fait, cette pratique ne peut survivre longtemps et fini par l'abandonner vers la fin de 1992. Dans les mêmes circonstances en 1975, le Canada a commencé l'utilisation de ce système de ciblage monétaire, tout en adoptant un programme limitant la croissance de M1 dans un intervalle cible. Mais dès 1981, comme les expériences homologues (Etats-Unis, Royaume-Uni), cette stratégie prend sa fin en Canada.

Par ailleurs, cette stratégie de ciblage monétaire a perdu ses armes adéquates montrant son insuffisance et sa fin vers les années soixante-dix et le début des années quatre-vingt, dans la plupart des pays industrialisés, face à un environnement caractérisé par l'importance de la déréglementation du taux d'intérêt et l'innovation financière, conduisant, en fait, à une déstabilisation des agrégats monétaire et entravant par la suite l'aboutissement aux objectifs assignés.

Ainsi, cette stratégie marquait son incapacité de réaliser les attentes des autorités monétaires devant ces mouvements perpétuels touchant de près ou de loin les politiques monétaires des divers pays industrialisés et/ou en transition.

2.2 L'APPORT DE LARS SVENSSON (1999) AUX REGLES DE POLITIQUES MONETAIRES: ILLUSTRATION FORMELLE D'UN REGIME AXE SUR LA POURSUITE DE CIBLES D'INFLATION

Lars Svensson (1999) a mis au point un modèle macroéconomique simple qui illustre le fonctionnement d'un régime visant la réalisation de cibles d'inflation [2]. L'écart de production, exprimé en proportion du PIB potentiel, y , est généré par la fonction d'offre globale à court terme:

$$y_t = \rho y_{t-1} + \alpha (\pi_t - E_{t-1} \pi_t) + \varepsilon_t \quad (1)$$

Le terme y_{t-1} est l'écart de production de la période précédente, et ρ (<1) le degré de persistance de l'écart. Le taux d'inflation est représenté par π_t , et l'anticipation rationnelle du taux d'inflation, sous réserve de l'information à la fin de la période précédente, $E_{t-1} \pi_t$.

Le paramètre α exprime la vigueur de la réaction de la production à une variation inattendue de l'inflation (ou de niveau des prix). L'économie subit au cours de chaque période un choc d'offre ε . Il s'agit de chocs indépendants à probabilité identique de moyenne zéro et de variance, σ^2 .

La banque centrale vise un taux d'inflation π^* et n'aime pas que le taux d'inflation effectif s'écarte de π^* . Cependant, elle n'aime pas non plus les écarts de production. Afin d'exprimer de manière formelle ces objectifs de la banque centrale, représentons sa fonction de perte (*Loss fonction*, L) par l'équation suivante:

$$L_t = E_t [\sum_{\tau=t}^{\infty} \beta^{\tau-t} (\lambda y_{\tau}^2 + (\pi_{\tau} - \pi^*)^2)] \quad (2)$$

Au cours de chaque période, la « perte » de la banque centrale est déterminée par le carré du différentiel de l'écart de production par rapport à zéro et le carré de l'écart du taux d'inflation par rapport à la cible. Le coefficient λ représente le rapport entre le poids accordé à l'écart de production et celui que la banque centrale attribue aux écarts du taux d'inflation par rapport à sa cible. La banque centrale se préoccupe non seulement des résultats de la période courante, mais aussi du comportement futur de la production et de l'inflation. Elle applique aux périodes futures le facteur d'actualisation β (<1).

La Banque Centrale ne s'est pas engagée officiellement envers l'objectif qu'elle poursuit. Elle use de son pouvoir discrétionnaire au cours de chaque période pour minimiser L dans l'équation (2), sous réserve de la contrainte imposée par l'équation (1). Dans ce modèle formel, la banque centrale contrôle directement le taux d'inflation. Cette hypothèse est adoptée dans un souci de commodité.

La solution du problème de la banque centrale nous est fournie par une règle de décision qui répartit le choc d'offre de la période courante entre le taux d'inflation et l'écart de production. Il est commode de représenter cette solution par:

$$\pi_t = \pi^* - \frac{b}{1-\alpha b} y_t \quad (3)$$

Le paramètre b étant choisi de manière optimale par la banque centrale (Annexe).

Etant donné cette règle de décision, le taux d'inflation et l'écart de production s'expriment ainsi:

$$\pi_t = \pi^* - \frac{b}{1-\alpha b} \rho y_{t-1} - b \varepsilon_t \quad (4)$$

$$y_t = \rho y_{t-1} + (1-\alpha b) \varepsilon_t \quad (5)$$

La variabilité de l'inflation et celle de l'écart de production, mesurées par leur variance non conditionnelle, sont de la forme:

$$\sigma_\pi^2 = \frac{b^2}{1-\rho^2} \sigma^2 \quad (6)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{(1-\alpha b)^2}{1-\rho^2} \sigma^2 \quad (7)$$

Le paramètre b dépend de tous les paramètres et varie de façon systématique en fonction de λ . Une banque centrale qui n'accorde aucune importance à l'évolution de la production ($\lambda = 0$) pose b égal à zéro, de sorte qu'elle stabilise le taux d'inflation à π^* et laisse l'écart de production suivre le sentier $\rho y_{t-1} + \varepsilon_t$, avec une variance non conditionnelle égale à $1/(1-\rho^2)\sigma^2$.

Une banque centrale qui accorde une grande importance à l'évolution de la production, ($\lambda=\lambda^*$), fixe $b = 1/\alpha$ de manière que l'écart de production suive le sentier ρy_{t-1} avec une variance non conditionnelle égale à zéro.

L'arbitrage entre la variabilité de la production et celle de l'inflation dépend de b ainsi que de α , ρ et σ . Les valeurs de ces paramètres dépendent de la durée de l'intervalle représenté par l'indice t . Quand t correspond à un trimestre, les paramètres prennent les valeurs raisonnables suivantes: $\rho = 0,9$ et $\alpha = 0,5$. La figure 1 illustre l'arbitrage en question, la variance du choc d'offre qui ne dure qu'une période étant normalisée à l'unité.

Une fois ces valeurs choisies pour ρ et α , posons b égal à $2/3$, de sorte que l'inflation et l'écart de production aient des variances identiques égales à 2,34 fois celle du choc d'offre d'une période. Quand $b = 2 = 1/\alpha$, l'écart de production est stabilisé à zéro, et le taux d'inflation est extrêmement variable autour de sa valeur cible π^* . Quand elle choisit $b = 0$, une banque centrale « obsédée par l'inflation » stabilise le taux d'inflation à son niveau cible, au prix d'une variabilité de la production qui est environ cinq fois plus élevée que la variance du choc d'offre d'une période.

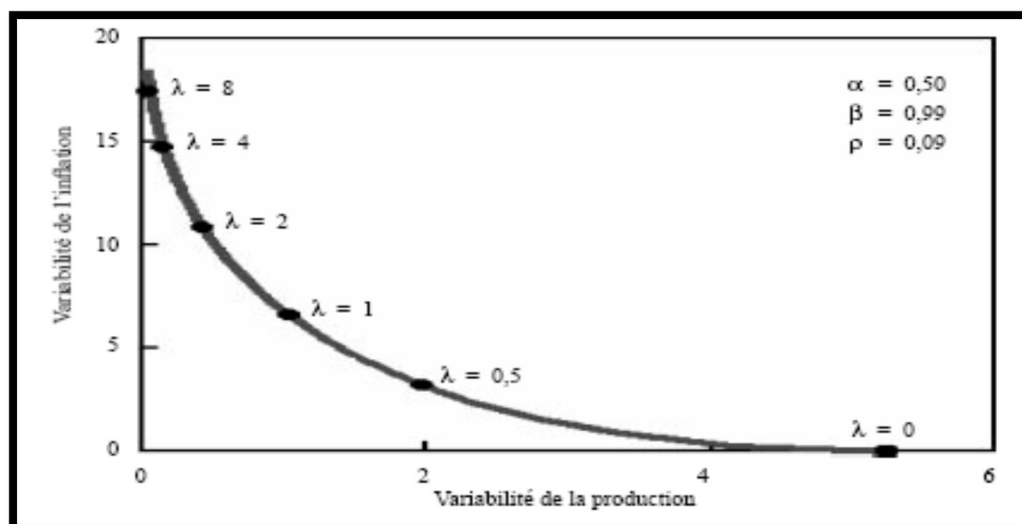


Fig. 1. Arbitrage entre la variabilité de la production & celle de l'inflation. L. Svensson (1999)

Nous avons vu que l'établissement de cibles d'inflation fournit un cadre général de stabilité macroéconomique qui n'empêche pas d'accorder une grande importance à la stabilité de la production, qui permet d'utiliser l'une ou l'autre des nombreuses techniques de contrôle monétaire proposées, qui contraint la banque centrale à viser un objectif bien défini, tout en la laissant libre de puiser dans son expertise et dans les moyens à sa disposition pour atteindre l'objectif en question, et qui tient compte comme il se doit des chocs d'offre persistants, en les entérinant en partie.

2.3 LA POLITIQUE DE CIBLAGE DE L'INFLATION: PRATIQUE ET INTERETS

A la fin des années 80, de nombreux pays industrialisés suivis par des pays à marchés émergents ont commencé à cibler l'inflation. D'où, l'apparition d'une nouvelle stratégie dans la formulation de la politique monétaire connue sous le nom de «ciblage de l'inflation» a préoccupé un certain nombre d'auteurs dont Mishkin et Svensson. La politique du ciblage d'inflation est une règle de décision qui vise à accroître la transparence autour de la politique monétaire menée par une banque centrale.

2.3.1 STRATEGIE DE CIBLAGE DE L'INFLATION: CONDITIONS PREALABLES A L'ADAPTABILITE

Le ciblage de l'inflation se caractérise par la fixation d'objectifs quantitatifs pour le taux d'inflation et par la prééminence d'une inflation faible et stable sur tout autre objectif final.

2.3.1.1 LES CONDITIONS PREALABLES A L'ADAPTABILITE

La pratique de cette politique [3] exige trois conditions à savoir l'indépendance de la Banque centrale, l'absence d'une cible implicite de taux de change et la transparence dans la conduite de la politique monétaire (Agenor, 2000).

D'après Jbili et Kramarenko (2003), les conditions indispensables pour assurer le succès d'un ciblage de l'inflation [4] sont: une situation budgétaire saine et une coordination étroite des politiques budgétaire et monétaire, un système financier bien développé, une indépendance de la banque centrale dans la conduite relativement bien compris entre les instruments de politique monétaire et l'inflation, et une crédibilité reposant sur de solides antécédents en matière de responsabilité et de transparence. Pour mettre en place une politique de ciblage d'inflation, certaines conditions doivent être remplies à savoir:

- L'indépendance de la banque centrale.
- L'absence d'une autre cible implicite.
- La stabilité macroéconomique et un système financier stable.
- La performance des instruments de politique monétaire.

2.3.1.2 LES MERITES DE LA POLITIQUE DE CIBLAGE DE L'INFLATION

Cette nouvelle stratégie dans la formulation de la politique monétaire connue sous le nom de ciblage de l'inflation a préoccupé un certain nombre d'auteurs dont Mishkin [5] et Svensson. Elle est caractérisée par la mise en œuvre d'une politique monétaire ayant pour objectif principal, un taux d'inflation ou un niveau de prix faible et stable. Plusieurs arguments plaident en faveur de l'adoption du ciblage d'inflation:

- Une amélioration de la communication et la transparence de la politique monétaire.
- Elimination de l'incohérence temporelle par la responsabilisation des autorités monétaires.
- Une mesure efficace de crédibilité de la politique monétaire.

2.3.2 LA POLITIQUE DE CIBLAGE DE L'INFLATION: LE CADRE POLITIQUE

En dépit des succès marqués par cette pratique, la question reste encore ouverte sur la meilleure cible qu'il faut choisir pour conduire efficacement la mise en œuvre du régime de ce genre. Dès lors, le ciblage de l'inflation appelle un certain nombre de décisions primordiales de la part des autorités.

- ***Un taux d'inflation ou un niveau des prix: quelle cible faut-il choisir?***

A l'heure actuelle, tous les pays s'étant dotés de cibles, les ont définies en fonction de l'inflation plutôt que du niveau du prix. Néanmoins, la question de savoir lequel de ces deux types de cible est le plus favorable à l'économie, reste ouverte. En fait, cette question intensément débattue est abordée (F. S. Mishkin, 2005) à la suite de séminaire intitulé: « *réflexions sur la poursuite de cibles en matière d'inflation* ».

Selon certains modèles (p. ex. Svensson, 1999 [6]; Woodford, 1999; Dittmar, Gavin et Kydland, 1999; Dittmar et Gavin, 2000; Vestin, 2000), le recours à une cible établie en fonction du niveau des prix plutôt que l'inflation, donne lieu à une variabilité moindre de la production. Une telle cible peut réduire l'incertitude au sujet du niveau auquel s'établiront les prix à des horizons éloignés.

Bien que les modèles mentionnées ci-dessus, en particulier ceux où les prix sont établis dans un cadre prospectif, n'indiquent pas que l'adoption d'une cible fondée sur le niveau des prix accroît la variabilité de la production, ils passent sous silence un problème particulier (F. S. Mishkin, 2005). Il correspond au fait que le recours à une telle cible puisse donner lieu à des périodes de déflation plus fréquentes, qui pourraient se traduire par une instabilité des marchés financiers.

Un gros inconvénient du recours à une cible fondée sur le niveau des prix réside donc dans le fait que dirigeants des banques centrales risquent de se retrouver plus souvent dans une conjoncture déflationniste, sans leurs balises habituelles, ce qui compliquera encore davantage la formulation de la politique monétaire.

- ***La détermination de la fourchette cible de maîtrise de l'inflation***

La cible fixée à l'égard de l'inflation sert au moins deux fins importantes pour les pays adoptant ce régime de ce genre comme le cas en Nouvelle-Zélande et au Canada. Elle sert d'abord de guide au public. De ce fait, il convient d'établir une fourchette suffisamment large pour qu'elle soit crédible, c'est-à-dire une fourchette telle qu'on puisse raisonnablement s'attendre à ce que, la plupart du temps l'inflation se situe dans la plage visée.

Nous avons lieu de croire que la fourchette de 0 à 2 % est choisie initialement pour cible en Nouvelle-Zélande (en Canada de 1 à 3 %; généralement les autres pays industrialisés maintenaient leurs fourchettes aux alentours de 0 à 3 %), n'étaient pas considérées comme entièrement crédibles dans l'opinion publique en raison de son étroitesse, mais elle révèle par la suite son apport d'efficacité.

- ***Le choix de l'horizon de la cible d'inflation***

L'horizon de la cible d'inflation est le temps qu'il faut aux mesures de politique monétaire visant à neutraliser les effets d'un choc sur l'économie pour ramener l'inflation au taux visé. Il est tenu, évidemment, de déterminer l'horizon de la politique, c'est-à-dire la vitesse de réduction de l'inflation.

- ***La formulation de méthodes de prévision de l'inflation***

A la différence des autres régimes de la politique monétaire, celui du ciblage de l'inflation assigne une importance fondamentale aux prévisions, notamment celle de l'évolution de l'inflation qui constitue le principal objectif intermédiaire de la politique monétaire.

- **Le choix de l'indice (IPC) comme mesure au niveau de l'inflation**

L'IPC offre des nets avantages au plan opérationnel par rapport au déflateur du PIB, car c'est l'indice que le public connaît le mieux. Il est habituellement calculé et diffusé à bref délai (et peut donc être suivi régulièrement), et il faut rarement l'objet de révisions. De plus, si les autorités monétaires parviennent à stabiliser le taux d'augmentation de l'indice des prix à la consommation, elles devraient également réussir à stabiliser les autres indices autour de la même tendance à long terme.

3 L'EXPERIENCE DES BANQUES CENTRALES DES PAYS INDUSTRIALISES ET ADAPTABILITE POUR LES PAYS EN TRANSITION ET LES PED

Au début des années 90, beaucoup des pays membres de l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE) — d'abord la Nouvelle-Zélande, puis le Canada, le Royaume-Uni, la Suède, l'Australie, la Finlande et l'Espagne — ont opté pour une politique monétaire reposant explicitement sur le ciblage de l'inflation et ont enregistré de très bons résultats dans la stabilisation des prix en annonçant de fourchettes cibles explicites en matière d'inflation [7].

Cependant, certains pays en voie de développement connaissent des difficultés dues à leur instabilité politique, à la dépendance de leurs institutions d'émissions par une politique monétaire tracée par leurs gouvernements respectifs. Ces pays pourront-ils adopter cette stratégie de maîtrise de l'inflation, et quelles sont les conditions nécessaires pour la réussir?

3.1 CREDIBILITE & EXPERIENCE DES BANQUES DES PAYS INDUSTRIALISES DANS LE CADRE DU CIBLAGE DE L'INFLATION : INFLATION TARGETING

Les excès de l'inflation dans beaucoup des pays surtout en Europe durant les années 80, ont conduit beaucoup de responsables économiques à mettre en place des politiques de lutte contre l'inflation, notamment la stratégie de ciblage d'inflation.

Le premier pays ayant introduit une politique de ciblage d'inflation est la Nouvelle-Zélande en 1990, ensuite le Canada, le Royaume-Uni, la Suède, l'Australie, suivis dans ce sens par le nombreux pays émergents [8]. Ceci est illustré dans la figure 2 ci-dessous:

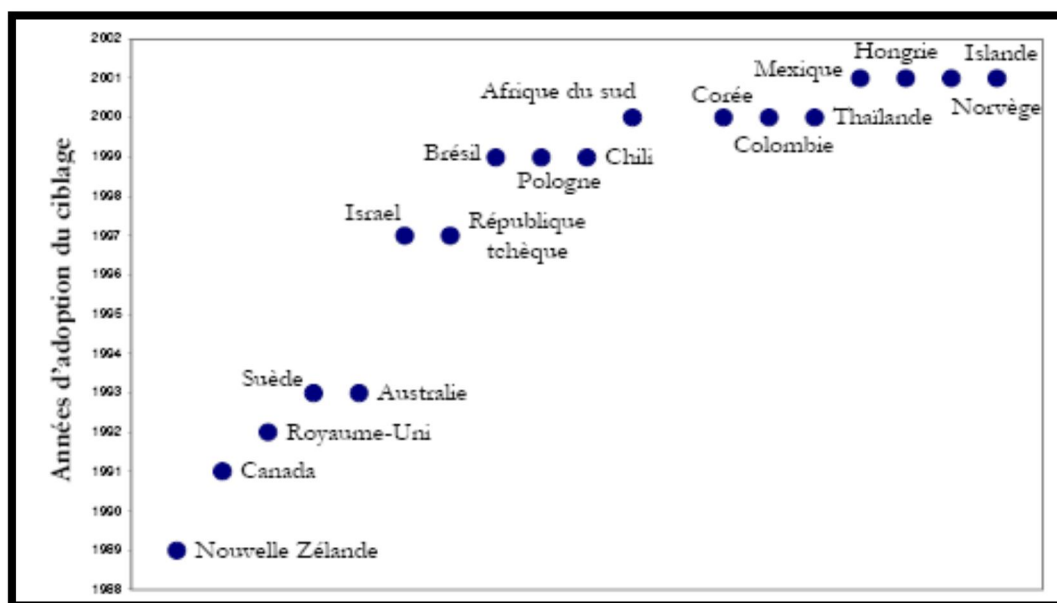


Fig. 2. Les pays qui ciblent l'inflation. FMI, 2003.

3.1.1 L'EXPERIENCE PERFORMANTE DE LA NOUVELLE-ZELANDE (NEW-ZEALAND)

"The New-Zealand has the longest experience in inflation targeting; this policy had announced in 4 March 1989 and took place in 1 February 1990. In addition the New-Zealand has the most clearly defined target and policy framework for achieving it..." (Taylor, 1999).

3.1.1.1 EVOLUTION DU TAUX D'INFLATION DE LA NOUVELLE-ZELANDE

On va s'intéresser ici à l'évolution du taux d'inflation [9] dans le cycle économique de la Nouvelle-Zélande durant la période de 1990 à 2005.

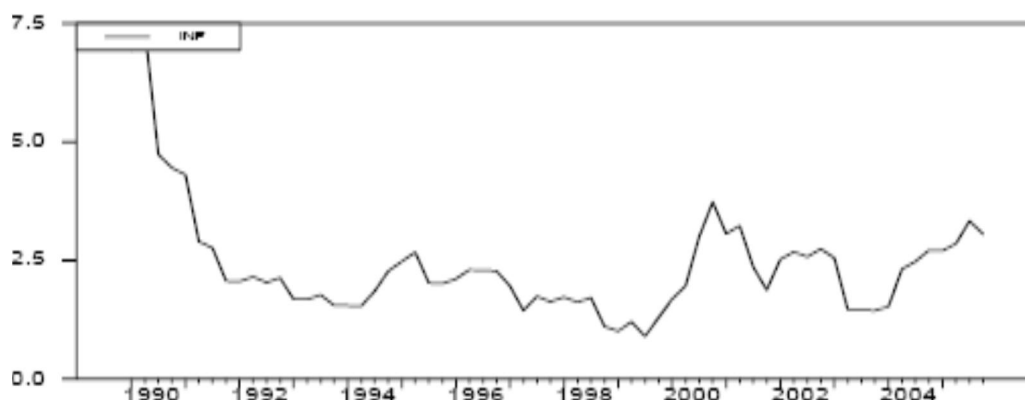


Fig. 3. Evolution de l'inflation in New-Zeland de 1990 à 2005

On remarque d'après le graphique ci-dessus du taux d'inflation, que ce dernier diminue rapidement. La période de 1990 est la période de mise en place de « *politique de ciblage d'inflation* », jusqu'à l'achèvement d'une cible d'inflation en 1991 entre [0 et 2 %], la politique monétaire peut être qualifiée comme une politique ayant un ancrage efficace d'inflation [10], durant cette période. En outre, vu le prolongement rapide de la période d'expansion de la demande durant les années quatre-vingt-dix, la pression de l'inflation était forte, et les conditions monétaires qui permettent aux entreprises de maîtriser l'inflation, ont prolongé la période pour contourner l'inflation.

3.1.2 L'EXPERIENCE CANADIENNE DANS L'ADOPTION DE CIBLES D'INFLATION: L'IMPORTANCE D'UNE LUTTE EFFICACE CONTRE L'INFLATION

Lorsque l'inflation est élevée, malheureusement, il devient plus difficile encore de comprendre un environnement déjà déroutant. En maintenant l'inflation à un niveau bas et stable, la politique monétaire peut réellement contribuer à la qualité de vie, car elle facilite la prise de décision pour tout le monde.

De ce côté, un signe de la réussite de la politique monétaire canadienne[11], est que l'inflation fait couler beaucoup moins d'encre aujourd'hui que durant les années 1970, époque où elle faisait souvent les manchettes. Alors, qu'elle avait dépassé 14 % en 1973 et frôlé 13 % en 1979, l'inflation s'est stabilisée dans le voisinage de 2 % au cours de la dernière décennie. De plus, elle a été beaucoup moins volatile durant cette période [12], que pendant les années 1970 et 1980.



Fig. 4. Evolution de l'inflation mesurée par l'IPC au Canada de 1966 à 2006. Bank of Canada [2006]

- **Adoption et poursuite de cibles d'inflation au Canada:**

Le Canada a été l'un des premiers à s'engager officiellement dans cette voie, en février 1991. L'établissement de cibles a donné de très bons résultats au Canada: l'inflation a été ramenée à de bas niveaux sans que la croissance économique n'en souffre et elle demeure stable. En dépit des succès remportés, le débat se poursuit sur la meilleure façon de mettre en œuvre un régime de ce genre.

Toutefois, la mission de la banque centrale au Canada est de rendre de sa politique monétaire crédible en adoptant cette stratégie de ciblage d'inflation, c'est-à-dire, maintenir l'inflation à l'intérieur d'une fourchette cible de 1 à 3 %, pas au dessus de 3 %, ni au dessous de 1 %. Les cibles de réduction de l'inflation exprimaient l'engagement à long terme des autorités de parvenir à la stabilité des prix. Une fourchette de variation de ± 1 point de pourcentage a été établie autour de taux cibles de 3 % pour la fin de 1992, de 2,5 % pour le milieu de 1994, et de 2 % pour les années suivantes vers la fin 2006.

Au total, ces mesures prises par la banque centrale de Canada ces dernières années, ont contribué à promouvoir la crédibilité de la politique monétaire aux yeux du public et à réaliser l'objectif de stabilité des prix. La plupart des études (Christopher Ragan, 2005) réalisées sur la crédibilité de la politique monétaire canadienne concluent [13] que le maintien de l'inflation à l'intérieur de la fourchette cible a renforcé la crédibilité de la politique monétaire.

3.1.3 L'EXPERIENCE DU ROYAUME UNI

Auparavant, entre 1976 et aux premières années de 1980, la politique Britannique de lutte [14] contre l'inflation reposait sur l'utilisation de cibles monétaires définies par rapport à l'agrégat au sens large M3, qui se sont révélées peu fiables en raison d'importantes modifications de la vitesse de circulation de la monnaie.

En 1987 et 1988, les autorités monétaires [15] ont pris les taux de change comme point d'ancrage nominal non officiel, en s'alignant sur le Deutsche-Mark dans l'espoir de bénéficier du faible taux d'inflation observé en Allemagne. Puis, en octobre 1990, le Royaume-Uni a adhéré au mécanisme de change Européen (CE).

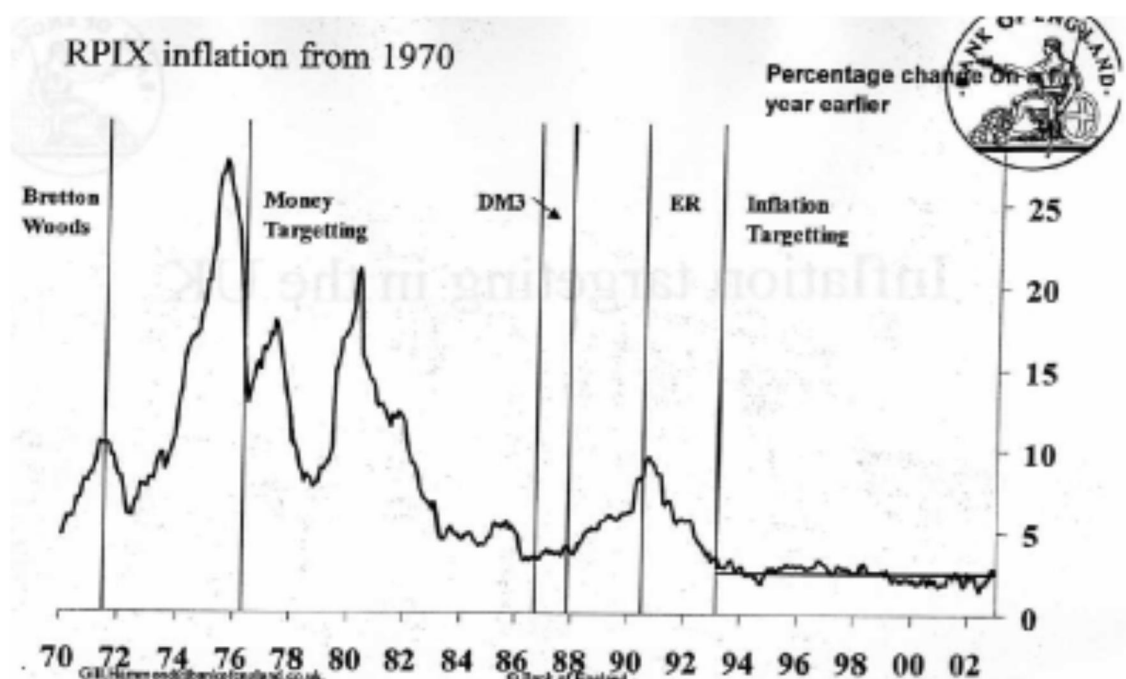


Fig. 5. L'évolution de l'inflation en Angleterre de 1970 à 2004.

La cible en matière d'inflation est définie en fonction du taux d'augmentation sur douze mois de l'indice des prix de détail hors frais d'intérêts hypothécaire (RPIX). Les autorités ont fixé initialement les limites de la fourchette cible à 1 et 3 %, avec l'intention de ramener l'inflation dans la moitié inférieure de cette fourchette avant la dissolution de Parlement en exercice. En juin 1995, le chancelier de l'Echiquier a réitéré cette cible et en a prolongé [16] la durée d'application. En Juin 1997, le nouveau chancelier [17] a remplacé la fourchette par une cible ponctuelle de 2,5 %.

3.2 LES CONDITIONS DE BASES POUR LA MISE EN ŒUVRE DE CETTE STRATEGIE AU SEIN DES PAYS EN DEVELOPPEMENT (PED)

Comme déjà précisé auparavant, l'indépendance de la conduite de la politique monétaire, particulièrement de pressions fiscales, et l'inexistence d'une autre cible nominale constituent les pré-conditions principales de l'adoption d'une « inflation targeting policy » [18].

La réunion de ces pré-conditions n'est pas toujours évidente [19] dans les pays en développement. C'est ainsi que le poids de la banque centrale se manifeste par l'utilisation de tous ses instruments monétaires pour atteindre certains objectifs nominaux. De ce côté, il est illogique d'envisager aux banques centrales des pays en développement le même degré d'indépendance de celles des pays industrialisés qui appartiennent à l'OCDE. Dans cette perspective, d'autres conditions obligatoires s'ajoutent:

- Ces pays concernés doivent abandonner tout sort d'aspects de dominance budgétaire dans la mesure où la politique monétaire soit autonome et n'est pas freinée ou interrompue par des considérations purement budgétaires.
- L'emprunt du secteur public à la banque centrale et au système bancaire est tenu d'être nul à moins très faible.
- Les recettes publiques doivent être largement assises et ne dépendent plus de la procédure seigneuriage (c'est le recours excessif à la planche à billets, qui est plus importante dans les PED à cause de l'instabilité des revenus fiscaux, la faiblesse des procédures de collecte des impôts, l'incohérence de la politique de distribution des revenus et l'instabilité politique).
- Le marché financier soit suffisamment développé pour absorber l'émission d'effets publics et privés et il est recommandé aussi de dépasser les fragilités de leur système bancaire.

Toutefois, l'intensité de ces contraintes diffère d'un pays à l'autre en fonction de son degré de développement [20], ce qui a incité certaines Banques Centrales des PED de croire en leur capacité de conduire des politiques monétaires de ciblage de l'inflation.

3.2.1 LE CIBLAGE D'INFLATION DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT

En Amérique latine, le Brésil, le Chili, la Colombie et la Mexique ont tous abandonné leurs cibles ou leurs fourchettes de taux de change en faveur d'un régime de flottement. Tous ces pays, ainsi d'ailleurs que d'autres économies émergentes comme la République tchèque, La Pologne, l'Afrique de Sud et, plus récemment, la Thaïlande, la Philippines et la Roumanie [21], ont appliqué une politique monétaire axée sur un processus plus ou moins formel de ciblage de l'inflation. Même si la plupart de ces pays n'ont adopté cette méthode que depuis peu, les résultats obtenus jusqu'à maintenant sont encourageants. Il leur ouvre également la perspective d'une convergence vers les niveaux internationaux d'inflation.

3.2.1.1 LE CAS DES PHILIPPINES

Par le passé, la Banque Centrale des Philippines (BSP) a adopté le ciblage des agrégats monétaires pour mener sa politique. Mais se rendant de plus en plus compte de la faiblesse de la relation entre l'offre de monnaie et l'inflation, et de l'existence de retards de plus en plus importants dans la transmission de la politique monétaire, cette politique a été substituée par la politique de ciblage d'inflation en 2000. (Figure 6).

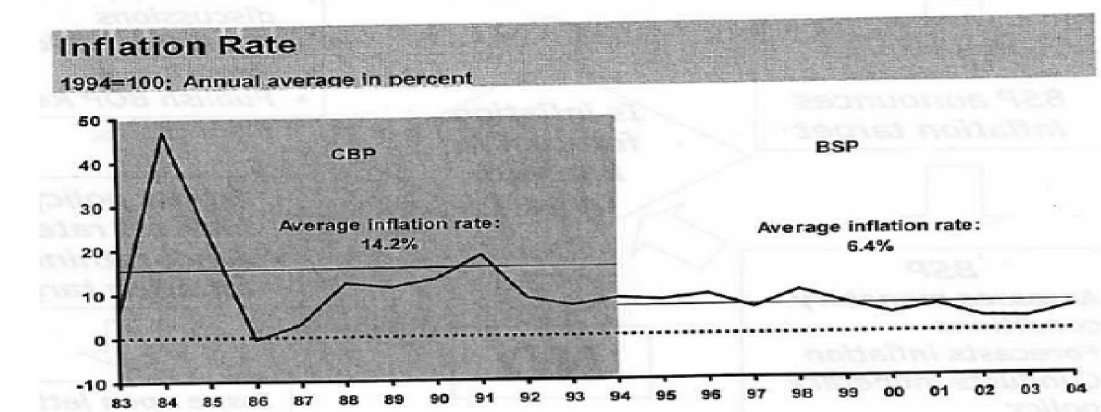


Fig. 6. L'évolution de l'inflation au Philippines de 1983 à 2004. FMI, Décembre 2005

La cible est déterminée conjointement par le gouvernement et la Banque Centrale. Elle est, cependant, annoncée par le gouverneur de la BSP. L'inflation est calculée à partir de l'indice des prix à la consommation (IPC). La cible est définie en termes d'intervalles (5% - 6% pour 2005 et 4% - 5% pour 2006). Les lignes opérationnelles directrices pour la politique de ciblage d'inflation aux Philippines sont les suivantes:

- Pour l'inflation cible, sont exemptés les prix des produits alimentaires, des produits pétroliers, les politiques qui affectent les prix (notamment la politique fiscale) et les catastrophes naturelles touchant les prix de quelques produits.
- La mise en place d'un Advisory Committee qui vient épauler le Monetary Board dans la mise en œuvre de la politique monétaire.
- L'adoption de mécanismes de diffusion d'informations auprès du public (presse, minutes, rapport trimestriel d'inflation, campagnes d'informations, lettre ouverte au Président en cas de non réalisation de la cible).
- Un modèle de long terme pour construire les prévisions d'inflation.
- La BSP promet d'atteindre la cible dans une période de deux ans, pour garantir une approche graduelle et pour avoir une marge de manœuvre pour répondre aux chocs de l'économie. Lorsque la cible n'est pas atteinte, la BSP explique publiquement la cause de cet échec et elle explique comment elle compte procéder pour l'atteindre. Concernant les résultats de cette politique, bien que la période soit trop courte pour émettre un jugement, le départ de la BSP semble d'être encourageant.

3.2.1.2 LE CAS DU BRÉSIL

Le Brésil est connu une période de très haute inflation qui a commencé au milieu des années 1970. Cette inflation a été la conséquence de l'existence d'un système fiscal sous développé qui a perdu la contrainte des dépenses publiques, de l'absence d'indépendance de la Banque Centrale et du manque de transparence des institutions et les politiques, en plus de l'accumulation de dettes extérieures pendant les années 1970.

Les mécanismes de correction monétaire déployés consistent en un système d'indexation qui a accentué encore plus l'inflation, surtout pendant la période 1980-1990, connue sous le nom de « Lost Decade » durant laquelle, le Brésil a connu une crise d'endettement, une inflation galopante, une faible croissance et une instabilité accrue. La Banque Centrale a essayé, par l'adoption de plusieurs programmes de stabilisation qui n'ont pas connu de succès, de résorber la dite inflation, jusqu'à la crise de 1999.

Il s'agit d'une crise de change matérialisée par une surévaluation de la monnaie locale et par l'augmentation du déficit de la balance commerciale. Ceci s'est encore aggravé par les crises Mexicaine, Russe, et Asiatique jusqu'à la cessation de paiement totale en Janvier 1999.

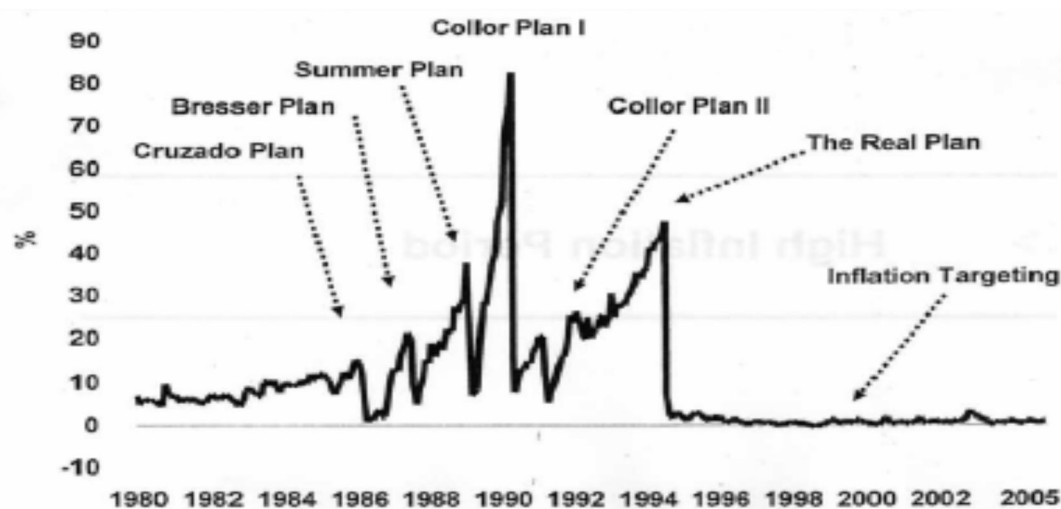


Fig. 7. Taux d'inflation mensuelle au Brésil entre 1980 à 2006. FMI, Novembre 2006

La politique de ciblage d'inflation est alors adoptée en Juin 1999, après le flottement de la monnaie en janvier 1999, avec une cible de 8 % +/- 2%. Les raisons d'adoption de cette politique sont l'instabilité de la fonction de demande de monnaie, les

difficultés de contrôler les agrégats monétaires et le manque de transparence, en plus des encouragements dus à la réussite de cette politique dans certains pays.

3.3 L'ADOPTION D'UN CIBLAGE INFLATIONNISTE SOUPLE POUR LES ECONOMIES EN TRANSITION : CAS DE LA REPUBLIQUE TCHEQUE

La République Tchèque est le premier pays en transition à avoir adopté le DIT en janvier 1998. Au lancement de ce programme, l'opération des cibles a été basée sur l'inflation nette qui a exclu des variations des impôts.

Lors de lancement du DIT, la BNC a fixé la cible d'inflation de long terme (échéance fin 2005) à 2.0 %. La politique de DIT Tchèque est hautement transparente car la BNT édite régulièrement l'inflation globale, rapporte et consulte des prévisions d'inflation avec les principales institutions financières, en conduisant des études spéciales de leurs sentiments d'inflation. Comme déjà indiqué, le programme Tchèque a été très réussi en contenant l'inflation, et les cibles de fonctionnement ont été réalisées plutôt facilement (voir tableau1 ci-dessous).

Tableau 1. La stratégie de cibles d'inflation pour les trois pays (La République Tchèque, La Pologne, La Hongrie)

	République Tchèque	Pologne	Hongrie
Type de régime DIT	Inflation cible: inflation cible relativement stricte avant 2001	: Inflation cible stricte	: Inflation cible flexible avec la stabilité du taux de change
Régime change	Flottement contrôlé	Flottement	Zone cible implicite de +/- 15 %
La date de lancement du programme	Janvier 1998	Janvier 1999	Janvier 2001
Inflation cible de long terme	Inflation nette de 2 % avec une bande de +/- 1 % fin 2005	Inflation de 4 % fin 2003	Inflation de 2 % atteinte en Mars 2005
Opérations de cibles récentes: Décembre 2001 Décembre 2002	Nette de 2 à 4 % et de 4,3 à 5,8 % CPI: 3-5 % Et inflation nette de: 2-4 % en Janvier 2002	Inflation 6-8 % Inflation 4-6 %	Inflation 6-8 % Inflation 3,5-5,5 %
CPI inflation récente (avril 2004)	3.2 %	3.3 %	6.1 %
Rapport d'inflation	Trimestrielle, annuel	Trimestrielle, annuel	Trimestrielle, annuel

Source: Lucjan and T. Orlowski, 2006

4 CONCLUSION

Ce papier s'est basé sur une vue d'ensemble théorique sur les travaux de plusieurs auteurs concernant l'Inflation Targeting et le cadre de la crédibilité de la politique monétaire dans les pays industrialisés et quelques pays en développements adoptant cette nouvelle stratégie des cible d'inflation. Toutefois, l'objet unique de cette présentation est d'évaluer l'efficacité et le degré de pertinence de la stratégie des cibles d'inflation 'TI' avec divers stades de réussite et progression pour chaque pays adoptant ce nouveau régime stratégique de la politique monétaire.

Cette programme est qualifiée comme cadre de la politique monétaire dans les pays industrialisés pionniers en ce genre de stratégie et qui ont adopté cette stratégie, dont le but essentiel, est de stabiliser les prix et fixant auparavant la cible d'inflation à atteindre aux yeux du public pour accroître, en fait, la transparence et la crédibilité de la politique monétaire. Autres travaux antérieures vont permettre de construire un cadre théorique [22] plus solide réagissant cette nouvelle approche où les banque centrales sont censées de fixer leurs objectifs cibles qu'elles tentées de poursuivre annuellement aux publics.

REFERENCES

- [1] F.S. Mishkin, "International Experiences with Different Monetary Policy Regimes". *Journal of Monetary Economics*, vol 43, n°3, pp. 580-605, 1999. F.S. Mishkin, "International Experiences with Different Monetary Policy Regimes". *Journal of Monetary Economics*, vol 43, n°3, pp. 580-605, 1999.
- [2] T. William, Gavin, E. Finn and Kydland, "Endogenous Money Supply and the Business Cycle," *Review of Economic Dynamics, Elsevier for the Society for Economic Dynamics*, vol 2, pp. 347-369, 1999.
- [3] P.R. Ageror, "Monetary Policy under Flexible Exchange Rates: an Introduction to Inflation Targeting", *the World Bank*, N 45.pp.47-87, 2000.
- [4] A. Jbili and V. Kramarenko, Should MENA Countries Float or Peg?", *International Monetary fund, Finance and Development*, n°40 (1), pp.30-33. March 2003.
- [5] F.S. Mishkin, "International Experiences with different Monetary Policy Regimes", *Journal of monetary Economics*, Vol 43, N°3, pp.580-605, 1999.
- [6] L.E. Svensson, "Inflation Targeting as a Monetary Polycy Rule", *Journal of Monetary Economics*, vol 43, pp.607-654, 2001.
- [7] P. Artus, " Le targeting d'inflation par les Banques centrales des PECO est t-il une bonne idée?", *Flash CDC-IXIS*, n°06. pp. 14-18, 2004a.
- [8] P. St-Amant et D. Tessier, "Résultat empiriques multi-pays relatifs à l'impact des cibles d'inflation sur la crédibilité de la politique monétaire", *Document de travail 98-23, Ottawa, Banque de Canada*. pp.296-307, 1998.
- [9] Taylor, "le cadre du Ciblage d'inflation Cas de la New Zealand entre 1990-2005", *Working paper 26*, pp.16-45, décembre 2006.
- [10] D.G. Mayer, "Evidence submitted to the Review of Monetary Policy", *New-Zealand Treasury*, printemps-01, pp.98-124, 2001.
- [11] D. Johnson, " On the Credibility of Monetary Policy: International Evidence Based on Surveys of Expected Inflation". In: Price stability, Direct Inflation Targeting & monetary policy, *conference, make in Bank of Canada on May 1997, Ottawa, Bank of Canada*, pp.389-426, 1998.
- [12] *Economic Forecasts*, "A monthly Worldwide Survey Statistical on 12 year, from 1984", 1984.
- [13] C. Ragan, "The Road Ahead for Canadian Inflation Targeting", *Banque du Canada et Université McGill*, Automne 2005.
- [14] M.R. Stone, " Inflation targeting late", *Monetary and exchange affairs department*, IMF, 2002.
- [15] Rapport du FMI, " les pays adoptant de cibles d'inflation et ceux en transition", *Fond monétaire International*, printemps, 2003.
- [16] S. Fischer, "Modern Central Banking". In: the future of central banking: the Tercentenary Symposium of the Bank of England, F. Copie, C. Goodhart, S.Fischer and N. Schnadt, Cambridge, *Cambridge University Press*, pp.262-308, 1994.
- [17] J.P. Berdot et J. Leonard, "La transition des PECO vers l'Euroland: le choix d'un régime de change", *Revue du marché commun et de l'Union européenne*, p 21-33, Mai 2002.
- [18] B. Bernake et F. Mishkin, " Inflation targeting: A new framework for Monetary Policy?", *Journal of Economic Perspectives*, Vol 11, n°2.pp.97-116, 1997.
- [19] L. Meyer, " La poursuite de cibles d'inflation: problème et possibilités" en collaboration avec la New York Association for business Economics pour l'année 2004-2005, *Federal Reserve Bank of St.Louis Review*.pp.1-21, 2005.
- [20] P.R. Masson and all, " Le ciblage de l'inflation peut-il servir de cadre à la politique monétaire des pays en développements", *Finances et Développement*, pp.33-37, Mars1998.
- [21] D. Antohi, Udrea and H. Braun, "Monetary policy transmission in Romania", *National Bank of Romania*, occasional paper n°3. pp. 15-22, 2003. F.S. Mishkin, "Inflation Targeting in Emerging Market Countries", *NBER Working Paper*, 7618, August-2000.
- [22] H. Miniaoui et N. Abdennadher, " La politique monétaire en Tunisie: Nouvelle pratique de ciblage d'inflation". *Vième journées d'Economie Financière*, pp.1-29, Avril2006.

A Novel Method for Delamination Detection in Composites

Israr Ullah and Jyoti K. Sinha

School of MACE,
The University of Manchester,
Sackville Street, Manchester M13 9PL, UK

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Delamination detection in the composite structure based on the vibration responses when excited at the lower modes has been suggested here. It has been observed that the nonlinear interaction between the delaminated layers produce higher harmonics of the exciting frequency. These higher harmonics have observed to be useful for the detection and location of the delamination without comparing the vibration data from the healthy state of the composite structure. The paper presents the observation based on the finite element analysis of a composite plate with and without delamination and then on the experiments on the composite plates with and without delamination.

KEYWORDS: Composite structures, Finite Element Modeling, Delamination, Nonlinear interaction, Vibration response.

1 INTRODUCTION

Delamination detection in the composite structures is one of the active research areas since decades. Number of research has been carried out to meet this objective. The most commonly used method in the literature is based on the vibration analysis [1-23]. These vibration based studies include (a) change in modal parameters (natural frequencies and mode shapes) [1-4] or the vibration responses by comparing the data with the healthy state condition [1, 2, 6], (b) mapping the deflection shape of the surface of the composite structure either through the embedded sensors [19-20] or scanning the complete surface by the laser vibrometer [17-18]. The changes in the modal parameters may not be significant if the delamination size is small and the data from the healthy state may not be available for many existing composite structures. The array of the embedded sensors may also not be readily available in many cases. Moreover, the deflection mapping of the surface needs the structure to be excited at very high natural frequency in order of more than 10 kHz [15] which is also not a practical approach using the normal piezo-electrical shakers generally used in the vibration testing.

Considering these limitations, a simple method which may be relatively easy to implement in practice and not requiring data from the healthy state condition is needed to meet the objective. Hence it is assumed that the excitation at a few lower modes by the conventional shaker is always possible and then scanning the complete composite surface through the laser vibrometer may not impose any practical limitations. With this assumption, the excitation of a composite plate with and without a delamination at a few lower modes and then the velocity responses measurements at number of points has been considered in the present study. Initially, the finite element (FE) model of a composite plate with and without delamination has been developed to simulate this experiment. The plate was then excited at a few lower modes so that the amplified steady state responses can be observed. The nonlinear interaction between the delaminated layers for the plate with delamination was also considered during the vibration response estimation. The breathing (opening and closing) of a crack in a structure during vibration always produce the higher harmonics of the exciting frequency [24], hence the similar responses are expected for the delaminated composite structure. In fact, it has been observed that the nonlinear interaction between the delaminated layers produce higher harmonics of the exciting frequency. These higher harmonics are then observed to be useful for the detection and location of the delamination without comparing the vibration data from the healthy state of the composite structure. The paper presents the observation based on the finite element analysis of a composite plate with and without delamination and then experimental validation on the composite plates with and without delamination.

2 COMPOSITE PLATES

The experimental composite plate made of E-glass fibre and epoxy resins has been considered for the present study. It has a total of 8 layers of equal thickness which are arranged as $[0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ/0^\circ]$ as shown in Figure 1. The size of the test plate is 400 mm x 400 mm and total thickness 3.5mm. One test sample of the composite plate has the delamination of 40 mm x 40 mm size between 3rd and 4th layers from the top surface and its centre located at the coordinate of (275mm, 275mm) from the one corner of the plate. These test plates are shown in Figure 2. The material properties of the plate are the density, 1185 kg/m^3 , the elasticity constants, $E_1 = 55 \text{ GPa}$, $E_2 = E_3 = 9.5 \text{ GPa}$, $G_{12} = G_{13} = 5.5 \text{ GPa}$, $G_{23} = 3.21 \text{ GPa}$, and the Poisson ratios, $\nu_{12} = \nu_{13} = 0.33$, $\nu_{23} = 0.48$

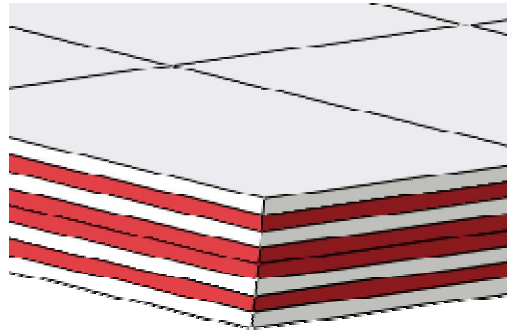


Fig. 1. Arrangement of 8 layers in the composite plate

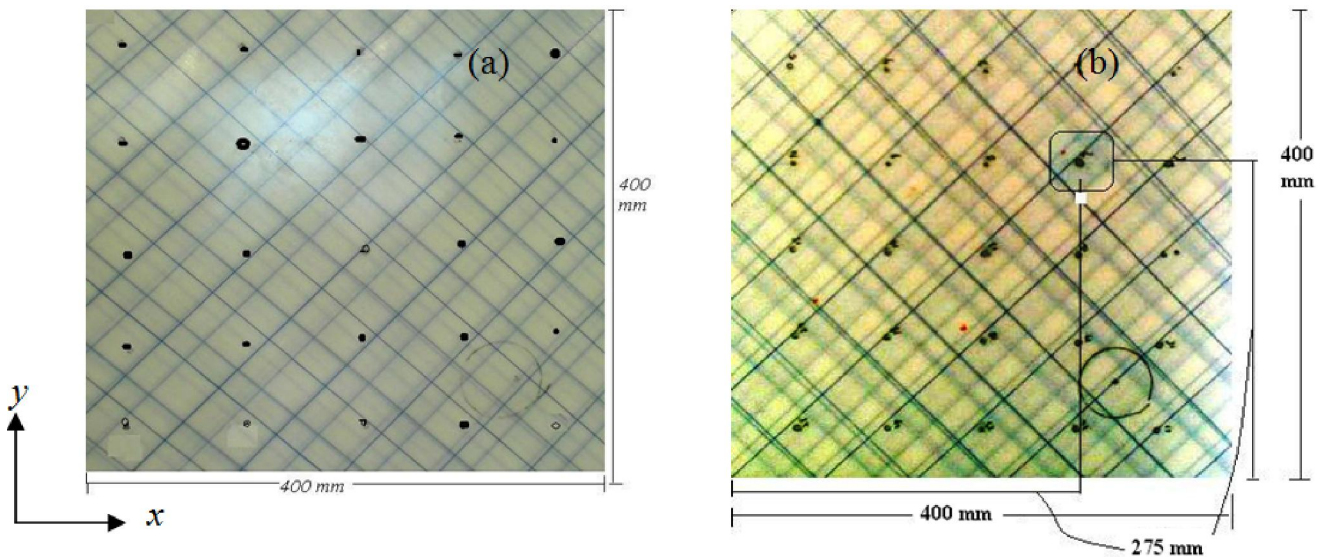


Fig. 2. Typical test plates of E-glass fibre, (a) no delamination, (b) delamination at coordinate location (275mm, 275mm)

3 FINITE ELEMENT (FE) MODELLING

The FE models for both the plates (with and without delamination) have been constructed in the ABAQUS 6.10 FE code. The element C3D8I has been used for this modeling. An element size of 5mm x 5mm has been used for each layers resulting in 51200 elements for a plate. A typical FE model is shown in Figure 3. However for the delaminated plate, the delamination region was modeled by creating duplicate nodes at the delamination interface which is also marked in Figure 3. The measurement locations chosen for the velocity response in the FE simulation are also shown in Figure 3. The free boundary condition was assumed for all 4 edges. The modal analysis for both the FE models (healthy and delamination cases) has been carried out. The calculated frequencies are also listed in Table 1.

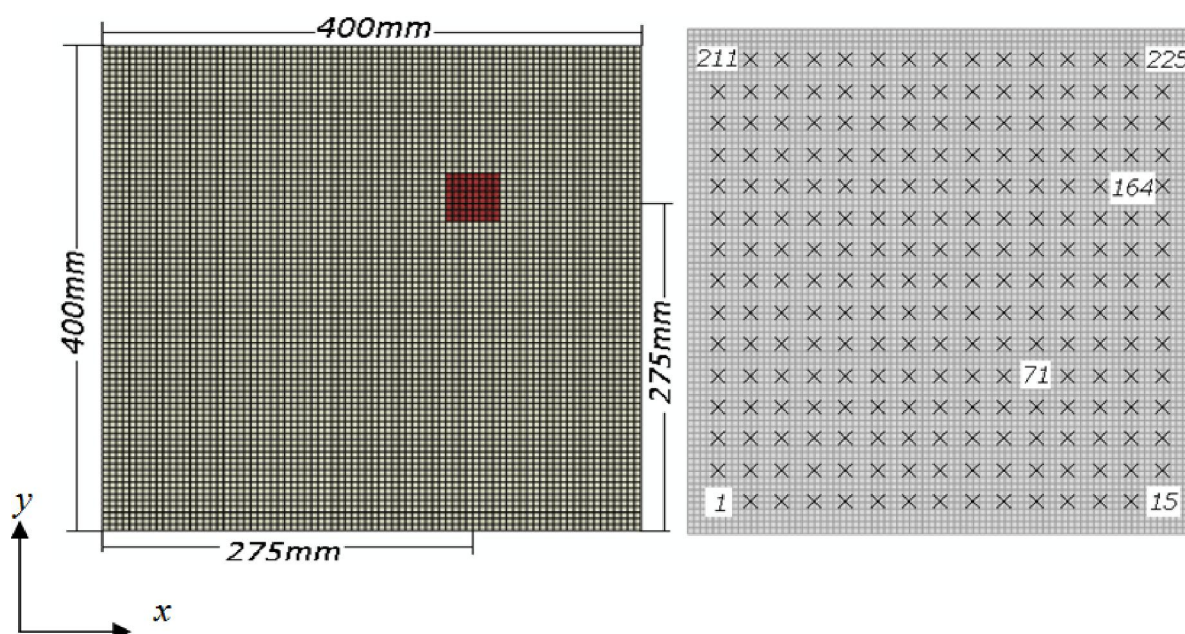


Fig. 3. (a) An FE model of the E-glass fibre plate (also showing delamination region),
(b) Measurement locations (marked as x) in FE simulation

Table 1. Calculated natural frequencies

Modes	Healthy Plate	Delaminated Plate
1	50.03 Hz	49.96 Hz
2	101.42 Hz	100.97 Hz
3	134.61 Hz	134.21 Hz
4	143.55 Hz	143.26 Hz
5	166.83 Hz	166.80 Hz
6	265.87 Hz	265.55 Hz

4 RESPONSE ESTIMATION

The velocity responses have been estimated using the explicitly dynamics analysis in the ABAQUS 6.10 FE code for both healthy and delaminated plates when excited at few lower modes. The non-linear interaction between the delaminated layers has also been simulated during the response estimation for the delaminated plates. Typical velocity amplitude spectra when excited at Mode 3 and 4 are shown in Figure 4. It has been observed that the modes other than the excited mode are also present in the spectra for both the healthy and delaminated plates, probably due to anisotropic material properties of the composite material. In addition, the prominent higher harmonics of the exciting frequency has also been observed as expected due to the nonlinear interaction between the delaminated layers for the delaminated plate compared to the healthy plate. The exciting frequency (1X) and its higher harmonics (2X, 3X, ...) are marked as 'O' in Figure 4.

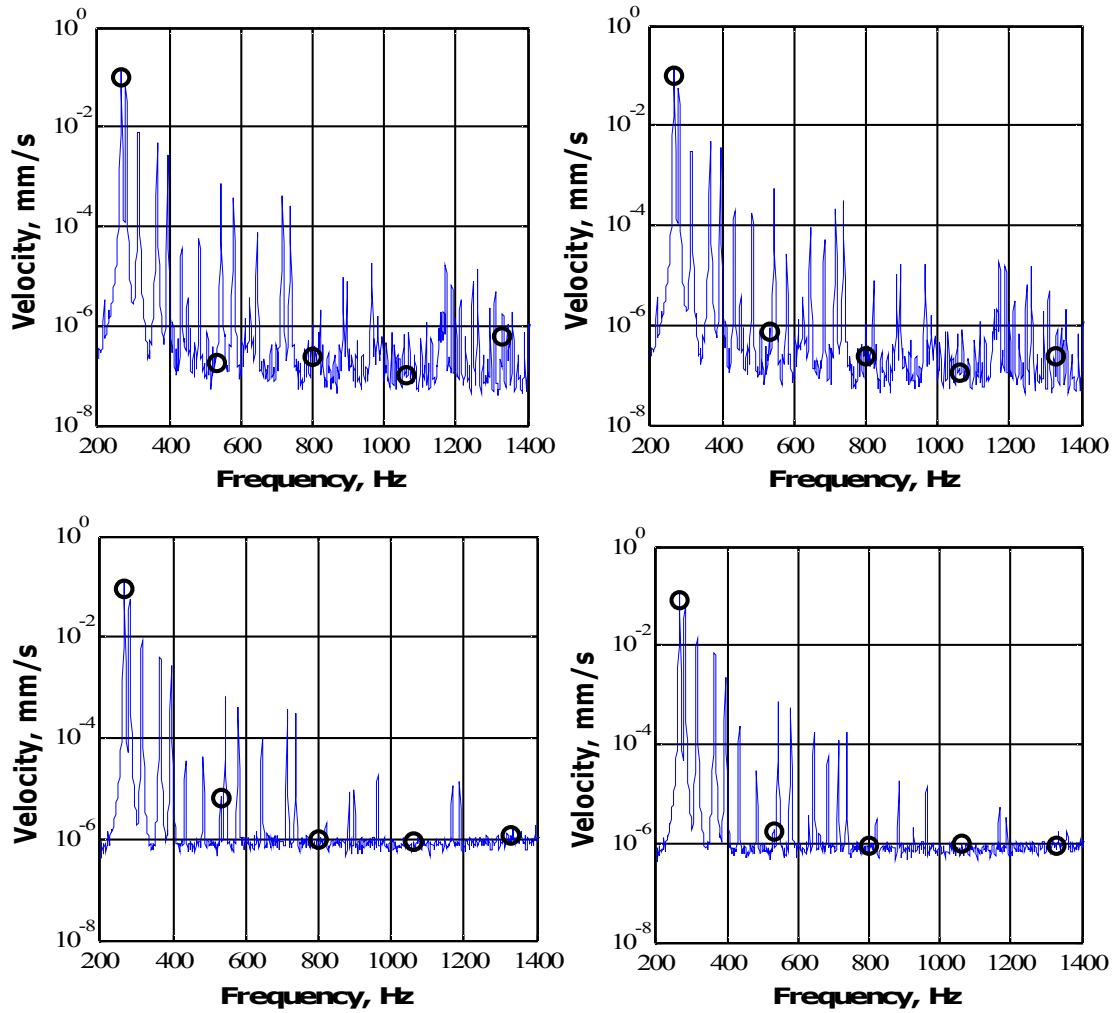


Fig. 4. Typical FE simulated amplitude velocity response spectra at location at nodes 71, 164 for the healthy (a-b) and delaminated plates (c-d) when excited at Mode 6 respectively

5 DELAMINATION DETECTION

Having known the presence of prominent higher harmonic components of the exciting frequency in the spectra due to the nonlinear interaction between the delaminated layers in the composite structure, a simple approach has been devised for this purpose of the delamination detection. The term “Normalized Summation of higher Harmonics (NSH)” at each mode has been defined which is computed as

Summation of harmonics (SH) when excited at Mode i at location j ,

$$SH_{ij} = \sum_{n=2}^h (v_{ij})_n \quad (1)$$

where n is the harmonics of the exciting frequency from 2, 3, ..., h , $(v_{ij})_n$ is the velocity amplitude of the harmonic, n at the exciting mode, i at the measured location, j and then this SH_{ij} is normalized by the maximum value from all the measured location to get the normalized SH (NSH). The component 1X which is the amplitude of the exciting mode has not been included in the equation (1) because the operation deflection shape (ODS) at 1X generally represents the mode shape of the exciting mode. However, the amplitude of the higher harmonics definitely related to the size and location of the delamination. Finally the contribution from few lower modes has been defined as “Cumulative NSH (CNSH)” at each measured location which has been computed as

$$CNSH_j = \sum_{i=1}^q NSH_{ij} \quad (2)$$

where q is the number of modes used for this computation. Here the first 5 modes have been used. The plots of the CNSH of the plate with and without delamination are shown in Figure 5 which provides excellent indication for the location of the delamination.

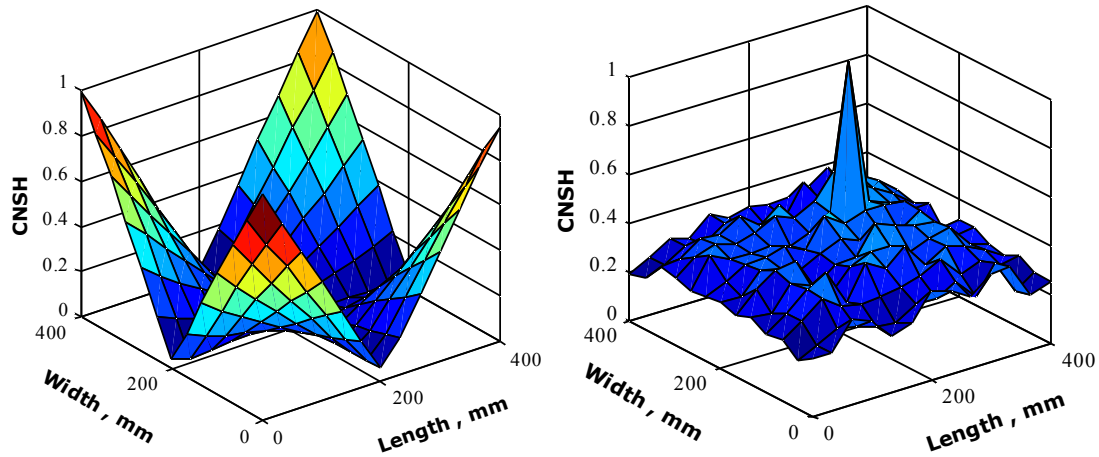


Fig. 5. Typical CNSH plots using Modes 1 to 6 in the FE simulations, (a) Healthy plate, (b) Delaminated plate

6 EXPERIMENTS

The schematic of the experimental setup is shown in Figure 6(a). It consists of a composite plate shown in Figure 2 which was hanged by the soft elastic rope from the top 2 corners of the top edge to realize the free boundary condition for all the 4 edges of the plate. A 234 gram piezo-electric shaker (Model PS-X03, M/s ISI-SYS) has been used to excite the plate and the acceleration responses were measured using the number of accelerometers (Model 352C22, M/s PCB) at different locations. Typical mounting of the shaker and few accelerometers are shown in Figure 6(b). The portable shaker is connected with a vacuum pump in the shaker amplifier unit as shown in Figure 6(a) and the vacuum pressure generated by the pump has then been used to attach the shaker to the plate. A total of 25 response measurement locations were used for the experiments, these locations are also marked in Figure 7. Location 19 is the centre of the delamination in the delaminated plate.

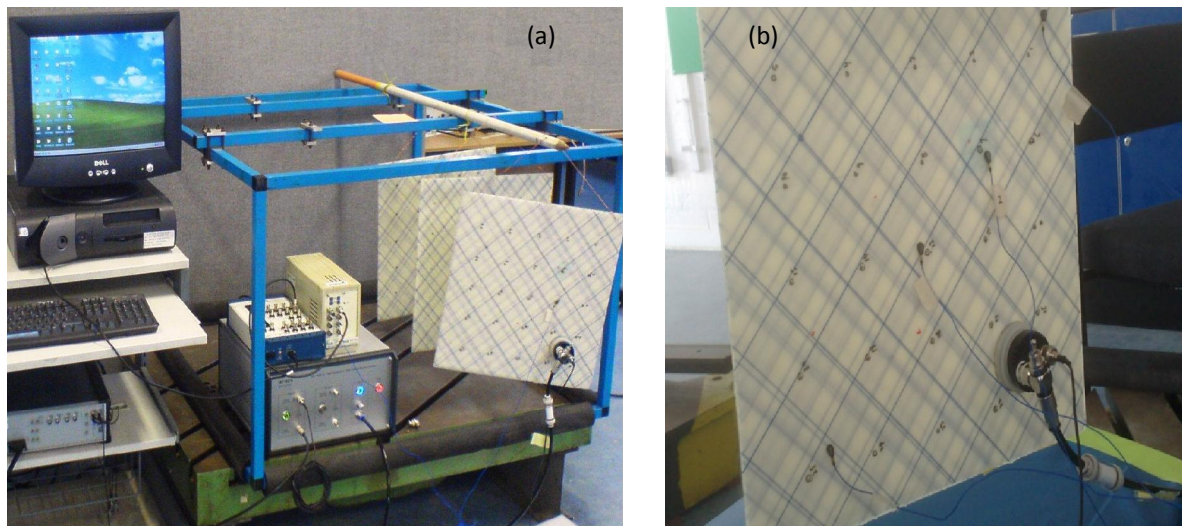


Fig. 6. (a) The experimental test setup, (b) Shaker mounting

The modal tests were conducted for both plates (healthy and delaminated) using the impulse-response modal test has been carried out using the instrumented hammer (Model 086C03, M/s PCB) to find out the natural frequencies. The modal tests were conducted when the shaker was mounted on the plate as shown in Figure 6(b). The measured data for both the tests were collected to the computer through an 8-channels 16-bit data acquisition card for the further analysis. The natural frequencies were then identified using the frequency response functions (FRFs) computed from the measured force and acceleration data. The experimentally identified modes are listed in Table 2. The identified natural frequencies for the delaminated plate are generally nearly close to the healthy plate as expected due to the small size of the delamination in the delaminated plate. However the experimental frequencies are slightly lower than the FE computed frequencies (Table 1) due to the mass of the shaker in the experimental cases except for Mode 1. Further investigation has been done to understand the reason for little higher value for Mode 1 in the experimental cases. The study by Lin HY et al. [21] has also observed the similar behavior and it was concluded that the experimental setup for the free boundary condition generally affect Mode 1 because the plate may not be realizing the free boundary condition. Hence, this could be the possible reason for the higher value at Mode 1 in the present experimental cases.

Table 2. Experimentally identified natural frequencies

Modes	Healthy Plate	Delaminated Plate
1	58.03 Hz	57.46 Hz
2	92.85 Hz	92.45 Hz
3	130.27 Hz	133.22 Hz
4	137.44 Hz	140.40 Hz
5	153.27 Hz	155.01 Hz
6	211.12 Hz	211.25 Hz
7	263.55 Hz	262.37 Hz
8	344.89 Hz	354.21 Hz

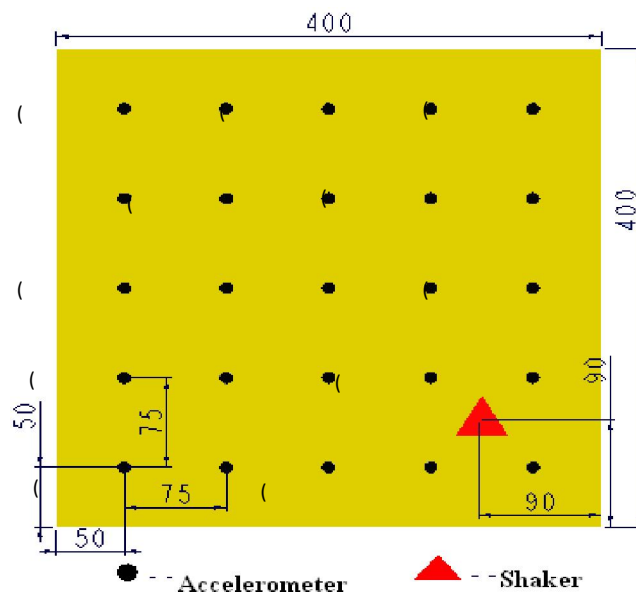


Fig. 7. Measurement locations (25 points in 5 x 5 equidistant grids) on the plate

Vibration experiments have also been conducted on the healthy and delaminated composite plates shown in Figure 6. Composite plates were excited through the shaker at the first 8 modes. The steady state acceleration responses were then collected from 25 locations on the plates using the number of accelerometers in absence of the laser vibrometer. The data were collected to the computer at the sampling frequency of 20 kHz for the further analysis. The acceleration signals were then analyzed to compute the velocity amplitude spectra for both the 2 cases. Few typical acceleration spectra for the healthy plate and the delaminated plate are shown in Figure 8 when excited at mode 6 at locations 9 and 20 (marked in Figure 7). The '1X' in the spectra indicates the exciting frequency and the components 2X, 3X, ... represent the higher harmonics of the exciting frequency in the spectra. Once again, it has been observed from the spectra that due to anisotropic nature of the composite plate, the modes other than the exciting mode also contribute to the overall response. In addition to this effect, the nonlinear interactions between the delaminated layers in the plate with delamination also introduce the higher harmonics of the exciting frequency. Although the presence of such higher harmonics has also been observed in the healthy composite plate, probably again due to anisotropic property of the composite material, but the effect was not prominent compared to the plate with delamination. The plots of the CNSH of the plate with and without delamination for the experimental cases are also shown in Figure 9 which, once again, provides excellent indication for the location of the delamination. Hence the experimental observations are consistent with the FE simulated results.

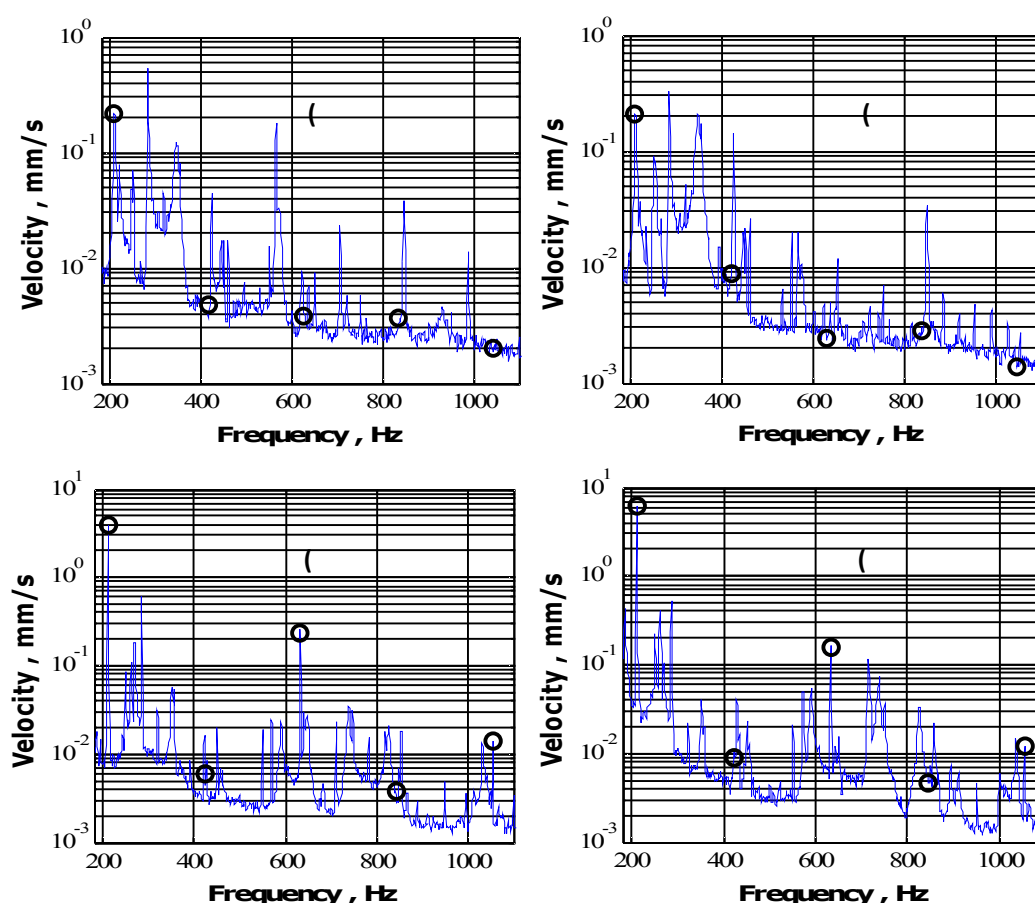


Fig. 8. Typical measured amplitude acceleration response spectra at locations 9, 20 for the healthy (a-b) and delaminated plates (c-d) when excited at Mode 6 respectively

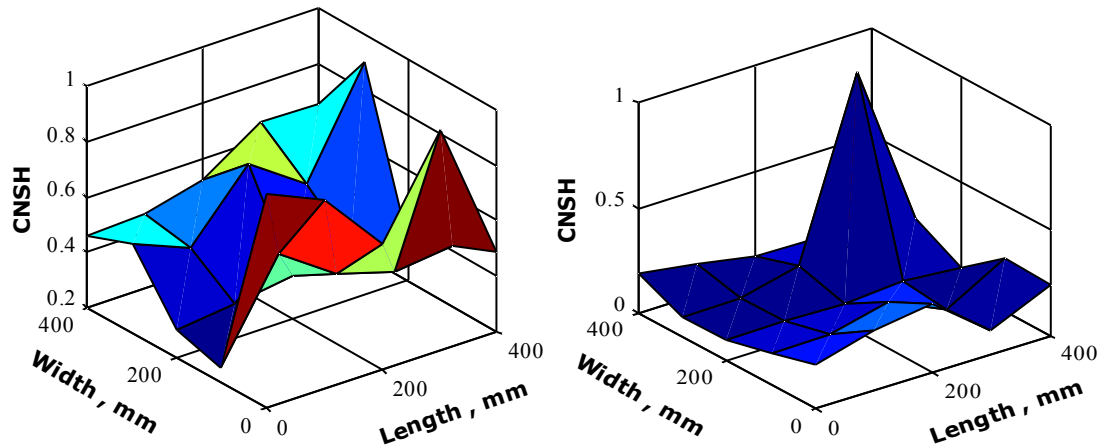


Fig. 9. Typical CNSH plots using Modes 1 to 6 for the experimental examples, (a) Healthy plate, (b) Delaminated plate

7 CONCLUSION

The nonlinear interaction between the delaminated layers in the composite plate during vibration has been considered here for the delamination detection. Initially, a typical composite plate made E-glass epoxy with and without delamination has been used in the FE simulation for the development of the detection method. As expected, the nonlinear interaction between the delaminated layers when excited at a few lower modes produced the prominent higher harmonic components of the exciting frequency. Then the normalized contribution of higher harmonic components at each mode has been defined as the "Normalized Summation of Harmonics (NSH)" and then it's cumulative for a few lower modes as CNSH. The delamination location has clearly been identified by the proposed CNSH method for the simulated examples. The method has then further been validated by the experiments conducted on the composite plates same as used in the FE simulations with and without delamination. Hence the proposed CNSH can be deemed as a good indicator for the delamination detection. Since the development of method uses the velocity responses at just few lower modes so it is practically feasible for real structure using the conventional shaker and the laser vibrometer for this purpose.

REFERENCES

- [1] S. H. Diaz Valdes, and C. Soutis, "Delamination detection in composite laminates from variations of their modal characteristics," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 228, no. 18, pp. 1-9, 1999.
- [2] A. Paolozzi and I. Peroni, "Detection of Debonding Damage in a Composite Plate through Natural Frequency Variations," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 9, no. 4, pp. 369-389, 1990.
- [3] H. Y. Kim and W. B. Hwang, "Effect of debonding on natural frequency response functions of honeycomb sandwich beams," *Composite Structures*, vol. 55, no. 1, pp. 51-62, 2002.
- [4] P. Qiao, K. Lu, W. Lestari, and J. Wang, "Curvature mode shape-based damage detection in composite laminated plates," *Composite Structures*, vol. 80, no. 3, pp. 409-428, 2007.
- [5] P. Kudela and W. Ostachowicz, "A Multilayer Delaminated Composite Beam and Plate Elements: Reflections of Lamb Waves at Delamination," *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, vol. 16, no. 3, pp. 174-187, 2009.
- [6] H. Y. Kim and W. B. Hwang, "Effect of debonding on natural frequency response functions of honeycomb sandwich beams," *Composite Structures*, vol. 55, no. 1, pp. 51-62, 2002.
- [7] C. N. Della and D. Shu, "Vibration of beams with two overlapping delaminations in pre-buckled states," *Composites Part B*, vol. 38, no. 2, pp. 109-118, 2007.
- [8] Z. Su and L. Ye, "Lamb wave-based quantitative identification of delamination in CF/EP composite structures using artificial neural algorithm," *Composite Structures*, vol. 66, no. 4, pp. 627-637, 2004.
- [10] Z. Su, L. Ye, and Y. Lu, "Guided Lamb waves for identification of damage in composite structures: a review," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 295, no. 3-5, pp. 753-780, 2006.
- [11] H. Luo and S. Hanagud, "Dynamics of Delaminated Beams," *International Journal of Solids and Structures*, vol. 37, no. 10, pp. 1501-1519, 2000.
- [12] N. Akhter, H.C. Jung, H. Chang, and K. Kim, "Location of delamination in laminated composite plates by pulsed laser holography," *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 47, no. 5, pp. 584-588, 2009.

- [13] T. Akira, T. Yuuki, and S. Yoshinobu, "Delamination monitoring of graphite/epoxy laminated composite plate of electric resistance change method," *Composites Science and Technology*, vol. 62, no. 9, pp. 1151-1160, 2002.
- [14] A. N. Amr and W. W. El-Dakhakhni, "Non-destructive evaluation of laminated composite plates using dielectrometry sensors," *Smart Materials and Structures*, vol. 18, no. 5, 055014(8pp), 2009.
- [15] H. Sohn, G. Park, J. R. Wait, N. P. Limback, and C. R. Farrar, "Wavelet-based active sensing for delamination detection in composite structures," *Smart Materials Structures*, vol. 13, no. 1, pp. 153-160, 2004.
- [16] H. W. Park, H. Sohn, K. H. Law, and C. R. Farrar, "Time reversal active sensing for health monitoring of a composite plate," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 302, no. 1-2, pp. 50-66, 2007.
- [17] A. Ghoshal, A. Chattopadhyay, M. J. Schulz, R. Thornburgh, and K. Waldron, "Experimental investigation of damage detection in composite material structures using a laser vibrometer and piezoelectric actuators," *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, , vol. 14, no. 8, pp. 521-537, 2003.
- [18] S. Wildy, B. Cazzolato, and A. Kotousov, "Detection of Delamination Damage in a Composite Laminate Beam Utilizing the Principle of Strain Compatibility," *Key Engineering Materials*, vol. 417-418, pp. 269-272, 2010.
- [19] N. Akhter, H. C. Jung, H. Chang, and K. Kim, "Location of delamination in laminated composite plates by pulsed laser holography," *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 47, no. 5, pp. 584-588, 2009.
- [20] A. N. Amr and W. W. El-Dakhakhni, "Non-destructive evaluation of laminated composite plates using dielectrometry sensors," *Smart Materials and Structures*, vol. 18, no. 5, 055014(8pp), 2009.
- [21] Lin HY, Huang JH, and Ma CC., "Vibration analysis of angle-ply laminated composite plates with an embedded piezoceramic layer," *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control.*, vol. 50, no. 9, pp. 1084-99, Sep 2003.
- [22] U. Polimeo, M. Meo, and D. P. Almond, "Smart Nonlinear Acoustic Based Structural Health Monitoring System," *Advances in Science and Technology*, vol. 56, pp. 426-434, 2008.
- [23] M. Meo, U. Polimeo, and G. Zumpano, "Detecting Damage in Composite Material using Nonlinear Elastic Wave Spectroscopy Methods," *Applied Composite Materials*, vol. 15, pp. 115-126, 2008.
- [24] J. K. Sinha and M. I. Friswell, "Simulation of the Dynamic Response of a Cracked Beam," *Computers and Structures*, vol. 80, no. 18, pp. 1473-1476, 2002.

A Novel Approach of Shape Optimization in Spoke Type Permanent Magnet Motors

Ali Jabbari

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
Arak University,
Arak 38156-8-8849, Iran

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: A novel approach of shape optimization to reduce pulsating torque components in spoke type permanent magnet motors is developed in this paper. This method is demonstrated on the iron pole shape optimization of an 8-pole/18-slot spoke type motor. The results of experiments show the effectiveness of the presented method.

KEYWORDS: Spoke type motor, Pulsating torque, iron pole shape optimization.

1 INTRODUCTION

Nowadays, permanent magnet motors are widely used in industrial automation because of their efficiency and power density. In particular, the spoke-type motor, which can focus flux from permanent magnets, has a high torque density per unit volume resulting from its high reluctance torque and structure for concentrating flux from permanent magnet. However, cogging torque and torque ripple can be increased due to a distortion of air gap flux density distribution in the spoke type motors. This drawback is due to its asymmetric magnetic reluctance on the edge of the permanent magnet.

There have been some developments for iron pole shape optimization. Cogging torque reduction in IPM motors was performed using a rotor with flux barriers [1]–[3]. Eccentric pole design was proposed to compensate the armature reaction for reducing torque ripple [4]. To obtain better performance, the rotor pole shape was varied and divided into three parts. These consist of two end parts of eccentric surfaces and one uniform surface. Response surface methodology (RSM) was used during the design process [5]. The continuum shape design sensitivity formula and the finite element method are employed to calculate the sensitivity of flux linkage to the design variables, which determine the shape of iron pole piece [6]. They used B-Spline parameterization to optimize the design variables in order to provide the back-EMF waveform as close as possible to a sinusoidal form.

The main challenge of current optimization methods, especially for complex one, is the number of design variables required for rotor pole shape optimization and the generality of the procedure. The first method has poor performance due to the loss in flux barriers. The second method is only suitable for motor rotation in one direction. Also, the later method is not a general approach to achieve the optimum rotor pole shape profile.

A novel algorithm applicable for a larger class of problems is developed in this research and it is conducted to rotor pole shape optimization of a 3-phase spoke type motor with 8 poles-18 slots. An innovative, comprehensive way of using an efficient design variables linking method, termed as reduced basis technique [7], is demonstrated for rotor pole shape optimization. In the reduced basis technique, many initial rotor pole shapes, called basis shapes, are combined linearly by assigning weight factors. Different resultant shapes can be generated by changing their weight factors. Therefore, the number of design variables required to define the shape is reduced to the number of basis shapes. So, the weights assigned for each basis shapes are the design variables and the optimization goal is to find the best possible combination of these weights to minimize a cost function.

The presented algorithm focuses on the Taguchi method which is the combination of mathematical and statistical techniques used in the empirical study of relationships and optimization, in which several independent variables influence a dependent variable or response. The choice of an experimental design to build the model depends on the objectives of the experiment and the number of factors to be investigated.

2 SHAPE OPTIMIZATION METHOD

2.1 INITIALIZATION

The iron pole shape optimization of a 8poles-18slots spoke type motor is demonstrated in this work. A cross-section of the motor in which rotor shape is circular is shown in Fig. 1 and characteristics of the motor are listed in table 1. The problem can be solved in multiple levels as shown in Fig 2, such as the optimization procedure guides the designer progressively in selecting viable basis shapes.

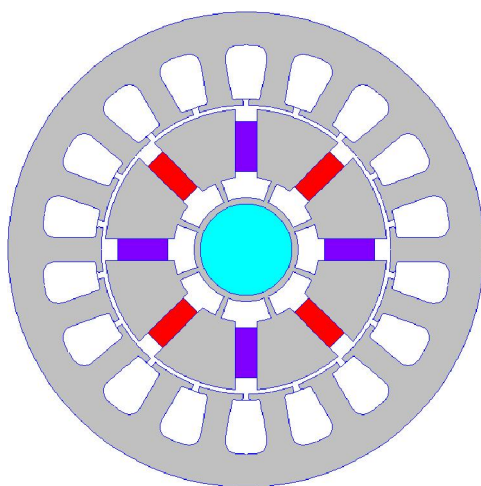


Fig. 1. Cross section of 8P18S IPM motor

Table 1. Specification of the investigated IPM motor.

Parameter	Value
Outer Diameter	60 mm
Pole number	4
Slot number	24
PM flux density	1.05 T
Rotor outer diameter	37 mm
Magnet thickness	3 mm
Stator length	65 mm

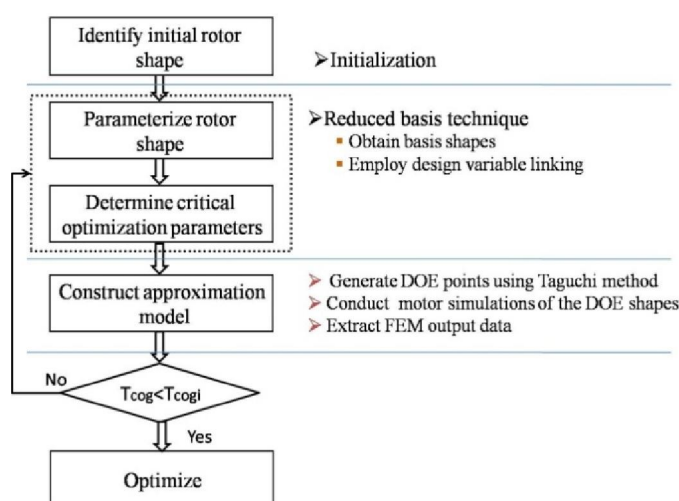


Fig. 2. Flowchart of design optimization process

2.2 SHAPE PARAMETERIZATION

The second step is to define design parameters. Based on geometrical nature of the motor (see fig. 3), it is enough to consider one pole piece. Since the rotation of rotor is bidirectional, the rotor pole shape should be symmetrical; therefore, only one half rotor pole shape is defined. The geometrical features of basis shapes can be defined in polar system in which, a point called the centre point is considered at centre of the rotor and many radial lines that have the same angle from each other ($\theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_n$) meet the boundary of basis shape. The radial co-ordinates ($r_1, r_2, \dots, r_n$) of these boundary points define the basis vector (R).

$$R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

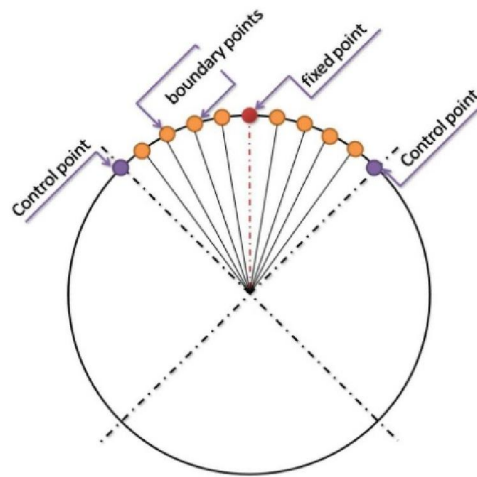


Fig. 3. Basis vector definition

2.3 OBJECTIVES AND CONSTRAINTS

The objective function in this research is to minimize cogging torque value. Since this value is not constant respect to rotation angle of rotor, peak to peak value is considered as cost function. Also, during simulation of motor, it is assumed that energy error of the system be lower than 0.2%.

Based on problem geometry and characteristics, geometrical constraints can be defined for ease of solution. As shown in Fig. 3, the rotor shape has three control points. One of them assumed to be fixed and the other two points, have symmetry respect to the fixed point, therefore, only one point is considered in computations.

2.4 REDUCED BASIS TECHNIQUE

In this paper, a rotor pole shape optimization method to reduce cogging torque, in IPM motors is investigated by using the reduced basis technique. The primary objective of the method is to reduce the enormous number of design variables required to define the rotor pole shape. The reduced basis technique is a weighted combination of several basis shapes. The aim of the method is to find the best combination using the weights for each rotor pole shape as the design variables. A multi-level design process is developed to find suitable basis shapes or trial shapes at each level that can be used in the reduced basis technique. Each level is treated as a separated optimization problem until the required objectives – minimum cogging torque– is achieved. The process is started with geometrically simple basis shapes that are defined by their shape co-ordinates.

2.5 BASIS VECTOR CONSTRUCTION

This step of optimization procedure it is to select appropriate basis shapes. Fig. 4 shows three basis shapes assumed as different spline curves in this process. Spline curves are smooth, empirical and can be manufactured by CNC machines. For all cases, the fixed point is on $(r, \theta) = (37mm, 0^\circ)$ and co-ordinates of second point for Basis 1, Basis 2, and Basis 3 are $(36mm, 45^\circ)$, $(35mm, 45^\circ)$, and $(34mm, 45^\circ)$, respectively. Each basis shapes is defined by one radial boundary point and basis vectors of each basis shape, R1, R2 and R3, is constructed.

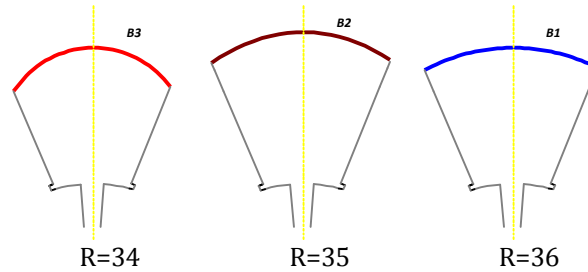


Fig. 4. The selected Basis shapes

2.6 FINITE ELEMENT ANALYSIS

This step is to perform 2-D FEA simulations of the basis shapes to find the cogging torque for preliminary analysis as shown in Fig. 5. The peak to peak cogging torque value of the basis shapes are 0.084585, 0.096331, and 0.098793 (N.m), respectively.

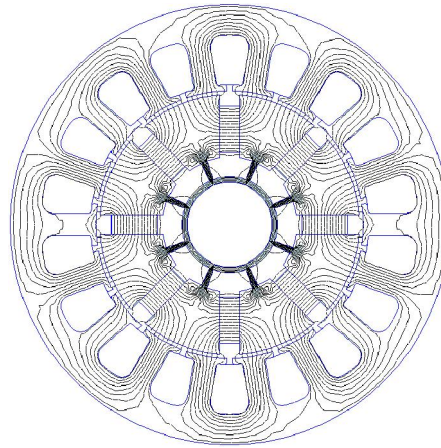


Fig. 5. Finite element analysis of the model

- Design variable linking

These basis vectors is combined with the weighting factors, w_1 , w_2 , and w_3 that correspond to each basis vector based on the following equation

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n w_i R^i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

where, $0 \leq w_i \leq 1$, and n is number of radial boundary points.

If the number of shape variables required to define a basis shape is $m=30$, then by applying the reduced basis method, the number of design variables is decreased from $m=30$ to $n=3$ (equal to the number of weighing factors). By

changing these weights, it is possible to obtain various resultant rotor pole shapes for the optimizer to find the best combination of these weights.

From the preliminary analysis, it can be said that the Basis 1 is more successful than the other two shapes in reducing the cogging torque. Therefore, the contribution of Basis 1 must be more than the other basis shapes, which must be recognized by the optimizer.

2.7 SURROGATE MODEL CONSTRUCTION

The experimental design of Taguchi method [8] is used to build the approximation model and to perform optimization. This methodology, in which several independent variables (here, weighting factors) influence on a dependent variable (here, cogging torque), is the combination of mathematical and statistical techniques used in the empirical study of relationships and optimization. The goal of Taguchi method is to secure an optimal combination. Having performed the analysis of results, the predicted optimum result must be verified through carrying out experiments at optimum combination of factors. If the result of optimum experiment is within the permissible limit, the predicted result will be verified and otherwise, the DOE experiments must be redesigned.

9 DOE points are generated to conduct simulation. Simulations are conducted at these DOE points to find the cogging torque and to build the Taguchi models for optimization. Optimization is performed in QualiTek-4 software to minimize the cogging torque. Weight factors and Levels are listed in table 2. The optimum weights are 0.9, 0.7, and 0.6, respectively. The cogging torque of the resultant shape is 0.034741 N.m. It can clearly see that most of the contribution is from Basis 1. There is also a significant contribution from Basis 2. A comparison of peak to peak cogging torque between basis shapes and optimum shape is shown in table 3.

Table 2. Weighting factors and their selected values

Factor	Level 1	Level 2	Level3
A1	0.8	0.9	0.95
A2	0.5	0.7	0.8
A3	0.4	0.6	0.75

Table 3. A comparison of cogging torque for several curves

Rotor shape	Cogging Torque
Initial	0.138486
Spline-1	0.084585
Spline-2	0.096331
Spline-3	0.098793
Optimum	0.034741

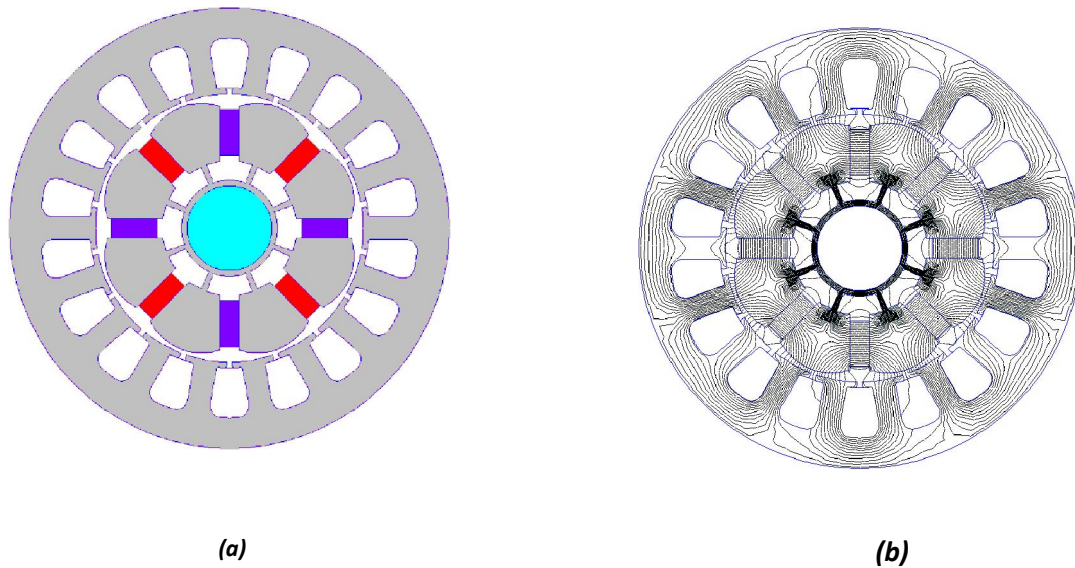


Fig. 6. Optimum resultant shape, (a) geometrical model, (b) finite element model

The geometrical and finite element model of the optimal rotor is shown in Fig. 7. Fig. 8 shows two fabricated rotor which are based on the initial and optimal shapes. The history of cogging torque reduction is experiments and is compared in Fig. 9.

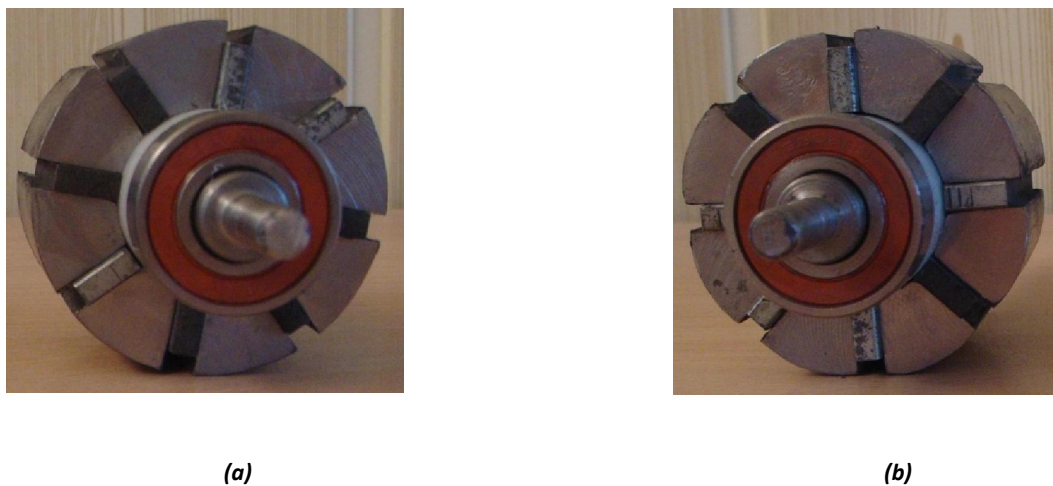


Fig. 7. The fabricated motors, (a) initial design, (b) optimized design

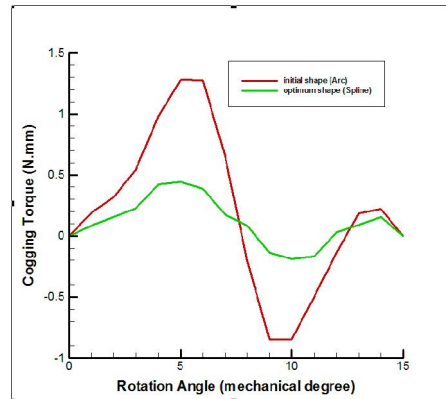


Fig. 8. History of cogging torque reduction

3 CONCLUSION

A two-dimensional rotor pole shape optimization method for a permanent magnet motor is introduced in this paper using the reduced basis technique. This design technique can be used for iron pole shape optimization. The concept of a multi-level design process is introduced, which aids the designer in the selection of practical basis shapes that will give cogging torque reduction, but this will also increase the number of FEA simulations. It is important to mention that if expert knowledge is available, then practical basis shapes can be selected and the optimum rotor pole shape can be obtained in a single level. Increasing the number of basis shapes also enables the designer to obtain a better rotor pole shape, but the computation time also increases to build an approximation model. The reduced basis method aids in the use of the ANOVA models for optimization. Most rotor pole shapes obtained by this method are practical. However, if the motor geometry is complicated, it is prudent to start from very simple starting shapes. The developed algorithm has been applied on a 8poles-18slots PM motor, as a case study. An optimum rotor pole shape has been achieved by the implemented algorithms, starting from three basis shapes (splines). The cogging torque has been reduced significantly (from 0.138486 to 0.034741 N.m) by this optimization method after 10 iterations.

ACKNOWLEDGMENT

This work is carried out under financial support of Arak University.

REFERENCES

- [1] B. Y. Yang, K. Y. Yun, and B. I. Kwon, "Designing method of flux barriers in rotor for reducing cogging torque," in *COMPUMAG2005*, Shenyang, China, June 2005, IV-26, PG1-7.
- [2] D. H. Kim, I. H. Park, J. H. Lee, and C. E. Kim, "Optimal shape design of iron core to reduce cogging torque of IPM motor," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 39, no. 3, pp. 1456–1459, May 2003.
- [3] T. U. Jung and H. Nam, "Rotor design to improve starting performance of line-start synchronous reluctance motor," *J. Elect. Eng. Technol.*, vol. 1, no. 3, Sep. 2006.
- [4] Jang-Sung Chun, Hyun-Kyo Jung, and Joong-Suk Yoon, "Shape optimization of closed slot type permanent magnet motors for cogging torque reduction using evolution strategy," *IEEE Transactions On Magnetics*, vol. 33, no. 2, Mar 1997.
- [5] Kyu-Yun Hwang, Sang-Bong Rhee, Byoung-Yull Yang, and Byung-Il Kwon, "Rotor Pole Design in Spoke-Type Brushless DC Motor by Response Surface Method," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 35, no. 3, May 1999.
- [6] Joon-Ho Lee, Dong-Hun Kim, and Il-Han Park "Minimization of Higher Back-EMF Harmonics in Permanent Magnet Motor Using Shape Design Sensitivity With B-Spline Parameterization," *IEEE Transaction on Magnetics*, vol. 39, no. 3, May 2003.
- [7] N. Thiagarajan, and R. V. Grandhi, "Multi-level design process for 3-D preform shape optimization in metal forming," *Journal of Material Processing Technology*, 170 (2005) 421-429.

An experimental and Finite Element analysis of radii and skew effects on interior permanent magnet motors performance

Ali Jabbari

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
Arak University,
Arak 38156-8-8849, Iran

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Effect of rotor iron pole radii and skew on performance of interior permanent magnet motors is studied in this paper. A comparison is carried out by finite element analysis method and is confirmed by the experimental results obtained with two laboratory prototypes. The results show that, although the skew method is very effective in suppressing the cogging torque of an interior permanent magnet (IPM) motor, it will deteriorate other performances more in respect to radii ratio method.

KEYWORDS: Interior permanent magnet motor, pulsating torque minimization, rotor iron pole radii, skew ratio.

1 INTRODUCTION

Recently, interior permanent magnet (IPM) motors have been widely used in electric vehicles, washing machines, air conditioner, etc. because of their high efficiency and easy speed control. However, cogging torque which arises due to the interaction between rotor permanent magnets and slotted stator may cause vibration and acoustic noises.

A broad variety of techniques for minimizing cogging torque is documented in the literature for permanent magnet machines. Among various approaches, skewing is known to be the most effective method for reducing of the cogging torque in permanent magnet (PM) machines [1-8].

Several studies have been conducted to reduce cogging torque using shape optimization. Table I summarizes the literature by showing the type of optimization approach. In [9], the reduction of the cogging torque as well as the improvement of the flux waveform is achieved by suitably shaping the geometry of the polar piece. In [10], the shape of flux barriers is optimized by finite element method to reduce the cogging torque in an interior permanent magnet synchronous motor. The effect of the position of the flux barriers on the torque ripple is analytically studied and experimentally verified by [11]. Using the continuum sensitivity analysis approach coupled by the finite element analysis method, rotor shape optimization is investigated by [12] to reduce cogging torque of an interior permanent magnet motor without deteriorating other performances. Segmented IPM machine is proposed to provide an improved flux-weakening capability and to reduce cogging torque by [13]. The continuum shape design sensitivity formula and the finite element method are employed to calculate the sensitivity of flux-linkage to the design variables, which determine the shape of iron pole piece by [14]. In [15], a rotor pole shape proposed which consists of a uniform and an eccentric surface in order to reduce cogging torque, torque ripple, and harmonics of back EMF waveform in spoke-type brushless DC motor in [16]. An optimal shape design obtained by drilling small circular holes in the rotor is reported by [17]. They stated that an optimal location and radius of the holes effectively reduces the torque pulsation of the IPM motor.

Table 1. Specification of the investigated IPM motor

Researcher	Shaping Case	Cost Function
[1]	polar piece geometry	cogging torque, flux waveform
[2]	flux barriers	cogging torque
[3]	the position of the flux barriers	torque ripple
[4]	rotor shape	cogging torque
[5]	segmented IPM	flux-weakening, cogging torque
[6]	iron pole shape	flux-linkage
[7]	rotor pole shape	cogging torque, torque ripple, back EMF waveform
[8]	circular holes in the rotor	torque pulsation

2 IPM MOTOR DESIGN

In Fig. 1, a cross-section of the investigated motor which is a 3 phases, 8 poles-18 slots is shown and characteristics of the motor are listed in Table II.

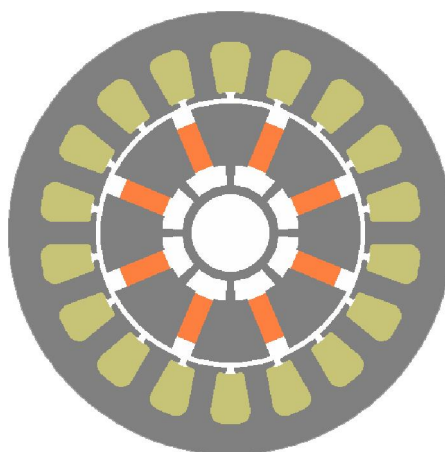


Fig. 1. Cross section of 8P18S IPM motor

Table 2. Specification of the investigated IPM motor

Parameter	Value
Outer Diameter	115 mm
Pole number	8
Slot number	18
Phase number	3
PM flux density	1.17 T

3 RADII RATIO AND SKEW RATIO DEFINITION

Radii ratio is the ratio of rotor iron pole radius to maximum allowable radius of iron pole piece and is represented by ρ , i.e.

$$\rho = \frac{R}{R_{\max}} \quad (1)$$

In this research, the effect of rotor iron pole radii on motor performance has been investigated, by selecting 64 radius in interval of [11, 33.5] mm with a step size of 0.5mm. Therefore, the ρ value is in interval of [0.328, 1].

Skew ratio is defined as the ratio of slot skew angle to slot pitch angle and is represented by α . Peak cogging torque curve versus skew ratio has four local minimum points. The position of these points is consistent with the results of the following equation:

$$\alpha_{sk} = k \frac{N_s}{N_l} \quad (2)$$

Where, $k = 1, 2, \dots, \frac{N_l}{N_s}$. For the investigated motor,

$$\alpha_{sk} = k \frac{18}{18 \times 4} = \frac{k}{4} \quad (k = 1, 2, 3, 4)$$

Therefore the optimal α_{sk} will be 0.25, 0.5, 0.75, and 1. Peak cogging torque shape is sine like. In $\alpha=1$, all harmonics of cogging torque will be cancelled.

4 EFFECT OF RADII RATIO AND SKEW RATIO ON MOTOR PERFORMANCE

In this section, the effect of radii ratio and skew ratio on motor performance has been studied. Motor performance can be classified as

- Peak cogging torque,
- Electromagnetic torque ripple,
- Reluctance torque ripple.
- Peak Back-EMF value,
- V-THD value,
- Efficiency.

Pulsating torque can be calculated with the sum of cogging, electromagnetic and reluctance torque components.

4.1 PEAK COGGING TORQUE VALUE COMPARISON

By reducing the radii ratio (ρ), peak cogging torque value (T-pk) decreases significantly from 0.01827N.m (at $\rho=1$) to 0.0001003N.m (at $\rho=0.343$) and then increases slightly to 0.0001668N.m (at $\rho=0.328$), as shown in Fig. 2. In other words, a parabolic curve with a minimum at $\rho=0.343$ can be adopted for cogging torque variations respect to radii. By reducing the radii, peak cogging torque variation rate decreases gradually from a sharp slope of 70.6° (at $\rho=1$) to 0.126° (at $\rho=0.343$).

By increasing skew ratio from zero to 0.25, peak value of cogging torque decreases with a sharp slope. From skew ratio of 0.25 to 0.375, peak value of cogging torque increases and then decreases to 0.5.

4.2 PEAK BACK-EMF VALUE COMPARISON

By reducing the radii, peak value of Back-EMF reduces from 108.718V (at $p=1$) to 107.936V (at $p=0.895$) with a constant slope of 7.4° . Continuing the process of reducing the radii, peak value of Back-EMF increases to 119.382V with a constant slope of 16.06° (at $p=0.328$). In other words, motor nominal voltage reduces from 217.436V (at $p=1$) to 215.874V (at $p=0.895$) and then increases to 238.778V (at $p=0.328$).

Peak value of Back-EMF decreases from 108.718V (at $\alpha=0$) to 105.566V (at $\alpha=1$), as shown in Fig. 3. This means that motor nominal voltage decreases from 215.436V to 211.132V.

4.3 MOTOR EFFICIENCY COMPARISON

Motor efficiency in respect to radii is drawn in Fig. 4. Motor efficiency decreases gradually from 82.8% (at $p=1$) to 79.5% (at $p=0.328$). At optimal radii, motor efficiency value is 81.7%.

By increasing skew ratio, motor efficiency decreases from 82.8 % (at $\alpha=0$) to 80.5% (at $\alpha=1$) as shown in Fig. 4.

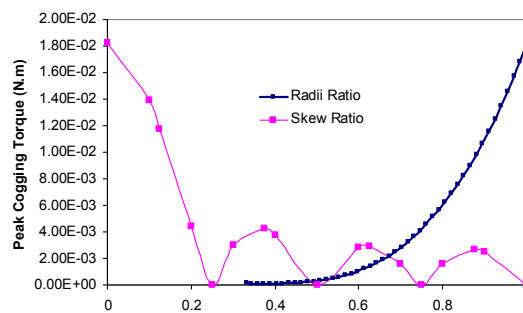


Fig. 2. Peak cogging torque variations respect to rotor iron pole radii

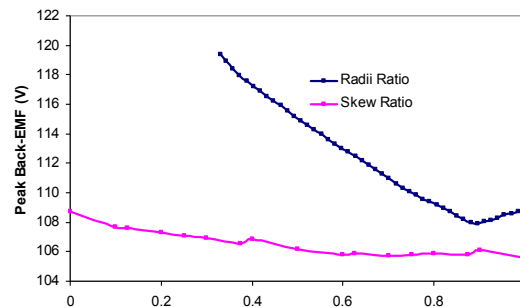


Fig. 3. Peak Back-EMF waveform versus skew ratio

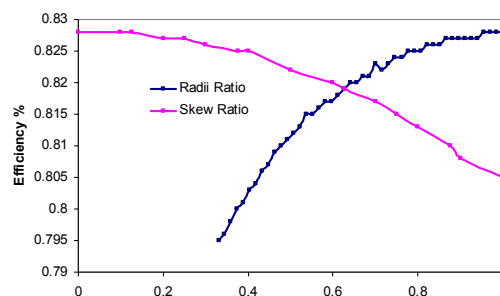


Fig. 4. Motor efficiency versus skew ratio

4.4 ELECTROMAGNETIC TORQUE RIPPLE COMPARISON

As shown in Fig. 5, electromagnetic torque ripple decreases from 0.01139N.m (at $\rho=0.582$) and then increases to 0.0205799N.m (at $\rho=0.328$).

Electromagnetic torque ripple decreases from 0.0761 (at $\alpha=0$) to 0.0125999N.m (at $\alpha=1$).

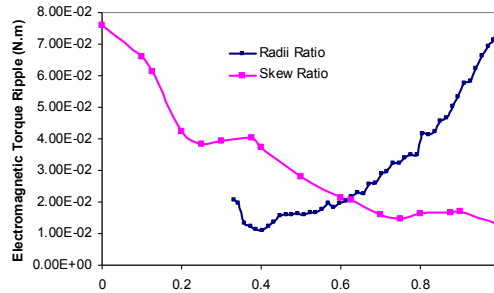


Fig. 5. Electromagnetic torque ripple versus skew ratio

4.5 V-THD COMPARISON

By reducing the radii, THD decreases with a constant slope of 14.57° from 8.44% (at $\rho=1$) to 1.51% (at $\rho=0.582$) and then increases with a constant slope of 19.29° to 6.79% (at $\rho=0.328$).

By increasing skew ratio, V-THD decreases from 8.44% (at $\alpha=0$) to 2.7% (at $\alpha=1$), as shown in Fig. 6.

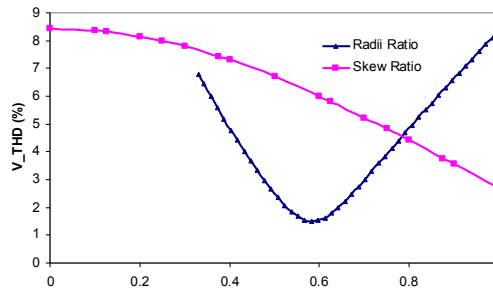


Fig. 6. V-THD versus skew ratio

4.6 RELUCTANCE TORQUE RIPPLE

By reducing the radii, as shown in Fig. 7, average reluctance torque decreased to zero and then increases by further radii reduction, whereas, by increasing skew ratio, average reluctance torque will not decrease considerably.

By reducing the radii, reluctance torque ripple decreases from 0.0170016N.m (at $\rho=1$) to 0.000363207N.m (at $\rho=0.477$) and then increases to 0.0051337N.m (at $\rho=0.328$), as shown in Fig. 8.

By increasing skew ratio, reluctance torque ripple decreases from 0 to 0.25, increases from 0.25 to 0.375, decreases from 0.375 to 0.6, increases from 0.6 to 0.625, decreases from 0.625 to 0.75, increases from 0.75 to 0.875, decreases from 0.875 to 1. By increasing skew ratio, reluctance torque ripple will be decreased. Maximum value is 0.0761 N.m (at $\alpha=0$) and minimal value is 0.0126N.m (at $\alpha=1$), as shown in in Fig. 8.

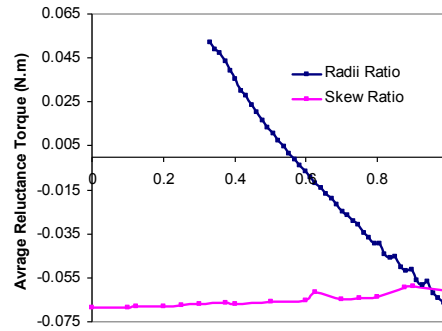


Fig. 7. Reluctance torque versus skew ratio

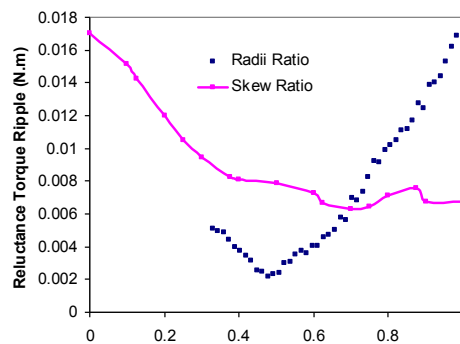


Fig. 8. Reluctance torque versus skew ratio

5 EFFECT OF RADII RATIO AND SKEW ON MOTOR WAVEFORM

In this section, the effect of radii ratio and skew ratio on motor performance components waveforms is compared.

5.1 COGGING TORQUE WAVEFORM COMPARISON

Cogging torque waveforms versus mechanical degree for different radii is drawn in Fig. 9. With a comparison of these curves, it can be found that the number of resting points is constant (9 points) from 1 to 0.477 and then increases to 65 (at $\rho=0.343$). In other words, the frequency of cogging torque waveform is constant from 1 to 0.492 and then increases. So the position and the number of peaks and valleys will be changed after 0.492. Therefore, the peak and valley positions in pulsating torque waveform will also be shifted.

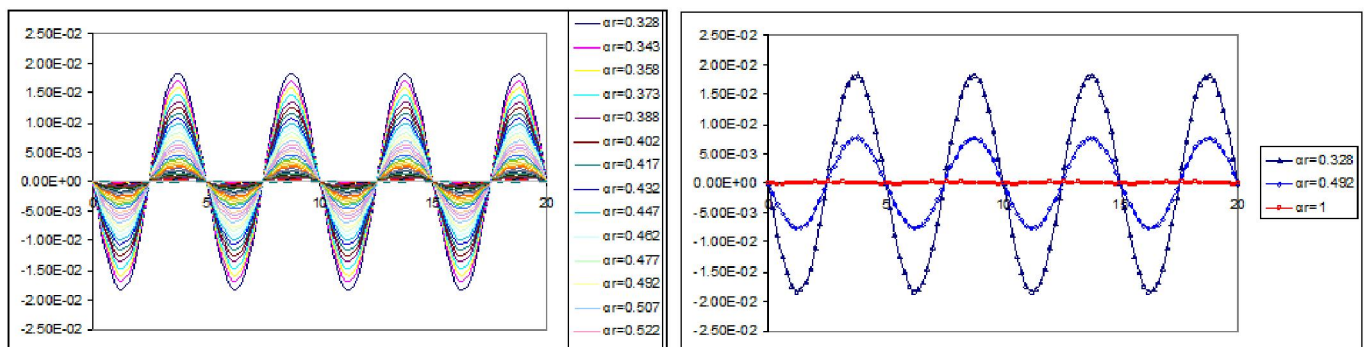


Fig. 9. Cogging torque versus mechanical degree for different radii

As shown in Fig. 10, after each minimal point, the position of peak and valley in the curve shifted by 2° mechanical degree, but the number of resting points is constant.

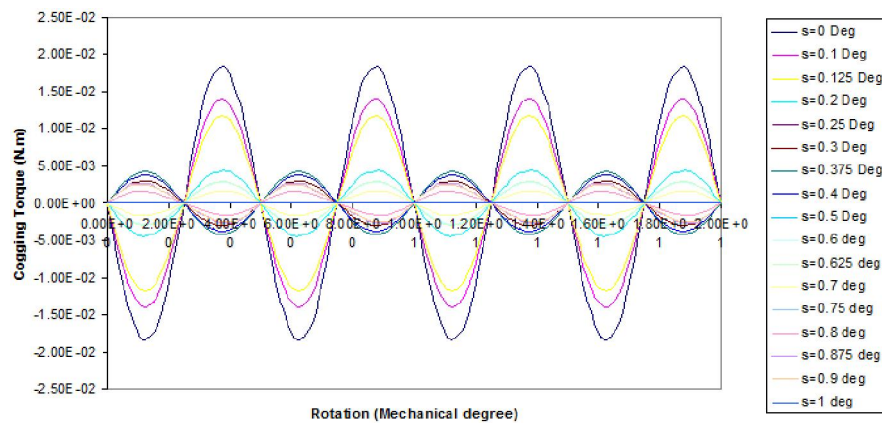


Fig. 10. Cogging torque versus skew ratio

5.2 BACK-EMF WAVEFORM COMPARISON

By reducing the radii, back-EMF waveform closes from a trapezoidal shape (at $\rho=1$) to a sinusoidal one (at $\rho=0.522$) and then diverted from sinusoidal (to $\rho=0.328$) as shown in Fig. 11.

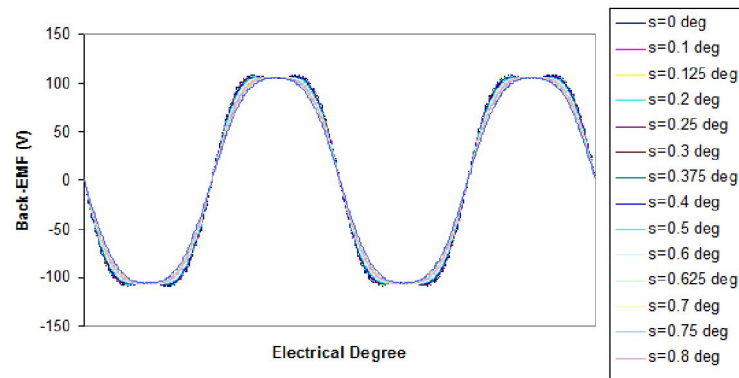


Fig. 11. Back-EMF waveform versus electrical degree for different radii

As shown in Fig. 12, by increasing skew ratio, Back-EMF waveform closes from a trapezoidal shape (at $\alpha=0$) to a sinusoidal one ($\alpha=1$), so that it has the least deviation from sinusoidal shape at $\alpha=1$ (V-THD=2.7%).

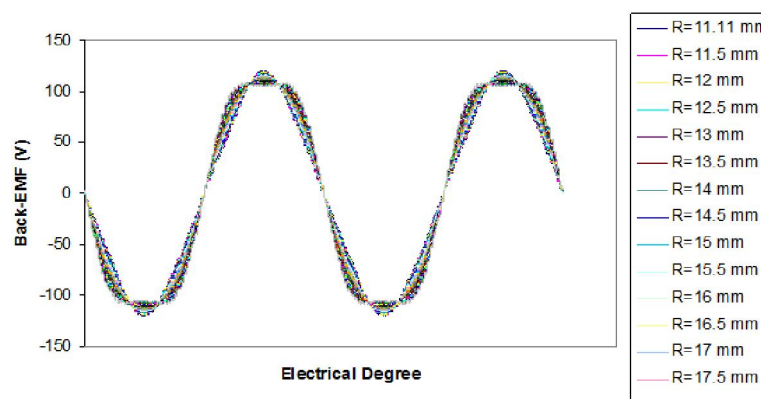


Fig. 12. Back-EMF waveform versus skew ratio

5.3 ELECTROMAGNETIC TORQUE WAVEFORM COMPARISON

As shown in Fig. 13, by increasing skew ratio, higher harmonics of electromagnetic torque will be canceled.

As shown in Fig. 14, frequency of electromagnetic torque fluctuations decreases by reducing the radii. This means that the number of resting points per 180° electrical degree decreases.

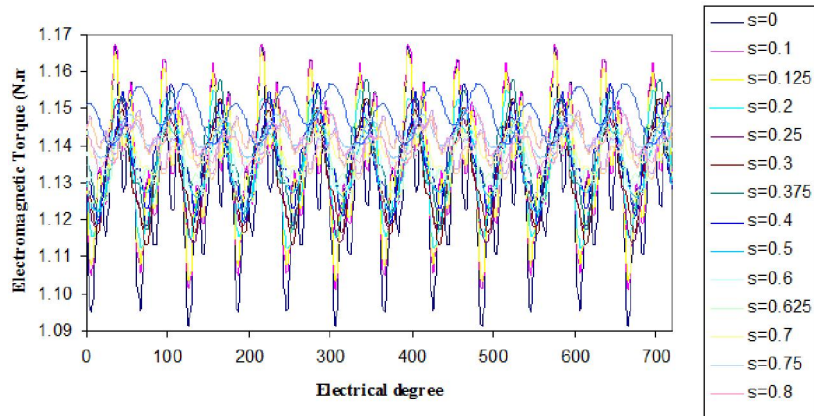


Fig. 13. Electromagnetic torque versus skew ratio

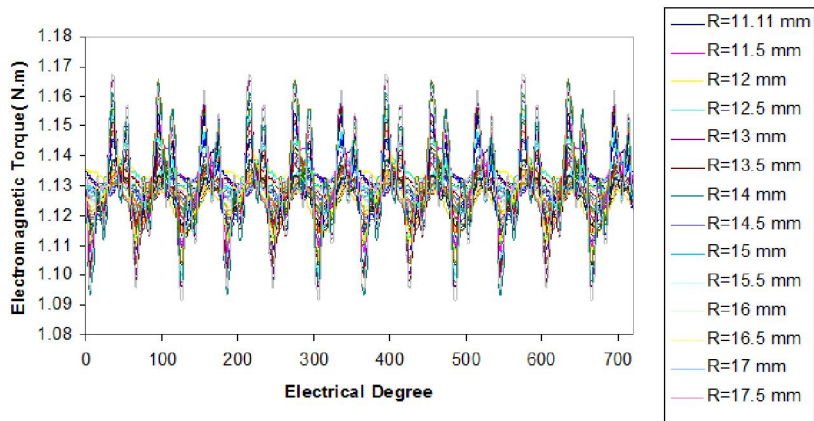


Fig. 14. Electromagnetic torque waveform versus radii

5.4 RELUCTANCE TORQUE WAVEFORM COMPARISON

As shown in Fig. 15, by reducing the radii, average value of reluctance torque reaches from -0.0085008N.m (at $p=1$) to zero (at $p=0.477$) and then to 0.00256685N.m (at $p=0.328$).

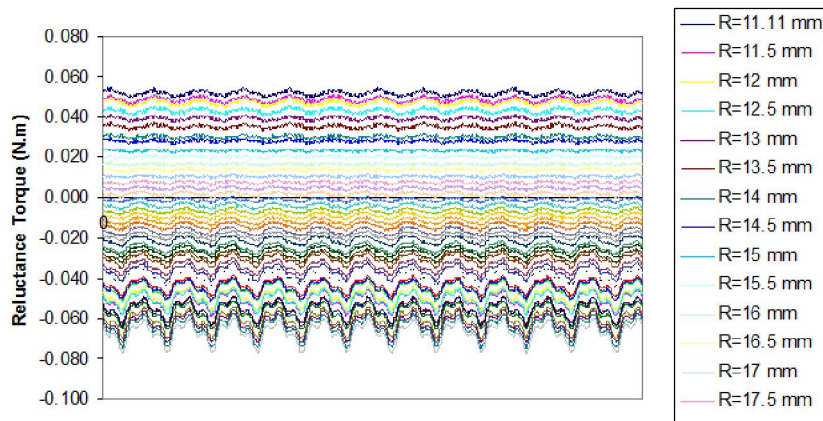


Fig. 15. Reluctance torque waveform versus radii

Reluctance torque waveform is drawn for different skew ratios as shown in Fig. 16. A comparison with the effect of radii, average value of reluctance torque and its frequency does not change considerably. In other words, average value does not close to zero even at $\alpha=1$.

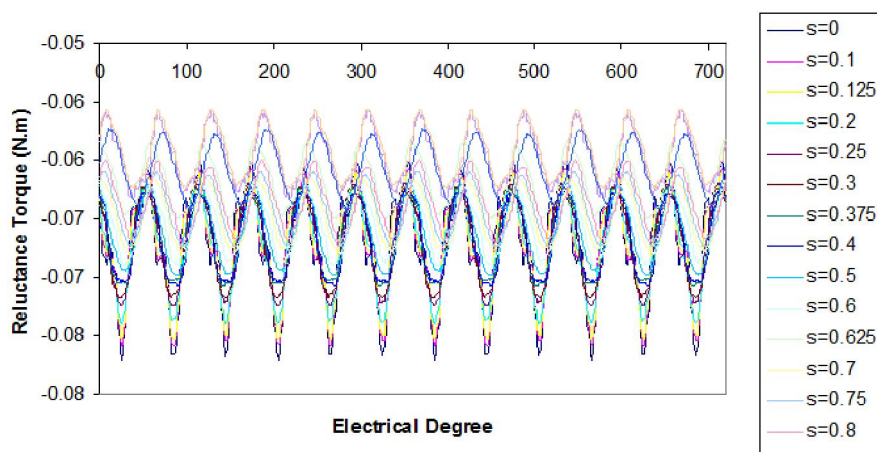


Fig. 16. Reluctance torque versus electrical degree for different skew ratios

6 EXPERIMENTAL RESULTS

The initial and optimal design of the investigated motor is shown in Fig. 17. The experimental results were obtained using the two laboratory prototypes fabricated based on initial and optimal design.

Based on the initial experimental set-up of the Fig. 18, a comparison of Back-EMF for initial and optimal design is shown in Fig. 19. The results show that after optimization of radii, V-THD will be decreased 82% (from 9.12% at $r=33.5\text{mm}$ to 1.64% at $r=19.5\text{ mm}$) which is in good agreement with the FEM analysis result at optimum radii (82.1%).

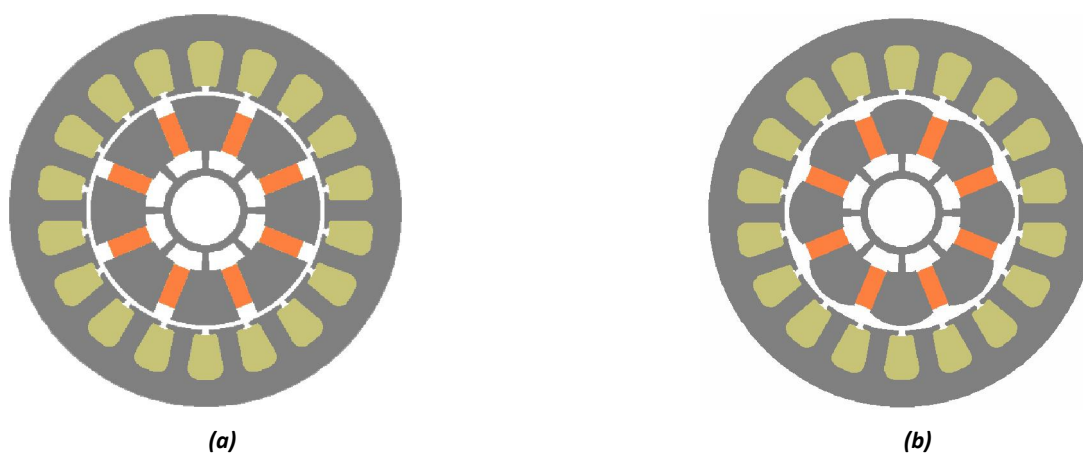


Fig. 17. IPM motor, (a) initial rotor, (b) optimized rotor



Fig. 18. Experimental set-up

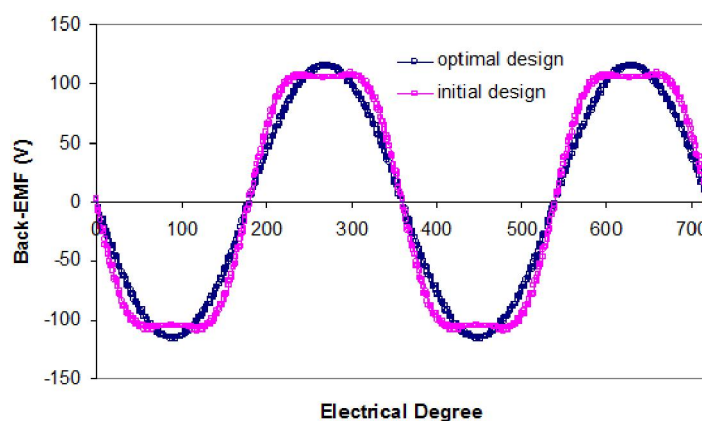


Fig. 19. A comparison of Back-EMF for initial and optimal design

7 CONCLUSION

The effect of radii and skew ratio effect on motor performance is studied first by finite element analysis method and then is validated by experiment. Comparison results show that radii shape optimization is more effective than optimal skew ratios in reducing pulsating torque components.

REFERENCES

- [1] Rajesh P. Deodhar, David A. Staton, Thomas M. Jahns, and J. E. Miller, "Prediction of Cogging Torque Using the Flux-MMF Diagram Technique," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 32, no. 3, May/June 1996.
- [2] D.C. Hanselman, "Effect of skew, pole count and slot count on brushless motor radial force, cogging torque and back EMF," *IEE Proc-Electr. Power Appl.*, vol. 144, no. 5, September 1997.
- [3] G.H. Jang, J.W. Yoon, K.C. Ro, N.Y. Park and S.M. Jang, "Performance of a Brushless DC Motor due to the Axial Geometry of the Permanent Magnet," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 33, no. 5, September 1997.
- [4] M. Łukaniszyn, M. Jagieła, and R. Wróbel, "Optimization of Permanent Magnet Shape for Minimum Cogging Torque Using a Genetic Algorithm," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 40, no. 2 March 2004.
- [5] Min Dai, Ali Keyhani, and Tomy Sebastian, "Torque Ripple Analysis of a PM Brushless DC Motor Using Finite Element Method," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 19, no. 1, March 2004.
- [6] Mohammad S. Islam, Sayeed Mir, Tomy Sebastian, and Samuel Underwood, "Design Considerations of Sinusoidally Excited Permanent-Magnet Machines for Low-Torque-Ripple Applications," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 41, No. 4, July/August 2005.
- [7] Delvis Anibal González, Juan Antonio Tapia, and Alvaro Letelier Bettancourt, "Design Consideration to Reduce Cogging Torque in Axial Flux Permanent-Magnet Machines," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 43, no. 8, August 2007.
- [8] Li Zhu, S. Z. Jiang, Z. Q. Zhu, and C. C. Chan, "Analytical Methods for Minimizing Cogging Torque in Permanent-Magnet Machines," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 45, no. 4, April 2009.
- [9] E.R. Braga Filho and A.M.N. Lima, "Reducing Cogging Torque in Interior Permanent Magnet Machines without Skewing," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol 34, no 5, September 1998.
- [10] Y. Kawaguchi, T. Sato, I. Miki, and M. Nakamura, "A Reduction Method of Cogging Torque for IPMSM," 2007 *IEEE*.
- [11] Nicola Bianchi, Silverio Bolognani, Diego Bon, and Michele Dai Pr'e, "Rotor flux-barrier design for torque ripple reduction in synchronous reluctance motors," 2006 *IEEE*.
- [12] Dong-Hun Kim, Il-Han Park, Joon-Ho Lee, and Chang-Eob Kim, "Optimal Shape Design of Iron Core to Reduce Cogging Torque of IPM Motor," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 39, no. 3, May 2003.
- [13] Rukmi Dutta, Saad Sayeef and M. F. Rahman, "Cogging Torque Analysis of a Segmented Interior Permanent Magnet Machine," 2007 *IEEE*.
- [14] Joon-Ho Lee, Dong-Hun Kim, and Il-Han Park, "Minimization of Higher Back-EMF Harmonics in Permanent Magnet Motor Using Shape Design Sensitivity With B-Spline Parameterization," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 39, no. 3, May 2003.

- [15] Kyu-Yun Hwang, Sang-Bong Rhee, Byoung-Yull Yang, and Byung-Il Kwon, "Rotor Pole Design in Spoke-Type Brushless DC motor by Response Surface Method," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 43, no. 4, April 2007.
- [16] A. Kioumars, M. Moallem, and B. Fahimi, "Mitigation of Torque Ripple in Interior Permanent Magnet Motors by Optimal Shape Design," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 42, no. 11, November 2006.
- [17] Sung-Il Kim, Ji-Young Lee, Young-Kyoun Kim, Jung-Pyo Hong, Yoon Hur, and Yeon-Hwan Jung, "Optimization for Reduction of Torque Ripple In Interior Permanent Magnet By Using the Taguchi Method," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 41, no. 5, 2005.

Evaluation des propriétés hydrauliques des aquifères de socle cristallin et cristallophyllien: Cas de la région du N'zi-Comoé (Centre-Est de la Côte d'Ivoire)

[Assessment of the hydraulic properties of crystalline and crystallophyllian bedrock aquifers: case study of the N'zi-Comoé region (east-central Côte d'Ivoire)]

Kouassi Amani Michel¹, Okaingni Jean Claude¹, Kouakou Koffi Eugène¹, and Biemi Jean²

¹Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi), Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et des Sciences Géographiques, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

²Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM), Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE), 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study aims to evaluate the hydraulic properties of crystalline and crystallophyllian bedrock aquifers of N'zi-Comoé area (east-central Côte d'Ivoire). To this end, a data base comprising pumping tests data and the technical reports were gathered. The work was done by using a sample of 150 drillings. The parameters used are the pumping rate (Q) in m³/s, the residual folding (s) in m, the length of liner (L) in m, the radius of drilling (R) in m, the radius of casing (R₀) in m and the pumping time (t) in seconds. Three methods were used to estimate the hydraulic conductivity and transmissivity. It is the method of scooping, the method of Logans and the analytical method. The hydraulic conductivity values obtained range from 1,79.10⁻⁸ to 3,8.10⁻⁶ m/s. As the values of transmissivity, they oscillate between 2,54.10⁻⁷ m²/s and 2,67.10⁻³ m²/s. The values of the hydrodynamic parameters (hydraulic conductivity and transmissivity) are heterogeneous, reflecting the structural heterogeneity of the crystalline and crystallophyllian rock. The results contribute to a better understanding of the hydrodynamic characteristics of fractured aquifers in the region N'zi-Comoé.

KEYWORDS: Hydrodynamic parameters, fractured aquifers, hydrodynamic methods, N'zi-Comoé, Côte d'Ivoire.

RESUME: Cette étude a pour objectif d'évaluer des propriétés hydrauliques des aquifères de socle cristallin et cristallophyllien de la région du N'zi-Comoé (Côte d'Ivoire). Pour ce faire, une collecte de données regroupant les fiches techniques de forage de même que celles des essais de pompage disponibles dans ladite région a été effectuée. Le travail a été réalisé à partir d'un échantillon de 150 forages. Les paramètres retenus sont le débit de pompage (Q) en m³/s, le rabattement résiduel (s) en m, la longueur de crépine (L) en m, le rayon de forage (R) en m, le rayon de tubage (R₀) en m et le temps de pompage (t) en seconde. Trois méthodes ont été appliquées pour l'estimation de la conductivité hydraulique et de la transmissivité. Il s'agit de la méthode de l'Ecopage, de la méthode de Logans et de la méthode analytique. Les valeurs de conductivité hydraulique obtenues varient de 1,79.10⁻⁸ à 3,8.10⁻⁶ m/s. Quant aux valeurs de transmissivité, elles oscillent entre 2,54.10⁻⁷ m²/s et 2,67.10⁻³ m²/s. Les valeurs des différents paramètres hydrodynamiques (conductivité hydraulique et transmissivité) sont hétérogènes, ce qui traduit l'hétérogénéité structurale du socle cristallin et cristallophyllien. Les résultats obtenus contribuent à une meilleure connaissance des caractéristiques hydrodynamiques des aquifères fissurés de la région du N'zi-Comoé.

MOTS-CLEFS: Paramètres hydrodynamiques, aquifères fissures, méthodes hydrodynamiques, N'zi-Comoé, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Les aquifères sont caractérisés par leur capacité à stocker de l'eau et à conduire le flux. En zone saturée et nappe captive, la transmissivité exprime la productivité de l'aquifère. Ces propriétés hydrodynamiques sont généralement estimées par l'interprétation de mesures in situ: les pompages d'essai. La connaissance de la transmissivité passe souvent par la connaissance de la conductivité hydraulique. En effet, la conductivité hydraulique (K) est l'un des paramètres commandant l'importance et la vitesse d'eaux souterraines, et par conséquent, est l'un des paramètres les plus importants affectant l'écoulement des eaux souterraines et le transport d'éléments dissous. La description des propriétés internes d'un système d'eaux souterraines exige une connaissance précise du champ de la conductivité hydraulique ou perméabilité. Aussi, la gestion de l'eau des eaux souterraines nécessite-t-elle de connaître avec précision les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère (la transmissivité et la conductivité hydraulique). En effet, la transmissivité et la perméabilité sont les paramètres les mieux indiqués pour la caractérisation des propriétés géométriques d'un aquifère. Les paramètres hydrauliques des aquifères fracturés sont souvent sous le contrôle de la géométrie des fractures.

Pour l'estimation de la transmissivité, plusieurs méthodes existent généralement proches de la méthode de Théis (méthode de Cooper-Jacob, méthode de Thiem, la méthode de Gringarten, la méthode de Gringarten-Ramey, la méthode de Thiery, etc.). Ces méthodes ont été généralement utilisées pour l'estimation des paramètres hydrodynamiques en Côte d'Ivoire et ailleurs dans le monde. Cependant, ces méthodes ne donnent pas toujours les résultats escomptés du fait des nombreuses hypothèses qui ne sont pas toujours vérifiées et restent de ce fait limitées. La question fondamentale que soulève cette étude est celle de savoir si d'autres méthodes dont les bases mathématiques diffèrent des méthodes citées précédemment ne peuvent pas permettre d'aboutir à des résultats similaires voire meilleurs que ceux produits par les premières ? Il s'agit donc d'utiliser des méthodes en dehors de celles communément utilisées et découlant de la méthode de Théis pour évaluer les propriétés hydrauliques des aquifères de socle cristallin et cristallophyllien de la région du N'zi-Comoé (Côte d'Ivoire). Les différentes méthodes utilisées sont la méthode de l'Ecopage, la méthode de Logans et la méthode dite analytique.

2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La région du N'zi-Comoé, située au Centre-Est de la Côte d'Ivoire, est comprise entre les longitudes 3°40' et 4°55' Ouest et les latitudes 6°20' et 8°10' Nord (Fig. 1) avec une superficie de 19 560 Km². Sa population est estimée à environ 900 000 habitants en 2010, soit une densité moyenne de 45 habitants au Km².

Le relief de la région du N'zi-Comoé est monotone et constitué d'un plateau légèrement incliné de direction Nord-Sud, avec une altitude moyenne supérieure à 150 m. Les collines de la chaîne Baoulé correspondent au faciès volcano-sédimentaire, principalement les roches vertes. La végétation est constituée de lambeaux de forêt mésophile, et de larges mailles de savanes séparées par des forêts-galeries. Il existe à côté de ces végétations naturelles, des végétations liées à l'action anthropique (mosaïques forêt-cultures, mosaïques savanes-cultures, cultures). Le climat est de type tropical humide avec une alternance de 4 saisons dont deux (2) saisons pluvieuses et deux (2) saisons sèches. Le régime climatique est caractérisé par des précipitations moyennes mensuelles variant entre 11 mm et 198 mm. La hauteur pluviométrique annuelle est de 1155 mm.

La région du N'zi-Comoé appartient au domaine paléoprotérozoïque encore appelé domaine baoulé-mossi. Du point de vue lithologique, la zone d'étude est recouverte par un ensemble complexe de formations géologiques constituées essentiellement de roches ignées, métamorphiques et volcano-sédimentaires [1] (Fig. 2). On distingue les roches éburnéennes et les roches birimiennes. Les roches éburnéennes sont constituées essentiellement de granitoïdes notamment les granites à deux micas, les granites à biotite homogènes et hétérogènes, et les granodiorites. Les formations birimiennes sont essentiellement des métasédiments et des roches vertes (métavulcanites). Les métasédiments sont constitués en majeure partie de grès et de schistes. Les roches vertes sont constituées de metabasalte, métaandésite, métadolérite, métagabbro, amphibolite. Les différentes formations géologiques ont été affectées par plusieurs systèmes d'accidents majeurs [1, 2, 3, 4]. Ces fractures sont de direction préférentiellement Nord-Sud. Ces nombreuses fractures sont susceptibles de faciliter la circulation de l'eau dans les roches. Ces formations géologiques ont été également touchées par le phénomène d'altération. Ainsi, l'altération sur le substratum schisteux est particulièrement épaisse et argileuse. Elle est en moyenne d'une trentaine de mètre et peut atteindre 60 m. En effet, les roches plus ou moins riches en minéraux ferromagnésiens, en minéraux calciques, en plagioclases, en silice et en oxydes, ont une altération qui conduit à la formation d'argiles. L'altération des granites est essentiellement sableuse et peu épaisse (inférieure à 10 m).

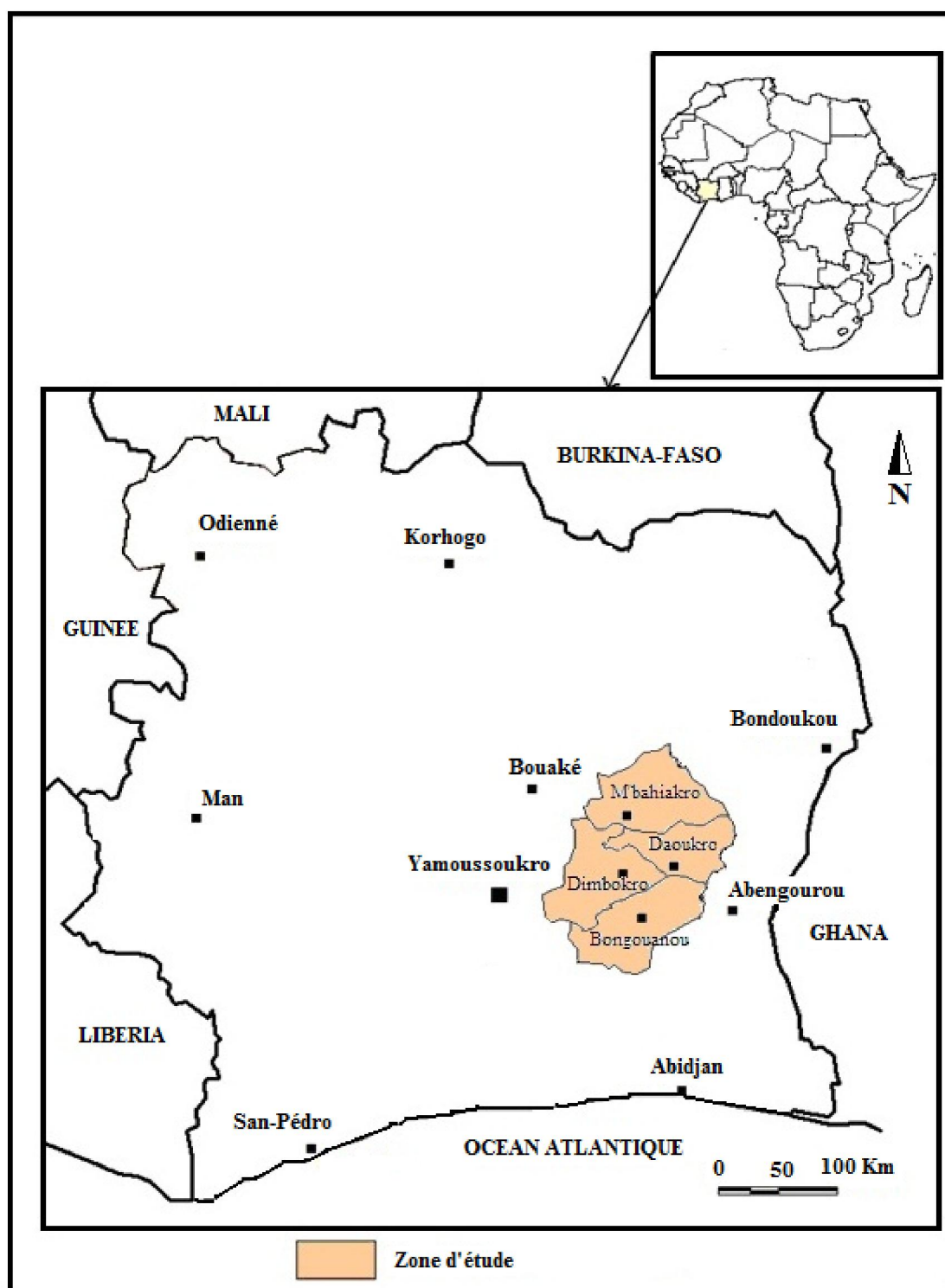


Fig. 1. Présentation de la région du N'zi-Comoé (Centre-Est de la Côte d'Ivoire)

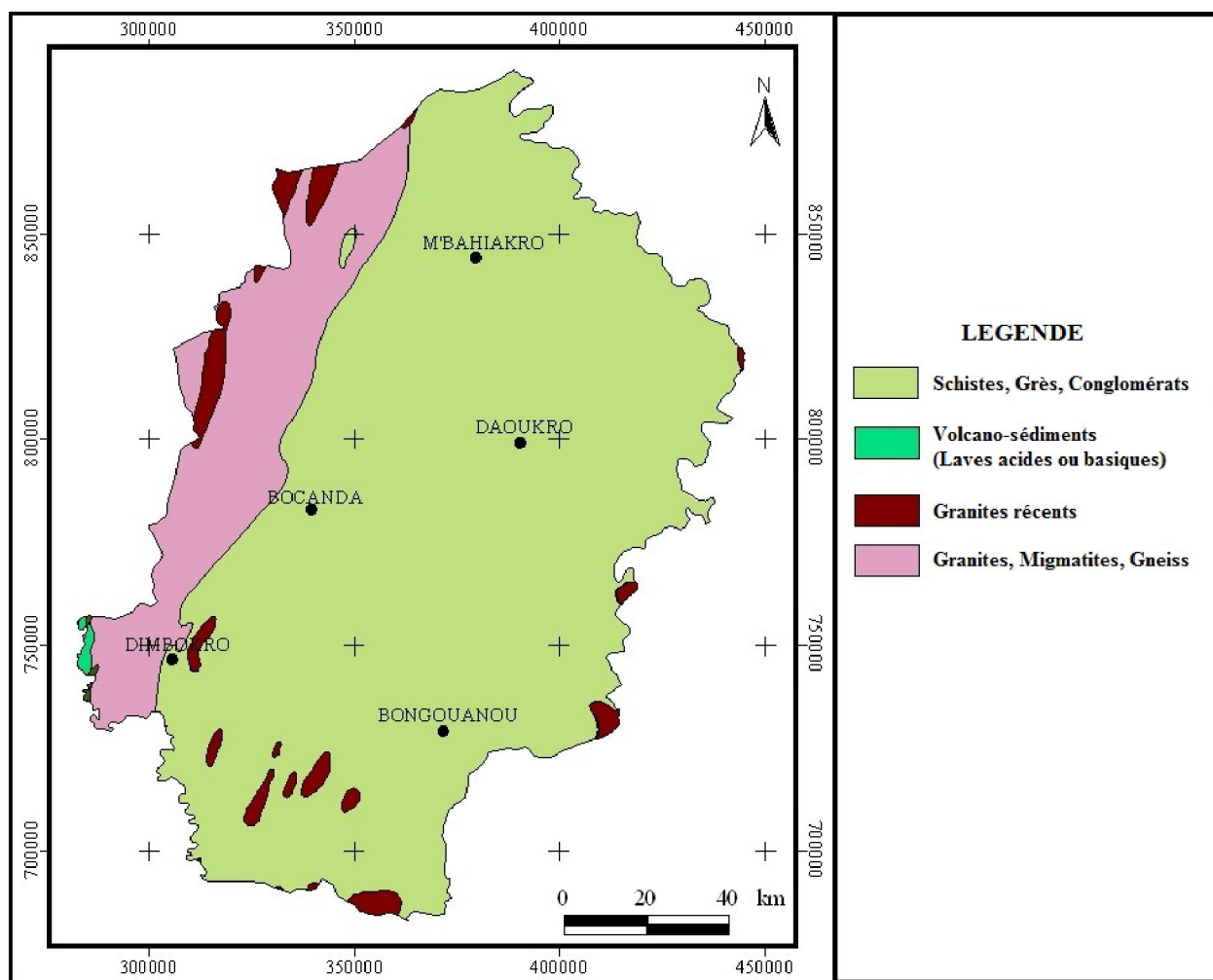


Fig. 2. Carte géologique de la région du N'zi-Comoé (Centre-Est de la Côte d'Ivoire)

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 DONNÉES DE L'ÉTUDE

La collecte des données hydrodynamiques a été faite par le biais de dossiers de forage des programmes d'hydraulique villageoise réalisés dans la région du N'zi-Comoé de 1999 à 2000. Ces dossiers, comprenant des fiches techniques de forage et des données des essais de pompage, ont été fournis par la Direction de l'Office National de l'Eau Potable (ONEP) de Yamoussoukro. Au total, 150 fiches techniques représentant 150 forages ont été retenues. Dans le cadre de notre étude, plusieurs paramètres ont été retenus. Il s'agit du débit de pompage (Q) en m^3/s , du rabattement résiduel (s) en m, de la longueur de crépine (L) en m, du rayon de forage (R) en m, du rayon de tubage (R_0) en m, du temps de pompage (t) en seconde. Le choix de ces données est motivé par leur rôle joué dans les différentes méthodes pour la détermination de la conductivité hydraulique et de la transmissivité des aquifères.

3.2 MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA TRANSMISSIVITÉ

La détermination des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère se fait au moyen des tests de pompage de longue durée à l'aide des diverses méthodes d'interprétation disponibles, qui pour la plupart découlent des méthodes de Théis et de Jacob [5]. Divers travaux ont montré qu'il était possible de calculer ces paramètres à l'aide des pompages de courte durée ou pompages par paliers à condition d'atteindre un palier au cours de chaque cycle. Le nombre de paliers minimum nécessaire pour obtenir des résultats satisfaisants est de trois (3). Plusieurs auteurs en Afrique de l'Ouest ont utilisé les pompages de courtes durées pour l'évaluation des paramètres hydrodynamiques et ont montré que les valeurs des paramètres hydrodynamiques obtenues par les pompages par paliers ne diffèrent pas significativement de celles issues des pompages

classiques [5]-[12]. Dans le cadre de notre étude, les méthodes utilisées pour l'estimation de la transmissivité sont la méthode de l'Écopage, la méthode de Logans et la méthode analytique.

3.2.1 MÉTHODE DE L'ÉCOPAGE

Le calcul de la transmissivité par la méthode de l'écopage (T_1) est basé sur la formule suivante (équation 1) [13]:

$$T_1 = \frac{V}{4\pi s' t} \quad (1)$$

avec :

T : transmissivité (m^2/s);

V : volume d'eau pompé (m^3) (produit du débit de pompage par le temps);

s' : rabattement résiduel dans le forage (m) ;

t : temps écoulé depuis l'extraction du volume d'eau pompé (s).

3.2.2 MÉTHODE ANALYTIQUE

La détermination de la transmissivité par la méthode analytique (T_2) s'appuie sur le produit de la conductivité hydraulique (K) par l'épaisseur de l'aquifère (e), selon l'équation 2 [10]:

$$T_2 = Ke \quad (2)$$

Etant en milieu fissuré, on a considéré « e » comme la longueur crépinée de forage.

La détermination de la conductivité hydraulique (K) est basée sur la méthode de Hvorslev (équation 3) [10]:

$$K = \frac{R_0 \ln\left(\frac{L}{R}\right)}{2LT_0} \quad \text{lorsque } L/R > 8 \quad (3)$$

avec :

K : conductivité hydraulique (m/s) ;

L : longueur crépinée de forage (m) ;

R : rayon du forage (m) ;

R_0 : rayon du tubage (m) ;

T_0 : retard (s).

On définit le temps T_0 (retard) comme le délai nécessaire pour la dissipation de 37% du changement de pression initiale induit par l'injection. T_0 est déterminé graphiquement sur le diagramme semi-logarithmique du recouvrement relatif par rapport au temps de recouvrement [10]. Les données de terrain sont projetées sous forme logarithmique ($\log(h_t/h_0)$) sur l'axe Y par rapport au temps sur l'axe X. La valeur de T_0 est lue sur l'axe X lorsque $Y = (h_t/h_0) = 0,37$.

3.2.3 MÉTHODE DE LOGANS

L'estimation de la transmissivité à partir de la méthode de Logans (T_3) est basée sur l'expression suivante (équation 4) [8]:

$$T_3 = 1,25 \times q_s \quad (4)$$

Avec :

T : transmissivité (m^2/s) ;

q_s : débit spécifique (Q/s) (m^2/s) ;

Q : débit de pompage du palier (m^3) ;

s : rabattement résiduel du palier (m).

Pour mieux apprécier la distribution de la transmissivité, une classification de celle-ci a été établie et se présente comme suit [6]:

- classe faible : $T < 10^{-5}$;
- classe moyenne : $10^{-5} < T < 10^{-4}$;
- classe forte : $T > 10^{-4}$.

3.3 ANALYSE STATISTIQUE DES VALEURS DE CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE ET DE TRANSMISSIVITÉ

Des études statistiques basées sur l'analyse des paramètres descriptifs de séries de valeurs ont été effectuées pour en tirer des informations utiles. Elles ont concerné les valeurs extrêmes (minimum, maximum), la moyenne (valeur centrale), l'écart-type (paramètre de dispersion) et le coefficient de variation (Cv) qui se définit comme le rapport de l'écart-type à la moyenne. Selon la valeur de Cv, trois structures de l'ensemble étudié sont mises en évidence :

- si Cv est inférieur à 0,20, la série est très homogène ;
- si Cv est compris entre 0,20 et 0,25, la série est homogène ;
- si Cv est supérieur à 0,25, la série est hétérogène.

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 RÉSULTATS DE LA CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE (K)

Les caractéristiques statistiques des 150 valeurs de conductivité hydraulique (K) calculée à partir de la méthode de Hvorslev sont consignées dans le tableau 1.

Tableau 1. *Caractéristiques statistiques de la conductivité hydraulique (K)*

Paramètres	Conductivité hydraulique (m/s)
Minimum	$1,79.10^{-8}$
Maximum	$3,80.10^{-6}$
Moyenne	$6,35.10^{-7}$
Ecart-type	$7,23.10^{-7}$
Coefficient de Variation	1,14

L'analyse du tableau 1 montre que les valeurs de conductivité hydraulique (K) varient entre $1,79.10^{-8}$ m/s et $3,80.10^{-6}$ m/s, pour une moyenne de $6,35.10^{-7}$ m/s. L'écart-type est de $7,23.10^{-7}$ et le coefficient de variation de 1,14. La forte valeur du coefficient de variation (supérieure à 1) traduit une hétérogénéité des valeurs de conductivité hydraulique dans l'espace.

4.2 RÉSULTATS DE LA TRANSMISSIVITÉ (T)

Les caractéristiques statistiques des 150 valeurs de transmissivité calculées à partir de la méthode de l'Ecopage (T_1), de la méthode analytique (T_2) et de la méthode de Logans (T_3) sont consignées dans le tableau 2. L'analyse du tableau 2 montre que les valeurs de transmissivité obtenues avec la méthode de l'Ecopage (T_1) varient entre $4,05.10^{-7}$ et $2,55.10^{-5}$ m²/s avec une moyenne de $4,67.10^{-6}$ m²/s. Celles obtenues avec la méthode analytique (T_2) oscillent entre $2,54.10^{-7}$ et $4,64.10^{-5}$ m²/s avec une moyenne de $7,74.10^{-6}$ m²/s. Au niveau de la méthode de Logans (T_3), les valeurs obtenues fluctuent entre $6,36.10^{-6}$ et $2,67.10^{-3}$ m²/s avec une moyenne de $2,59.10^{-4}$ m²/s. La transmissivité moyenne obtenue par la méthode de Logans vaut plus de 33 fois celle de la méthode analytique et plus de 55 fois la transmissivité moyenne obtenue avec la méthode de l'Ecopage.

Tableau 2. *Caractéristiques statistiques des transmissivités calculées*

	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-Type	Coefficient de variation
Méthode de l'écopage (T_1)	$4,67.10^{-6}$	$4,05.10^{-7}$	$2,55.10^{-5}$	$3,70.10^{-6}$	0,79
Méthode analytique (T_2)	$7,74.10^{-6}$	$2,54.10^{-7}$	$4,64.10^{-5}$	$8,66.10^{-6}$	1,12
Méthode de Logans (T_3)	$2,59.10^{-4}$	$6,36.10^{-6}$	$2,67.10^{-3}$	$3,71.10^{-4}$	1,43

L'analyse des valeurs de transmissivité calculées à partir des différentes méthodes montrent que les écart-types des échantillons varient de façon croissante en passant de la méthode de l'écopage ($3,70.10^{-6}$) à la méthode de Logans ($3,71.10^{-4}$) (Tableau 2). Quant aux coefficients de variation, ils varient dans le même ordre. Les valeurs oscillent entre 0,79 (méthode de l'écopage) et 1,43 (méthode de Logans). Seul le coefficient de variation obtenu avec la méthode de l'Ecopage est inférieur à 1 mais reste supérieure à 0,25. Ces valeurs de coefficient de variation traduisent donc une forte dispersion des valeurs de transmissivité dans l'espace. Les transmissivités calculées sont dans l'ensemble hétérogènes. Cependant, une analyse en termes de relativité, montre que les transmissivités obtenues avec la méthode de l'écopage sont plus homogènes.

L'analyse du tableau 3 révèle les différentes classes de transmissivité faible, moyenne et forte des différentes méthodes:

- au niveau de la méthode de l'écopage, la quasi-totalité des transmissivités est de classe faible (91,33%). La classe moyenne représente 8,67 % tandis que la classe forte est de 0%;
- au niveau de la méthode analytique, la majorité des valeurs de transmissivité se trouve dans la classe faible (70%) suivie de la classe moyenne qui comprend 30%. Aucune valeur de transmissivité ne se trouve dans la classe forte ;
- concernant la méthode de Logans, les valeurs de transmissivité sont quasiment réparties dans les classes moyenne et forte avec des valeurs respectives de 44 % et 54,67%. La classe faible ne représente que 1,33%.

La distribution des transmissivités montre qu'elles sont toutes concentrées dans les classes faibles et moyennes pour les méthodes de l'Ecopage et analytique, tandis qu'elles sont plus concentrées dans les classes moyenne et forte pour la méthode de Logans.

Tableau 3. *Répartition des résultats de transmissivité en fonction des classes définies*

Méthodes	Classes de T	Faible	Moyen	Fort
		$<10^{-5}$	$[10^{-5}; 10^{-4}]$	$>10^{-4}$
Méthode de l'écopage	Nombre de forages	137	13	0
	% des classes	91,33	8,67	0
Méthode analytique	Nombre de forages	105	45	0
	% des classes	70,00	30,00	0
Méthode de Logans	Nombre de forages	2	66	82
	% des classes	1,33	44,00	54,67

4.3 DISCUSSION

Les valeurs de conductivité hydraulique issues de l'interprétation de l'essai de pompage sur chaque forage des aquifères fissurés du N'zi-Comoé sont faibles et sont comprises entre $1,79.10^{-8}$ et $3,8.10^{-6}$ m/s. Dans les formations fracturées des départements de Dimbokro-Bongouanou (Centre-Est de la Côte d'Ivoire), [3] a obtenu des valeurs allant de $2,5.10^{-8}$ à $3,2.10^{-6}$ m/s. Les résultats de cette étude sont presque identiques à ceux obtenus par [3] dans la même zone (10^{-8} à 10^{-6}). En effet, cette étude a été menée à partir de la méthode de Hvorslev [10] alors que [3] s'est appuyé sur la méthode de Théis pour

l'estimation de la conductivité hydraulique. En Côte d'Ivoire, des cas d'étude ont été déjà réalisés. Les principaux résultats montrent que les valeurs de conductivité hydraulique obtenues dans le N'zi-Comoé sont supérieures à celles obtenues par [14] dans la région d'Odienné (10^{-10} à $1,7 \cdot 10^{-11}$ m/s). Elles sont inférieures ou égales à celles déterminées par [15] dans la région de la Marahoué (10^{-6} à 10^{-4}) et [16] dans la région de Korhogo qui varient entre 10^{-6} et 10^{-5} m/s. Elles s'inscrivent dans l'intervalle des valeurs calculées par [17] dans la région de Man qui sont de l'ordre de 10^{-8} à 10^{-4} m/s et [9] avec des valeurs qui oscillent entre $2,25 \cdot 10^{-8}$ et $9,29 \cdot 10^{-5}$ m/s dans la région d'Agboville. Une comparaison avec d'autres travaux en Afrique a été faite. Ainsi, les valeurs obtenues dans le cadre de cette étude sont similaires à celles obtenues par [18] au Burkina-Faso, qui sont de l'ordre de 10^{-8} m/s. Les résultats des travaux de [19] dans les mares de Sammiwéogo et de Dissa au Burkina Faso donnent des valeurs de conductivité hydraulique qui s'échelonnent entre $5 \cdot 10^{-7}$ et $7 \cdot 10^{-7}$ m/s. Dans les basaltes fracturés de Djibouti, [10] a trouvé des valeurs dans l'intervalle $[4,1 \cdot 10^{-8} - 5,2 \cdot 10^{-8}]$. D'après [3], les valeurs obtenues dans la région du N'zi-Comoé restent faibles par rapport aux conductivités hydrauliques caractéristiques des aquifères granitiques de Maheshwaram ($5 \cdot 10^{-6}$ à $9 \cdot 10^{-5}$ m.s-1) mais présentent sensiblement la même gamme de variation que les conductivités hydrauliques (10^{-9} à $3 \cdot 10^{-5}$ m.s-1) mesurées en Ouganda sur des roches cristallines également soumises à des cycles d'érosion et d'altération contrôlés tectoniquement. La conductivité hydraulique des aquifères fissurés de la région du N'zi-Comoé s'inscrit dans la majorité des cas dans les intervalles de valeurs connues pour les formations cristallines en Afrique en général et en Afrique de l'Ouest en particulier dont la gamme de variation est généralement comprise entre 10^{-8} et 10^{-4} m.s-1. Ces résultats témoignent de la bonne performance de la méthode de Hvorslev utilisée pour l'estimation de la conductivité hydraulique. La différence de conductivité hydraulique entre les différentes formations géologiques, peut s'expliquer par le rôle aquifère joué par la couche altérée. En effet, dans la zone étudiée, la couche altérée est de faible épaisseur et est généralement dénoyée (niveau piézométrique plus bas). Par conséquent, le rôle capacitif de la couche altérée est dans ce cas quasi inexistant ; la couche d'altération ne peut donc pas soutenir l'écoulement dans la zone fissurée et fracturée sous jacente, comme décrit par Taylor et Howard (2000) cités par [3]. Ces auteurs montrent l'existence de cette connexion hydraulique entre les couches altérée et fissurée à partir de données d'essais par pompages et de données isotopiques: durant l'essai par pompage, se met en place un phénomène de drainance, qui est attribué à la contribution en eau souterraine du manteau altéré. Ceci est confirmé par la composition isotopique de l'eau emmagasinée dans la couche altérée, ainsi que par la composition isotopique de l'eau pompée lorsque le phénomène de drainance devient stationnaire. Au contraire, dans les formations granitiques de Maheshwaram et dans certaines formations cristallines d'Afrique, il existe une bonne connexion hydraulique entre la couche altérée et la couche fissurée [3]. Les valeurs de conductivité hydraulique montrent une certaine disparité. Cette variation spatiale des valeurs de K proviendrait de l'hétérogénéité et surtout des variations latérales et verticales de faciès pétrographiques.

Les transmissivités calculées à partir des différentes méthodes sont comprises dans l'intervalle $[2,5 \cdot 10^{-7} - 2,7 \cdot 10^{-3}]$ m²/s avec des valeurs moyennes dans l'ordre de 10^{-6} à 10^{-4} . Les bonnes valeurs de transmissivité pourraient s'expliquer par la forte densité des réseaux de fractures et surtout l'importance de leur connexion pour permettre une circulation d'eau plus facile [3]. En effet, la zone est fortement fracturée [4]. Mais l'existence d'une densité de fracturation élevée ne suffit pas à elle seule pour garantir de bonnes propriétés hydrodynamiques s'il n'existe pas une bonne connexion des réseaux de fractures. L'existence de joints subverticaux dans l'aquifère, contribue selon Lachassagne et Wyns (2005), à la connexion de ce réseau de fractures [3]. Seule une activité tectonique intense caractérisée par une réactivation d'anciennes fractures ou la mise en place de nouvelles fractures pourrait être à l'origine de ces propriétés hydrodynamiques [20]. En effet, l'altération joue un rôle primordial dans l'origine des fractures et influence par conséquent les paramètres hydrodynamiques des aquifères [21]. Plusieurs travaux en Côte d'Ivoire ont permis d'avoir les résultats suivants. Des valeurs variant entre $1,72 \cdot 10^{-6}$ et $3,62 \cdot 10^{-4}$ m²/s avec une moyenne de $5,45 \cdot 10^{-5}$ m²/s ont été obtenues par [22] à partir de la méthode de Cooper-Jacob sur la même zone du N'zi-Comoé et avec les mêmes données. Les valeurs de transmissivité obtenues par [5] dans la région des lacs (Yamoussoukro) sont comprises entre $1,15 \cdot 10^{-6}$ et $4,48 \cdot 10^{-4}$ m²/s soit sur trois ordres de grandeur, avec une moyenne de $4,95 \cdot 10^{-5}$ m²/s. Selon [6], Degallier (1977) a obtenu des valeurs qui s'échelonnent entre 10^{-4} et $8,33 \cdot 10^{-5}$ m²/s dans le bassin versant de Korhogo et Engalenc (1978-1979-1981) a obtenu des valeurs qui fluctuent entre $1 \cdot 10^{-6}$ et $1 \cdot 10^{-5}$ m²/s. Des valeurs allant de 10^{-4} à 10^{-6} m²/s ont été trouvées par [23] dans le bassin de la Mé. [15] a obtenu des valeurs de transmissivités oscillant entre 10^{-4} et 10^{-7} m²/s dans la région de la Haute Marahoué. Des valeurs variant entre $1,09 \cdot 10^{-6}$ et $2,32 \cdot 10^{-3}$ m²/s ont été obtenues par [24] dans l'Ouest montagneux de la Côte d'Ivoire. Les travaux de [25] dans le domaine cristallin ivoirien (Biankouma-Man) montrent que dans le secteur Biankouma-Man, la transmissivité moyenne est de $5,62 \cdot 10^{-6}$ m²/s avec la méthode de Théis et $1,60 \cdot 10^{-5}$ m²/s avec la méthode de Jacob. [26] ont obtenu des valeurs moyennes de $2,3 \cdot 10^{-4}$ m²/s dans les schistes et $2,6 \cdot 10^{-4}$ m²/s dans les granites à Agboville. Les résultats des travaux de [9] donnent des valeurs qui oscillent entre $1,6 \cdot 10^{-6}$ et $1,11 \cdot 10^{-3}$ m²/s sur le socle dans la région d'Agboville. Les valeurs de transmissivité obtenues dans l'ancienne boucle du cacao varient entre $6 \cdot 10^{-6}$ et $6 \cdot 10^{-3}$ m²/s [9]. Les valeurs obtenues par [27], dans la région de Toumodi évoluent entre $1,34 \cdot 10^{-6}$ et $6,93 \cdot 10^{-4}$ m²/s. Des valeurs de transmissivité oscillant entre $7,76 \cdot 10^{-6}$ et $1,80 \cdot 10^{-4}$ m²/s ont été trouvées par [16]. Des travaux effectués hors de la Côte d'Ivoire mais dans les mêmes contextes de milieux cristallins et fissurés ont donné

plusieurs résultats. Au Burkina Faso, des valeurs qui oscillent respectivement entre 10^{-6} et 10^{-3} m²/s ont été trouvées par [28]. Des valeurs allant de $5,78.10^{-4}$ à $5,7.10^{-1}$ m²/s dans les basaltes fissurés de Djibouti ont été obtenues [10]. Des valeurs comprises entre 3.10^{-5} et 1.10^{-2} m²/s ont été obtenues par [29]. Les ordres de grandeur de la transmissivité obtenue à partir de la méthode de l'Écopage et de la méthode analytique s'inscrivent donc dans les valeurs obtenues par plusieurs auteurs dans la même zone, en Côte d'Ivoire et ailleurs, dans les milieux cristallins et cristallophylliens. Cependant, les valeurs de transmissivité obtenues par la méthode de Logans qui sont dans les classes moyenne et forte, montrent que cette méthode a pour inconvénient de surestimer la transmissivité. Il ressort de cette étude que les valeurs de transmissivité acceptables oscillent entre 10^{-6} et 10^{-4} m²/s. Ces valeurs de transmissivité corroborent les résultats obtenus antérieurement sur les aquifères fissurés, en Afrique de l'Ouest en général et en Côte d'Ivoire en particulier, dans les roches fracturées.

Les transmissivités obtenues dans la région du N'zi-Comoé sont hétérogènes (coefficient de variation supérieur ou égal à 0,79). Cette hétérogénéité des valeurs des transmissivités a été également constatée par [30] avec une variation de $5,97.10^{-6}$ à $7,45.10^{-4}$ m²/s pour le socle granitique et $1,83.10^{-5}$ m²/s à $2,69.10^{-4}$ m²/s sur les métasédiments et métavolcanites. La dispersion des valeurs de transmissivité est conforme aux résultats déjà obtenus dans les formations analogues, aussi bien en Côte d'Ivoire qu'en Afrique de l'Ouest par beaucoup d'autres auteurs tels que Savadogo (1984), Traoré (1985), Biémi (1992), Tapsoba (1995), Savané (1997), Lasm (2000) [9]. La grande dispersion des valeurs des différents paramètres hydrodynamiques provient de l'importante hétérogénéité de faciès lithologiques rencontrés au niveau de chaque niveau aquifère et surtout des variations quantitatives et qualitatives de la fracturation [31]. En effet, de nombreux travaux ont montré le rôle important joué par la géométrie des réseaux de fractures sur les propriétés d'écoulement et de transport dans les milieux souterrains discontinus [3, 4, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41]. Cela pourrait aussi s'expliquer par le fait que les différents forages utilisés ne captent pas l'aquifère à la même profondeur, ni sur une même épaisseur.

5 CONCLUSION

Le travail a été réalisé à partir d'une combinaison de méthodes hydrodynamiques (méthode analytique, méthode de l'écopage et méthode de Logans). Les valeurs de conductivité hydraulique obtenues varient de $1,79.10^{-8}$ à $3,8.10^{-6}$ m/s. Les valeurs de transmissivité sont de l'ordre de 10^{-7} à 10^{-5} m²/s avec la méthode de l'écopage et la méthode analytique et de l'ordre de 10^{-6} à 10^{-3} m²/s avec la méthode de Logans. La méthode de l'écopage et la méthode analytique donnent des résultats qui s'inscrivent dans les ordres de grandeurs généralement obtenus en Afrique de l'Ouest et particulièrement en Côte d'Ivoire (10^{-6} à 10^{-4}). Les valeurs des différents paramètres hydrodynamiques (conductivité hydraulique et transmissivité) sont hétérogènes et varient en fonction de la nature géologique des terrains aquifères et de la densité de fracturation de ces terrains. Les résultats obtenus ont aussi permis de contribuer à une meilleure connaissance des caractéristiques hydrodynamiques des aquifères fissurés de la région du N'zi-Comoé. Les conclusions de cette étude soulèvent la problématique de l'efficacité des méthodes appliquées comparativement à celles généralement utilisées et dérivées de la méthode de Théis.

REFERENCES

- [1] Y.B. Daouda, "Lithostratigraphie et pétrographie des formations birimiennes de Toumodi-Fêtêkro (Côte d'Ivoire). Implication pour l'évolution crustale du paléoprotérozoïque du craton ouest africain," Thèse de Doctorat de l'Université d'Orléans, France, 190 p., 1998.
- [2] N.H. Kadio, M.B. Saley, B.E. N'dri, A. Ouattara et J. Biémi, "Contribution à l'interprétation des linéaments par l'exploitation des Pseudo Images, de l'hydrographie en région tropicale humide: Cas du N'zi-Comoé (Centre de la Côte d'Ivoire)," European Journal of Scientific Research, Vol. 24, N°1, pp. 74-93, 2008.
- [3] M. Koita, "Caractérisation et modélisation du fonctionnement hydrodynamique d'un aquifère fracturé en zone de socle. Région de Dimbokro-Bongouanou (Centre-Est de la Côte d'Ivoire)," Thèse de Doctorat, Université Montpellier II, 235p, 2010.
- [4] Y.A. N'go, T. Lasm, M. Koita et I. Savané, "Extraction par télédétection des réseaux de fractures majeures du socle précambrien de la région de Dimbokro (Centre-Est de la Côte d'Ivoire)," Télédétection, Vol. 9, N°1, pp. 33-42, 2010.
- [5] G. Soro, N. Soro, K.E. Ahoussi, T. Lasm, K.F. Kouamé, T.D. Soro et J. Biémi, "Evaluation des propriétés hydrauliques des aquifères fracturés des formations cristallines et métamorphiques dans la région des lacs (Centre de la Côte d'Ivoire)," Estudios Geológicos, Vol. 66, N°2, pp. 227-242, 2010.
- [6] T. Lasm, "Hydrogéologie des réservoirs fracturés de socle : analyses statistique et géostatistique de la fracturation et des propriétés hydrauliques. Application à la région des montagnes de Côte d'Ivoire (domaine archéen)," Thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers, France, 274 p, 2000.
- [7] D. Dakouré, "Etude hydrogéologique et géochimique de la bordure sud-est du bassin sédimentaire de Taoudéni (Burkina Faso - Mali) - essai de modélisation," Thèse de Doctorat de l'Université Paris VI, France, 255 p, 2003.

- [8] A. Alassane, "Etude hydrogéologique du continental terminal et des formations de la plaine littorale dans la région de Porto-Novo (Sud du Bénin) : identification des aquifères et vulnérabilité de la nappe superficielle," Thèse de Doctorat de 3ème cycle de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 145 p, 2004.
- [9] K.E. Ahoussi, "Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau dans le Sud de la Côte d'Ivoire. Application de l'hydrochimie et des isotopes de l'environnement à l'étude des aquifères continus et discontinus de la région d'Abidjan-Agboville," Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 270 p, 2008.
- [10] A. Houmed-Gaba, "Hydrogéologie des milieux volcaniques sous climat aride. Caractérisation sur site expérimental et modélisation numérique de l'aquifère basaltique de Djibouti (corne de l'Afrique)," Thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers, France, 194 p, 2009.
- [11] G. Soro, "Évaluation quantitative et qualitative des ressources en eaux souterraines dans la région des lacs (centre de la côte d'Ivoire) : Hydrogéologie et hydrochimie des aquifères discontinus du district de Yamoussoukro et du département de Tiebissou," Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 257p, 2010.
- [12] D. Baka, T. Lasm, M.S. Oga, M. Youan-Ta, O. De Lasme, O.S. Kouakou, B.F. Ettien, "Characterization of transmissivity in the fractured reservoirs in the Oumé area (Centre of Côte d'Ivoire)", American journal of scientific and industrial research, Vol. 2, N°2, pp. 310-322, 2011.
- [13] F. Lalbat, "Fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère du Miocène du bassin de Carpentras (Vaucluse, France)," Thèse de Doctorat de l'Université d'Avignon et des pays de Vaucluse, France, 234 p, 2006.
- [14] I. Savané, "Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des aquifères discontinus du socle cristallin d'Odienné (Nord-Ouest) de la Côte d'Ivoire). Apport de la télédétection et un système d'information hydrogéologique à référence spatiale," Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelle de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 396 p, 1997.
- [15] J. Biémi, "Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahariens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopique des aquifères discontinus de sillons et des aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire)," Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 480 p, 1992.
- [16] J.P.R. Jourda, "Méthodologie d'application des techniques de la télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude des aquifères fissurés d'Afrique de l'Ouest. Concept de l'hydrothecnique spatiale : cas des zones tests de la Côte d'Ivoire," Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Cocody, Côte d'Ivoire 435p, 2005.
- [17] K.F. Kouamé, "Hydrogéologie des aquifères discontinus de la région semimontagneuse de Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire). Apport des données des images satellitaires," Thèse de 3ème cycle, Univ. Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 194 p, 1999.
- [18] A.N. Savadogo, "Géologie et Hydrogéologie du socle cristallin de Haute -Volta. Etude régionale du bassin versant de la Sissili," PhD Thesis, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, France, 351 p, 1984.
- [19] Y. Koussoubé, "Hydrogéologie en milieu de socle cristallin du Burkina Faso cas du bassin versant du bas-fond de Bidi (province du Yatenga)," Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop De Dakar, Sénégal, 263 p, 1996.
- [20] J.P. Faillat, "Hétérogénéité et effet d'échelle dans les aquifères fissurés. Approche par pompage d'essai sur station expérimentale (Afrique de l'Ouest)," Hydrogéologie, N°1, pp. 65-76, 1986.
- [21] J.C. Maréchal, B. Dewandel et K. Subrahmanyak, "Use of hydraulic tests at different scales to characterize fracture network properties in the weathered-fractured layer of a hard rock aquifer", Water resources Research., N°40, W11508, doi: 10.1029/2004WR003137, 2004.
- [22] A.M. Kouassi, K.E. Ahoussi, K.A. Yao, W.E.J.A. Ourega, K.S.B. Yao, J. Biémi, "Analyse de la productivité des aquifères fissurés de la région du N'zi-Comoé (Centre-Est de la Côte d'Ivoire)," Larhyss Journal, N°10, pp. 57-74, 2012.
- [23] N. Soro, "Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du Sud-Est de la Côte d'Ivoire," Thèse de 3è cycle Univ. Scient. Technol. et Médicale de Grenoble, France, 243 p, 1987.
- [24] T. Lasm, K.F. Kouamé, M.S. Oga, J.R.P. Jourda, N. Soro et H.B. Kouadio, "Etude de la productivité des réservoirs fracturés des zones de socle. Cas du noyau archéen de Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire)," Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie, Vol.5, N°97, pp.1-15, 2004a.
- [25] Y.B. Koffi, "Contribution à l'analyse des méthodes d'interprétation des essais de pompage : cas des méthodes dérivées de la solution de Théis (méthodes grapho-analytique et méthodes numériques) : Application aux secteurs Biankouma-Man et Dabou," DEA de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 53p, 2003.
- [26] Y.A. N'go, D.L. Goné, I. Savané et M.M. Goblé, "Potentialités en eaux souterraines des aquifères fissurés de la région d'Agboville (Sud Ouest de la Côte d'Ivoire) : Caractérisation hydroclimatique et physique," Afrique Science, N°1, pp.127-144, 2005.

- [27] K.A. Yao, A.M. Kouassi, Y.B. Koffi et J. Biémi, "Caractérisation hydrodynamique et hydrogéochimique des aquifères fissurés de la région de Toumodi (centre de la côte d'Ivoire)," *Journal of Environmental Hydrology*, N°18, pp.1-15, 2010.
- [28] J.M. Vouillamoz, "La caractérisation des aquifères de socle du Burkina Faso par sondages RMP. Institut de Recherche pour le Développement, UR 027 GEOVAST, Burkina Faso," N°1-4, 2002.
- [29] B.H. Aissata, "Aquifères superficiels et profonds et pollution urbaine en Afrique : cas de la communauté urbaine de Niamey (Niger), Thèse de Doctorat, Université Abdou Moumouni, Niamey," 220 p, 2010.
- [30] N. Soro, "Hydrochimie et géochimie isotopique des eaux souterraines du degré carré de Grand-Lahou et ses environs (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). Implication hydrologique et hydrogéologique. Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire," 272 p, 2002.
- [31] M. Bahir, P. Carreira, M. Oliveira Da Silva et P. Fernandes, "Caractérisation hydrodynamique, hydrochimique et isotopique du système aquifère de Kourimat (Bassin d'Essaouira, Maroc)," *Estudios Geológicos*, Vol.64, N°1, pp. 61-73, 2008.
- [32] I. Savané et J. Biémi, "Téledétection et SIG pour l'étude des aquifères du socle cristallin d'Odienné (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire)," *Téledétection*, N°1, pp.47-64, 1999.
- [33] T. Lasm et M. Razack, "Lois d'échelle dans la fracturation des roches dures cristallines et dans le réseau hydrographique associé," *Comptes Rendus Académie des Sciences, Géoscience*, N°333, pp.225-232, 2001.
- [34] T. Lasm, K.F.Kouamé, N. Soro, J.P.R. Jourda, et J. Biémi, "Analyse géostatistique de la fracturation extraite de l'imagerie spatiale aéroportée et satellitaire. Application à la région de Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire)," *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, N°5, pp.135-154, 2004b.
- [35] J.P.R. Jourda, M.B. Saley, E.V. Djaougou, K.J. Kouamé, J. Biémi et M. Razack, "Utilisation des données ETM+ de Landsat et d'un SIG pour l'évaluation du potentiel en eau souterraine dans le milieu fissuré précambrien de la région de Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire) : approche par analyse multicritère et test de validation," *Téledétection*, Vol.5, N°4, pp.339-357, 2005.
- [36] J.P.R. Jourda, E.V. Djaougou, K.F. Kouamé, M.B. Saley, C. Gronayes, J.J. Achy, J. Biémi et M. Razack, "Identification et cartographie des unités lithologiques et des accidents structuraux majeurs du département de Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire) : apport de l'imagerie ETM+ de Landsat," *Téledétection*, Vol.6, N°2, pp.123-142, 2006a.
- [37] J.P.R. Jourda, M.B. Saley, E.V. Djaougou, K.J. Kouamé, J. Biémi et M. Razack, "Utilisation des données ETM+ de Landsat et d'un SIG pour l'évaluation du potentiel en eau souterraine dans le milieu fissuré précambrien de la région de Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire) : approche par analyse multicritère et test de validation," *Téledétection*, Vol.5, N°4, pp. 339-357, 2006b.
- [38] K.F. Kouamé, M. Bernier, D.L. Goné, M.B. Saley, R. Lefèbvre, N. Soro et A. Koudou, "Intégration de données géospatiales dans un modèle hydrologique distribué pour la simulation des écoulements des eaux en milieu tropical humide de Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest)," *Téledétection*, Vol.7, N°1-4, pp.217-235, 2007.
- [39] T. Lasm, M. Youan-Ta, J.P.R. Jourda, K.F. Kouamé, "Fracture Networks Analysis in Crystalline Basement: Case of Bondoukou Area (Northeast Côte d'Ivoire)," *European Journal of Scientific Research*, Vol.21, N°1, pp. 196-208, 2008.
- [40] M. YouanTa, T. Lasm, J.P. Jourda, K.F. Kouamé, M. Razack, "Cartographie des accidents géologiques par imagerie satellitaire Landsat-7 ETM+ et analyse des réseaux de fractures du socle précambrien de la région de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire)," *Téledétection*, Vol.8, N°2, pp.119-135, 2008.
- [41] V.M. Sorokoby, M.B. Saley, K.F. Kouamé, M.E.V. Djaougou, M. Bernier, K. Affian et J. Biémi, "Utilisation des images Landsat ETM+ et du SIRS pour la cartographie linéamentaire et thématique de Soubré-Meagui (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire): contribution à la gestion des ressources en eau souterraine," *Téledétection*, Vol. 9, N°3-4, pp.209-223, 2010.
- [42] M. Koita, H. Jourde, D. Ruelland, K. Koffi, S. Pistre et I. Savané, "Cartographie des accidents régionaux et identification de leur rôle dans l'hydrodynamique souterraine en zone de socle. Cas de la région de Dimbokro-Bongouanou (Côte d'Ivoire). *Journal des Sciences Hydrologiques*, Vol.55, N°5, pp. 805-820, 2010.

Rules of origin in preferential agreements: favorable factor or constraint to trade? Case of the agreement between the United-States and Morocco

Rachid Hasnaoui and Said Dkhissi

Research laboratory on Globalization and Development, Center of Doctoral Studies on Law and Economy,
University Mohamed V Souissi,
Rabat Morocco

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The rules of origin are justified by the need to regulate trade between two or a group of countries (trade policy mechanism). This paper proposes to study the impact of rules of origin on the implementation of the preferential trade agreement between Morocco and the United States of America. Following this study, the results showed that the rules of origin diminish substantially the efficiency of this Agreement and deprive Moroccan companies of the tax benefits in terms of access to the U.S. market. Therefore, they reflect protectionist practices in term of non tariff barriers. They take the form of manufacturing conditions hard to be met by the operators. The analysis of the relationship between preferential Moroccan exports to the United States of America, on one hand, and the presence of tariff preferences and the Rules of Origin, on the other hand, suggest that if the tariff preferences have indeed the effect of encouraging exports, the Rules of Origin have the reverse effect.

KEYWORDS: Rules of origin, tariff preferences, trade policy, international integration, Moroccan economy, trade agreement.

1 INTRODUCTION

Morocco has signed preferential agreements with powerful European and American commercial partners. The agreement with the United States is an example of other existing agreements with other trading partners. This agreement fits perfectly in the context of an overall policy of openness and internationalization undertaken by Morocco since the eighties in order to boost and strengthen the competitiveness of its economy.

By signing this agreement, Morocco has set two objectives:

- i. Attracting foreign investment in Morocco which is a dynamic vector of Moroccan industry and employment. Morocco plans to position itself as a multi-pronged platform for production and export to Europe, the Middle East and or Africa.
- ii. Developing Moroccan exports to the United States.

The preferential agreement concluded with the United States of America covers all sectors of economic activity and aims to develop trade between the two countries. In effect, it concerns the trade of goods (agricultural products, industrial products including clothing made ...) and trade of services (financial services, telecommunications ...). It also focuses on aspects of industrial and commercial property, on social and environmental issues as well as the original conditions that a product must meet to qualify for tariff preferences in the two countries.

Today, the issue of rules of origin is important for all countries having concluded preferential trade agreements as Morocco. Technical progress, which leads to a fragmentation of production processes and marketing, makes the determination of the origin of goods difficult. In this context, it is almost impossible to find a product made entirely in one country. Most goods are composed of several components manufactured in several countries.

In this research we will try to provide answers to the following question: to what extent the rules of origin in preferential agreement signed with the United States of America have impacted the exports of textiles to the U.S. market?

The aim of this paper is: firstly, to recall the main issues of the preferential agreement for both Morocco and the United States of America and introduce an initial assessment of trade relations between the two countries. Secondly, “to show the nature of the effects of rules of origin on Moroccan companies, particularly on textile and clothing industry that is the main industrial activity in Morocco. This research is largely qualitative.

2 STAKES OF THE PREFERENTIAL AGREEMENT CONCLUDED BETWEEN THE UNITED STATES AND MOROCCO

This section emphasizes on the stakes of this agreement for both the Moroccan and the U.S. of America.

2.1 STAKES FOR MOROCCO

Within the signature of such an agreement with the United States of America, the Moroccan authorities aim at numerous economic objectives. However, these objectives remain difficult to assess for the Moroccan side.

The first objective is the diversification of trade relations primarily focused on Europe, especially France.

The second objective is to make Morocco a platform for investment, manufacture and export to the United States, Europe, the Middle East and Africa.

The third objective is to provide more export opportunities for enterprises in Morocco, especially for those which have adapted products to the specificities of the U.S. market.

These objectives seem to have been set by the Moroccan side, but without taking into account the disparities in terms of industrial capacity and the economic power of both parties. The trades' data between the United States and Morocco are very revealing.

2.2 TRADE BETWEEN MOROCCO AND THE UNITED STATES OF AMERICA

United States of America has 5.9% in the total trade of Morocco. The trade deficit with the country continues to worsen. It is estimated at 4.1% in 2010. Imports from that country amounted to 20 980.5 million dirhams¹.

Table 1. Commercial exchanges between Morocco and the United States

	2006	2007	2008	2009	2010
Imports	9 492,1	15 442,5	16 624,4	18 289,3	20 980,5
Exports	2 253,7	2 994,4	6 085,2	3 560,1	5 640,4
Balance	-7 238,4	-12 448,1	-10 539,2	-14 729,2	-15 340,1
Coverage rate	23,7	19,4	36,6	19,5	26,9

Source: Moroccan Office Exchange, Foreign Trade (2010)

This table stresses that the development of trade between the two countries is not in favor of Morocco. Thus, since the entry into force of the Agreement in 2006, the United States has tripled their exports to the Kingdom of Morocco: 20.9 billion dirhams in 2010 against 6.1 billion in 2005², i.e. one year before the implementation of the agreement.

The Sales by U.S. companies under the preferential arrangements totaled 11 billion dirhams. These are agricultural products such as corn, seeds and nuts, crude vegetable oils, which have largely benefited from the provisions of the agreement. This explains why Americans are categorically opposed to the principle of agricultural exception defended by Morocco during the negotiations for the conclusion of the preferential agreement. In fact, Morocco asked to exclude this

¹ Exchange Office (2010). External trade statistics of Morocco. Viewed at: <http://www.oc.gov.ma>

² Moroccan Exchange Office (2010), Trade Balances of Morocco 2005-2010. Viewed at: <http://www.oc.gov.ma>

sector of provisions from the agreement because of its sensitive nature, and this pending the achievement of reforms that will upgrade this sector.

At the same time, as shown in the second table, Moroccan exports to the United States rose but slowly. They rose from 2.5 billion dirhams in 2005 to 5.6 billion, including 3.5 billion dirhams conducted under the preferential agreement in 2010³.

Table 2. Main products exported to the United States of America 2007 - 2009

Products	Free Trade Agreement				Total exports				Share			
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
	MDH	MDH	MDH	MDH	MDH	MDH	MDH	MDH				
Phosphates	-	2 650,2	1 469,3	2 226,5	1 115,2	3 172,3	1 469,3	2 226,5	-	83,5	-	-
Canned vegetables	15,5	18,5	248,1	327,3	108,1	368,2	311,4	368,7	14,3	5,0	79,7	89,6
Agar (food additive)	-	-	68,2	-	90,8	215,0	269,5	-	-	-	25,3	-
Canned Fish	-	-	30,7	60,2	57,6	28,9	47,0	273,1	-	-	65,3	22,0
Hosiery items	5,2	1,5	29,8	22,6	47,5	55,5	30,0	38,7	10,9	2,7	99,3	58,4
Olive Oil, crude and refined	1,4	8,8	23,3	203,8	60,9	69,9	29,5	276,7	2,3	12,6	79,0	73,7
Garments	3,7	1,9	22,4	27,5	203,1	216,6	142,1	158,2	1,8	0,9	15,8	17,4
Other	99,0	114,5	180,3	179,1	1311,2	1958,8	1261,3	1580,4	7,6	5,8	14,3	11,3
Total	124,8	2795,4	2072,1	3552,8	2994,4	6085,2	3560,1	5640,4	4,2	45,9	58,2	63,0

Source: Moroccan Office Exchange, Foreign Trade (2010)

MDH: Million MAD

Concerning the analysis by product, Morocco has been able to increase its exports of phosphates to the United States under the preferential agreement taking advantage of the rise of prices in the world. Sales of phosphates to the U.S. are estimated at 2.2 billion dirhams in 2010⁴. Textile products have little crossed U.S. borders. These products are not adapted to meet U.S. standards and American tastes. Added to that the size of firms unable to meet orders for large quantities coming from the U.S. market.

2.3 STAKES FOR THE UNITED STATES

The GDP of the United States is estimated at ¼ of world GDP with 13.7 trillion dollars⁵. The U.S. market has 316 million consumers in 2012⁶. The main industries are oil, steel, car industry, aeronautics sector, telecommunications, food processing and chemistry.

Engaging with Morocco in the framework of a preferential agreement, "the United States of America plans to establish a free trade zone that would allow them access to a number of markets, including oil and weapons"⁷. In addition, several other

³ Ditto.

⁴ Ditto.

⁵ General Confederation of Enterprises of Morocco (2009).

⁶ Wikipedia (2012).

⁷ Akesbi, N. (2008). Free Trade Agreement Morocco-USA. Review: Critical of economic No. 21., P4.

sectors may justify the interest of the United States to enter the Moroccan market as for example: services (Information Technology and Communication, broadcasting, financial services ...), agricultural products (nuts, frozen potatoes, pistachios, cheese pizza ...). These products can enter the Moroccan free market of customs duties since the entry into force of the preferential agreement.

The agreement resulted in the increase of imports from the United States (cereals, fuel, machinery), which have almost tripled since 2005. The increase in world grain prices and poor harvests in Morocco partly explain this increase.

This gap, which is in favor of the United States, is explained by some export barriers faced by Moroccan operators, in particular:

- Risk of exchanging rate (sensitivity of exports to the U.S. dollar).
- Moroccan productions are still unknown in the United States.
- Logistical problems: lack of direct shipping line to the U.S. and the delivery time of products are relatively long.
- U.S. technical and health Standards are sometimes binding.

3 EFFECTS OF THE U.S. RULES OF ORIGIN ON THE MOROCCAN ECONOMY: THE CASE OF THE TEXTILE AND CLOTHING INDUSTRY

Determining the origin of products is essential for any preferential trade. Without holding a certificate of origin, it is totally impossible to benefit from any advantage withdrawn from preferential agreements. This agreement achieved between the United States and Morocco has devoted a great part of its research to a chapter entitled rules of origin. In addition to the presence of general applied rules and specific ones related to certain agricultural and industrial products, the agreement stated particular rules of origin designed for textile and clothing industry.

The specific approach of rules of origin is clearly witnessed by the presence of a number of manufacturing conditions that must be realized so that a product will be considered as originating by one country and benefiting from preferential tariffs during import procedures within the other country.

3.1 GENERAL PRESENTATION OF THE RULES OF ORIGIN MENTIONED IN THE AGREEMENT WITH THE UNITED STATES OF AMERICA

Concerning the rules of origin, the United States and Morocco agreed upon two criteria. The first one is related to products wholly obtained from the first or second country. The second criteria refer to products made from raw material that belong to neither of the two countries.

As far as products totally obtained from one of the two countries; Morocco and the United States have stated the condition of products made wholly in one or both countries, without using any other raw material imported from a third party.

On the other hand, the agreement did not state conditions related to raw material originating from one country and, used in making manufactured products in the other country. So, in this case, it is neither necessary to meet certain percentage of the added value, nor realize specific manufacturing operations.

Using the following example, we can grasp the concept of originating products: Moroccan couscous prepared with meat and vegetables and meant for export to the United States contains; beef wholly obtained from the United States; semolina obtained from Moroccan wheat and vegetables and spices are totally Moroccan. Under the bilateral cumulation, we can affirm that this couscous has a Moroccan origin because of:

- 1) Meat imported from the United States is considered as Moroccan (cumulation of ingredients).
- 2) The rest of the used ingredients are totally Moroccan.

However, as far as products made from imported raw material, and in order to specify the origin of these products, both countries have chosen two different approaches; The first one is called specific approach for certain sensitive products. The last is called general approach.

3.2 THE SPECIFIC APPROACH OF THE AGREEMENT: VERY COMPLEX CRITERIA OF ORIGIN

The specific approach of the preferential agreement with the United States covers the sensitive products that are grouped in an annex and subject to specific rules based on the criteria of change of tariff heading or specific manufacturing processes, according to the situation. The specific approach shall include two categories of products; agricultural and agri-foods on the one hand, and textiles and clothing on the other hand.

For the first category of products, it is clear that the Protocol on the origin of goods adopts a cocktail of rules, based on the rule of products wholly obtained; sometimes see the specific process of production or value added.

This is the case for example of the Moroccan cheeses (Harmonized System "HS" 0406 30) that is made from fat, industrial cheese of E.U and milk powder imported from New-Zealand. It is obvious that the cheeses are not wholly obtained because materials from other sources are used in the manufacture of products: industrial cheeses, milk powder.... In this case, the agreement requires "substantial transformation."

In order to verify if the operation is substantial, it must first be checked if the product is in harmony with the specific rules before submitting it to test the global approach, that's what the Agreement requires. Indeed, this global approach is a combination of a New and Different Product of Trade NDPT plus a total value of 35%⁸.

In this case, the agreement provides for all HS Chapter 4 a specific rule which requires that "any dairy product that contains more than 10% by weight of cow's solid milk must be made originally from cow's milk (of Morocco or the United States)"⁹. Therefore, we can conclude that the cheese is not originated in Morocco and therefore cannot be eligible for preferential tariffs.

Regarding the textile and clothing, specific rules of origin generally based on a triple transformation are applied to these products. The principle of triple transformation implies that, with few exceptions, all textile products must be obtained "from the wire". The wire must be native to the preferential trade area. A practical example is required; this is the case of costumes made by a Moroccan company from fibers of third countries for export to the United States.

Under the Protocol on Rules of Origin, costumes exported to the U.S. market cannot benefit from reduced preferential tariff if Moroccan manufacturer does not fulfill the three conditions of manufacture: i) the non-originating textile fibers must be spun (first transformation), ii) the thread must be woven (second transformation) and iii) tissues must be turned into costumes (third transformation).

However, some exceptions are provided in the agreement for some textile products: it is the case, among others, of bras the production of which can begin from fabrics originating, provided that the value of the fabrics made in the area preferably is at least equal to 75% of the total value of the finished product (with the exception of the accessories).

Also, the preferential agreement between Morocco and the United States provides some flexibility in the rules of origin related to the textile and clothing industry. Indeed, in derogation from the rule of triple transformation, the agreement provides for a quota equivalent to 30 million square meters of textile products for export, made from yarn and fabric outside the zone of preferential trade between Morocco and the United States.

This quota remains stable during the first four years after the entry into force of the Agreement. Then it will be reduced linearly during the next six years. The regime of this quota is illustrated by the following table¹⁰:

⁸ See § 2.3 below.

⁹ See Chapter 4 of the preferential agreement concluded between the United States and Morocco. Viewed at [http:// www.maec.gov.ma](http://www.maec.gov.ma)

¹⁰ See Section 4.3 of Chapter 4 on the textiles and clothing. Preferential agreement Morocco United States. Viewed at [http:// www.maec.gov.ma](http://www.maec.gov.ma)

Table 3. Division of quota of 30 million square meters of textile products that can be exported on the U.S. market, without obligation to respect the rule of triple transformation¹¹

Year following the entry into force of the Agreement	Annual quantities, combined in equivalent of square meters
<i>First year</i>	30 000 000
<i>Second year</i>	30 000 000
<i>Third year</i>	30 000 000
<i>Fourth year</i>	30 000 000
<i>Fifth year</i>	25 714 000
<i>Sixth year</i>	21 428 000
<i>Seventh year</i>	17 142 000
<i>Eighth year</i>	12 856 000
<i>Ninth year</i>	8 571 000
<i>Tenth year</i>	4 285 000

Source: Chapter 4 of agreement Morocco - United States. Viewed at: <http://www.maec.gov.ma>

In addition, the agreement provides for the possibility of revising the rules of origin for textile-clothing products described in the HS (6207¹², 6208¹³ and 6212¹⁴), and this depending on the development of trade between two sides.

In addition, the agreement allows the use of fibers and non-originating son at 7% of total product weight.

Finally, the agreement also provides for a quota of 1,000 tons son and fabrics made from cotton fibers (HS 520100) from African Countries "Least Developed" mentioned in Article 6 of the Official Bulletin No 4861bis-6 Shawwal 1421 (01 January 2001)¹⁵.

These quotas are allocated by the Ministry of Industry, after a notice of an Advisory committee within this Ministry, composed of representatives of the Ministry of Foreign Trade, the Ministry of Foreign Affairs and Cooperation, Administration Customs and Indirect Taxes and Moroccan Association of Textile and Clothing Industry.

3.3 THE GENERAL APPROACH OF THE PREFERENTIAL AGREEMENT

The second approach, so-called general, focuses on the products not listed in the Annex of specific rules and not wholly obtained in one of the two parties. These products are considered as originating if the processing carried out in the territory of one or both parties:

- Gives the finished product the character of "New and Different Product Trade"
- The value added in one or two parts is greater than or equal to 35% of the estimated value¹⁶, to the importation of the product.

¹¹ Table crafted by us from the database of the Ministry of Industry, Trade and New Technologies. Quota Management : 2006 - 2011. "Free trade agreement between Morocco and the United States, part concerning market access".

¹² This code means: vests, underpants, briefs, nightshirts, pajamas, bathrobes, dressing gowns and similar articles, for Men's or boys.

¹³ This code means: vests and shirts day, combinations or petticoats, panties, nightdresses, pajamas, negligees, bathrobes, dressing gowns and similar articles, women's or girls.

¹⁴ Designation for this code is: Brassieres, girdles, corsets, braces, suspenders, garters, and similar articles and parts thereof, of hosiery.

¹⁵ See General Secretariat of Government: www.sgg.gov.ma.

¹⁶ The estimated value consists of the value of inputs and direct costs of treatment.

The new concept of "New and Different Product of Trade" introduced by the Agreement means as originating: any product which has undergone a substantial transformation which enables it to acquire a new name, new features and a different use of materials used in its manufacture¹⁷. The transformation must result from a process of manufacturing operations resulting in a change in the use of the product or its properties. This is a process that generates a change in the physical properties of the product significantly.

Thus, a product may have this quality of "New and Different Product of Trade" if the operation undergone by the latter is complex in terms of process, time and level of expertise required so that the product loses its original identity.

Consider the following example: sausages of chapter 16 HS, manufactured by an American company, based in the United States, from meat imported from Australia and some other ingredients of which are native to the United States and others originating from Morocco.

Can the sausages be considered as originates of the U.S.? After passing the test "specific", we perceive that the sausages are not on the list of products subject to specific rules. So the product falls under the general approach. Accordingly, it's necessary to pass the test of "New and Different Product of Trade", with 35% of value added.

Under the terms of the Agreement, these products have the character of "new and different products" because it is indeed a new feature (frozen meat block, turned into sausages, spiced and prepared), a new name (frozen meat become the sausage) and a new use (frozen meat, transformed into a single-use product).

Then the required value (35%) must be checked. If this condition is satisfied, the product is originating in the United States. Otherwise, the product is not native from this country.

It should be noted that: some simple operations of packaging, assembly of parts, or mere dilution in water or another substance which do alter not enough the characteristics of a product shall in no case confer the status of "trade item new or different".

Furthermore, in order to ensure uniform application of the concept of "New and Different Product of Trade", the United States and Morocco have agreed by exchange of letters, to refer to the specific rules of the tariff classification specified in section 102.20 of the regulation of American customs. Under the terms of the preferential agreement, both parties may consult prior to any revision of these rules by the United States, to examine concerns and possible proposals of Moroccan firms.

Besides all these conditions on the origin, the goods exchanged under the agreement must be imported *directly* from the territory of one Party to the territory of the other Party. In case of transit through a third country, the goods should not undergo operation other than unloading, reloading or any other operation necessary to preserve them in good condition or to transport them to the territory of the other party. This is the direct transport rule.

3.4 EFFECTS OF RULES OF ORIGIN ON EXPORTS OF TEXTILES AND CLOTHING

Generally, the agreement has many exporting opportunities for industrial products "non-textile" insofar as it allows free access to almost all of the Moroccan industrial products in the U.S. market.

"Morocco has obtained an exemption for 98.78% of the positions in the American tariff upon entry into force of the Agreement"¹⁸. However, the Moroccan industrial supply remains poorly adapted to the U.S. market.

In the textile sector, dismantling patterns fixed both in terms of reduction of tariffs and the access quota, provide some opportunities for Moroccan textile industry. Thus, in terms of market access, it must be noted that "The agreement provides for the dismantling of tariffs over 6 years for most products. Quota offered in Morocco is 1.2 billion of USD the first year of

¹⁷ For example, pasta products are products new and different because they are made from wheat.

¹⁸ The products covered by the exemption are: footwear, canned fish, glassware and ceramics, leather goods, costume jewelry and lighting fixtures. It should be noted that these products are heavily taxed in the American tariff, which gives a comparative advantage for Morocco, noting that Morocco is the producer of the raw material used to manufacture these products. Ministry of Foreign Affairs and Cooperation (2005). "The free trade agreement between Morocco and the United States" on page 1. Viewed: www.maec.gov.ma

the agreement and 2.4 billion USD in 2010, which represents 25 times the amount of current exports from Morocco to the United States¹⁹.

Concerning rules of origin, it should be reminded that the agreement provides flexibility in terms of exports in the form of a quota of 30 million square meters of textile products which may be made from thread and tissues imported outside the zone of preferential trade. However, it is quite clear that the utilization rate of the quota by Moroccan companies is very low. The table below shows easily this situation.

Table 4. Balance sheet of granting flexibility on rules of origin for textile products, made in Morocco and exported to the United States since the implementation of the agreement (2006-2011)²⁰

	2006	2007	2008	2009	2010	June 2011*
Number of requests	200	102	127	84	103	82
Number of companies	40	32	35	34	30	34
Export turnover (in USD)	33 335 617	16394431	18 370 807	15 321 745	19 002 576,5	8 286 765,32
Equivalent square meters (X)	6 483 521	2 651919	2 869 616	1 838 537	1 814 093,52	1 307 880,5
Quota (Y)	30 000 000	30 000 000	30 000 000	30 000 000	25 714 000	21 428 000
Utilization rate quota (X / Y) in%	21,6	8,8	9,5	6,1	7	-

Source: Processing of the author, data from the Ministry of Industry, Trade and New Technologies (2006 - 2011)

* Note: in 2011, the figures were arrested in late June.

According to this data, we can see that the utilization rate fell from 21.6%, the first year of the agreement (2006) to about 7% in 2010.

Naturally, this opportunity would be limited by the rule of the triple transformation which may eliminate, after the completion of the quota period, a large part of the Moroccan exports textile and clothing from preferential arrangements. Indeed, the state of the textile industry, as it is today, does not allow companies to meet the rule of the triple transformation.

For the United States, the textile and clothing industry is considered as sensitive, thus U.S. negotiators therefore imposed a specific rule of origin binding. This rule has the effect of increasing transaction costs for operators Moroccan and, thereby, reduces the chances of complying with rules of origin.

In any case, in the future the benefits of the agreement in the field of textiles depend undeniably of Morocco's ability to develop an integrated industry and invest in upstream. Policy of attractiveness of foreign direct investment in the upstream is now necessary to ease procurement opportunities and improve competitiveness.

It should be noted that today the investment in raw materials to Morocco by foreign private groups is increasingly strengthened. This is partly motivated by the implementation of the preferential agreement between Morocco and USA.

For example, "the Spanish textile group" Tavex ", specialized in the manufacture of jeans and sportswear has invested 630 million MAD in the expansion of its subsidiary" Settavex "located in Settat"²¹. The installation of these foreign firms aims to

¹⁹ Economic Missions, Embassy of France in Morocco (2006). "The free trade agreement between the United States and Morocco", May.

²⁰ Table crafted by us from the database of the Ministry of Industry, Trade and New Technologies. Quota Management: 2006 - 2011. "Free trade agreement between Morocco and the United States, market access aspect."

strengthen the productive fabric of Moroccan companies in inputs. These tissues and thread should, in future, allow Moroccan operators maintain their market share gains and improved preferential exports to the U.S. market.

Currently, the rules of origin are an important parameter that has certainly negative effects on the expansion of Moroccan exports, especially textiles, to the U.S. market. However, beyond the issue of rules of origin, there are other structural reasons related to "defects of competitiveness" of the Moroccan economy to explain the difficulties faced by Moroccan exporters to break into the U.S. market.

Several key factors can be identified:

First, a big problem in terms of price-competitiveness due to the exchange rate of dirham / dollar that is unfavorable. It should be noted that "the question of exchange, compounded in recent years by the depreciation of the U.S. currency, tends to penalize the Moroccan product positioning, particularly in the textile industry. Unlike the Chinese, for example, which are favored by the direct alignment of their currency (Yuan) vis-à-vis the dollar²². Also, during the period from 2002 to 2008, the currency of Tunisia has not known a remarkable appreciation, this has better positioned Tunisia, in term of exchange rate compared to the case of Morocco²³.

Then, a high cost of factors of production (labor, energy ...) in comparison with competing countries and a low production capacity. This results in an inability of Moroccan small and medium companies in serving the raising commands of the U.S. customers that are often more important than what they are accustomed to dealing with the European market.

The third factor explaining the weakness of Moroccan exports is the poor image of Morocco in the United States mainly due to the lack of means of promotion.

Also, the standards required by U.S. regulations, sanitary and phytosanitary measures, among others, are the fourth factor that complicates the task of Moroccan operators.

Finally, the weakness of the local logistics is also blamed. Indeed, direct sea links between the United States and Morocco are absent.

4 CUMULATION OF ORIGIN

The preferential agreement signed between Morocco and the United States provides bilateral cumulation of materials embedded in goods traded between the two parties. To benefit from cumulation, materials must be originate, that is to say, wholly obtained or sufficiently processed. Thus, the direct costs of processing operations performed in Morocco or the United States as well as the value of materials produced in one or both parties are taken into account in the calculation of local value added. Similarly, inputs from the other party, incorporated into the manufacture of a product are considered as originating in the country. Similarly, inputs from the other party, incorporated into the manufacture of a finished product are considered as originating in the country which granted to the manufacturing and export of this product.

In addition, both parties agreed to define later, the outlook for the cumulation, in the context of a much wider regional integration.

Thus, Morocco has already integrated the concept of cumulation in the Association Agreement with the European Union. The principle of the Euro-Mediterranean area includes a regional approach to long-term, for the establishment of a system of diagonal cumulation "pan-Euro-Mediterranean". This can only be achieved if identical rules of origin are applied between all partners in the Mediterranean region.

It should be noted in this regard that, contrary to the bilateral approach adopted within the framework of the preferential agreement with the United States, the implementation of the system of pan Euro-Mediterranean requires, on the one hand, a taken up by the partners of the E.U, of rules of origin pan-euro-Med contained in the association agreements, and secondly, a conclusion of the free trade agreements among many of these countries.

²¹ Department of Trade and Industry (2008). Interview conducted by us with the department head textile-clothing.

²² The manufacture of jeans costs 22 dollars in Casablanca and only 12 dollars in Shanghai.

²³ CGEM (2009), les accords de libre-échange entre le Maroc et les Etats-Unis et les pays arabes. Study of the firm "Roland Berger". Viewed at: <http://www.cgem.ma>.

It goes without saying that the signing of the Agadir Agreement between Morocco, Tunisia, Egypt and Jordan in March 2004, aims to accelerate the implementation of the Pan-Euro-Med rules of origin. In addition, the agreement signed with Turkey in April 2004 and which incorporates the rules of origin pan-euro-Med is also in the same direction. Industries that would normally benefit from this opportunity of cumulation are textiles, clothing and cars.

However, "the daily reality is that companies find it difficult to benefit from this opportunity. The reason is that "the four signatories of the Agadir Agreement have similar economic structures and little-complementary"²⁴.

5 CERTIFICATION OF ORIGIN: THE RESPONSIBILITY OF THE IMPORTER

Given the complexity of the provisions on rules of origin, Morocco and the United States agreed in the framework of the preferential agreement to simplify the procedures concerning proof of origin products.

Thus, contrary to the procedure agreed with the European Union as well as that provided in the framework of other agreements, eligibility of goods for preferential treatment is determined to importation and not to exportation. Indeed, it is the importer who must prove the origin of imported goods. As part of the agreement with the EU, it should be remembered that the procedure in vogue is quite different. The origin is proven by a certificate of origin issued and certified by the competent authorities of the exporting country (usually the Customs Administration).

The system agreed with the United States does not require the issuance of a formalized certificate of origin. In fact, it is the importer who is responsible for the preparation of procedures for the certification of origin of goods. It must be able to submit to the customs authorities, upon request, a statement containing all the information relating to the manufacture of imported goods to enable them to appreciate the declared origin. This declaration is based on the documents provided by the supplier. It must contain at least the following:

A description of the product;

A description of the operations performed for the production of the property;

An identification of the direct costs of processing;

A description of all the originate materials used for the production of the good;

A declaration of the origin and value of all the non-originating materials used in the manufacture of the good, which are declared to have been sufficiently processed in one or both parties;

And a description of the origin and value of all the non-originating materials which have not been sufficiently processed in one or both parties.

For this purpose, the importer must keep the information necessary for the preparation of the declaration for a period of at least 5 years.

Moreover, the preferential tariff treatment is normally given to any request, unless available information indicates that the request does not meet the required conditions.

Obviously, when a customs authority of both parties rejects the claim for preferential treatment, it is necessary to issue a written decision that contains the elements of form and content that motivate the decision.

6 CONCLUSION

Finally, it should be noted that the implementation of the preferential agreement with the United States contributes to the enrichment of the arsenal of rules of origin with different trading partners of Morocco.

The agreement with the United States brings a new approach to rules of origin namely the concept of new and different product which includes both the change of name of the product, its features and its use. In addition to this approach, specific rules are provided for certain sensitive products of the textile industry. Concerning the textile sector, the rule of the triple

²⁴ Limantour, J. F., and Ben Amor, T. (2008). Study on opportunities for cumulation of origin and complementarities in the textile and clothing in the Member States of the Agadir Agreement. Cabinet Max – Welle Stamp. March 2008.

transformation, planned for almost all textile products, has been derogated for a period of 10 years from the entry into force of the Agreement.

Regarding customs procedures, the agreement provides for a relaxing outstanding compared to other agreements concluded by Morocco. Indeed, at the time of import, only a declaration of the importer certifying the origin of the goods is required by customs. It is not required to produce a formula of certificate specially designed for the proof of origin.

The agreement provides certain opportunities (up to 2016) for Moroccan companies of the industry textile and clothing. It gives these companies, within the limits of a quota, the ability to import inputs from third, transform them in Morocco and export them to the United States, without the need to respect the rule of sufficient transformation.

However, these opportunities are under-exploited by Moroccan companies for several structural reasons sometimes going beyond the restrictive rules of origin and inconsistencies of preferential agreements: firm size, disability of language, the importance of informal, logistical problems and difficulties in obtaining raw materials at competitive prices, are all factors that explain the weakness of Moroccan exports to the U.S. market.

In short, since Moroccan capacities of export cannot adapt because of the need for heavy investments in basic infrastructure and equipment in order to be consistent with the constraint of rules of origin, the effect of these rules on trade can only be that negative in short term.

To adapt to these rules, the government must bear the adjustment costs to upgrade the Moroccan companies. If they pass this policy of adjustment and of upgrade, the logical impact on the expansion of export flows to foreign markets will only be that positive in the long term.

REFERENCES

- [1] Administration of Customs and Excise (2011). *Customs Tariff Duties*. Viewed: <http://www.douane.gov.ma>
- [2] N. Akasbi (2008). Free Trade Agreement Morocco-USA. *Review of Critical Economic*, no. 21 Winter, Morocco.
- [3] CGEM (2009), free trade agreements between Morocco and the United States and the Arab countries (agreement Quad, study realized by the firm Roland Berger). Viewed: <http://www.cgem.ma>
- [4] French Embassy, Economic Missions (2006). "The free trade agreement between the United States and Morocco", May, 2006.
- [5] European Commission (2009). Text of the Regional Harmonized System Convention. Viewed: http://admi.net/eur/loi/legeuro/fr_287A0720_01.html
- [6] Exchange Office (2010), Trade Balances of Morocco 2005-2010. Viewed: <http://www.oc.gov.ma>
- [7] General Secretariat of the Government (2008). *Official Bulletin no. 4861bis-6* Shawwal 1421 January 1, 2001, article 6. Viewed: <http://www.sgg.gov.ma>.
- [8] J. F. Limantour and T. Ben Amor (2008). Study on opportunities for cumulation of origin and complementarities in the textile and clothing for Member countries of the Agadir Agreement. *Cabinet Max – Welle Stamp*, 528 Pages. March.
- [9] Ministry of Agriculture, Fisheries and Rural (2004). Free trade between Morocco and the United States: Challenges of upgrading of agriculture. *Working Paper*, Rabat, April.
- [10] Ministry of Foreign Affairs and Cooperation (2006). *Text of the preferential agreement between Morocco and the United States*. Viewed: <http://www.mce.gov.ma>
- [11] Ministry of Industry, Trade and New Technologies (2011). "Free trade agreement between Morocco and the United States, market access section". *Textile quota management: 2006 - 2011*.

Caractérisation des mouûts et bières du sorgho *Safrari* houblonnés avec *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii*

[Characterization of *Safrari* sorghum worts and beers hopped with *Vernonia amygdalina* and *Nauclea diderrichii*]

Zangué S.C. Desobgo¹, Fantha Y. Naponni², et Emmanuel J. Nso³

¹Chargé de cours, Département de Génie Alimentaire et Contrôle Qualité
Institut Universitaire de Technologie (IUT) de l'Université de Ngaoundéré,
Ngaoundéré, Cameroun

²Technicien supérieur, Département de Génie Alimentaire et Contrôle Qualité
Institut Universitaire de Technologie (IUT) de l'Université de Ngaoundéré,
Ngaoundéré, Cameroun

³Maitre de Conférences, Département de Génie des Procédés et d'Ingénierie
Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-Industrielles (ENSAI) de l'Université de Ngaoundéré,
Ngaoundéré, Cameroun

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective of this work consisted in studying the procedures of the manufacture of beer from sorghum, in order to be able to put forward its qualities and to develop the local bittering substances such as *Vernonia amygdalina* and *Nauclea diderrichii*. In this study, *Safrari* sorghum cultivar was malted and brewed under laboratory controlled conditions. Different types of beers were manufactured using combinations of *Vernonia amygdalina* and *Nauclea diderrichii* as tropical hops. The extract, reducing sugars, free amino nitrogen (FAN) of worts hopped with *Vernonia amygdalina* and *Nauclea diderrichii* was respectively from: 16 °P; 8 g/L to 25 g/L; 193 mg/L to 263 mg/L. Concerning final beer, the same residual characteristics were respectively from: 4.5 °P to 6.5 °P; 1 g/L to 2.5 g/L; 17 mg/L to 60 mg/L. pH of worts and beer ranged from 3.5 to 4.5.

KEYWORDS: *Safrari*, *Vernonia amygdalina*, *Nauclea diderrichii*, wort, beer, characterization.

1 INTRODUCTION

Le sorgho (*Sorghum bicolor*. (L.) Moench) est une céréale tropicale des régions semi-arides où il sert de source importante de nourriture [1]. C'est la source d'énergie la plus importante dans la partie septentrionale du Cameroun. Avec 500000 tonnes de production annuelle [2], cette production est importante. Dans la condition de concurrence des entreprises multinationales, le sorgho est la meilleure alternative à l'orge pour le brassage de bière blonde [3]-[4]. En effet, le sorgho est utilisé dans la production des bières opaques traditionnelles et des boissons sans alcool dans les pays en voie de développement et jusque récemment, dans la production de la bière industrielle [5]-[6]. Dans les années 1970, on recensait 700 femmes brassant de la bière (*Bili-Bili*) à Maroua [7]. En 2001 ce chiffre était largement dépassé avec une production moyenne supérieure à 100 litres de bière par cycle de production pour une mise de 40 kg de sorgho [8]. La bière de sorgho est largement consommée par les pauvres et contribue significativement à l'alimentation des populations. La production de *Bili-Bili* revêt un caractère socio-économique remarquable [9] puisqu'il est abondamment utilisé au cours des cérémonies traditionnelles. Par cette production croissante de *Bili-Bili*, les populations féminines de cette partie septentrionale du

Cameroun, directement concernées par la production de cette boisson, augmentent ainsi leur pouvoir d'achat. En effet, la bière de sorgho (*Bili-Bili*) participe à l'autonomie financière de ces femmes [10]. La femme qui traite régulièrement entre 100 et 150 tasses de sorgho, deux fois par semaine, peut disposer de revenus de 120000 FCFA par mois [9].

Un certain nombre de contraintes freinent le développement de ce secteur d'activité. D'une part, la production reste strictement artisanale, et donne un produit qui ne se conserve que 24 heures. D'autre part, le faible rendement de la production et les caractéristiques organoleptiques de cette bière la rendent de loin moins agréable que les bières industrielles très appréciées dans les villes africaines. Les exigences de qualité de plus en plus strictes notamment au niveau des populations urbaines nécessitent la mise au point d'une bière africaine standardisée bien conditionnée et de bonne qualité organoleptique et sanitaire, aussi compétitive que la bière de malt d'orge. Ainsi, des essais d'amélioration de la qualité et de conditionnement des bières locales africaines ont été réalisés notamment au Nigeria et en Afrique du sud [11].

La substitution du houblon par les plantes locales amères a fait l'objet de très peu d'études. Les houblons commerciaux sont amers, ainsi, les plantes tropicales avec des principes amers ont été étudiées en tant que substituts potentiels du houblon. Les travaux ont montré l'utilisation des feuilles amères de *Gongronema latifolium* dans le brassage de la bière éthiopienne. Une bière blonde acceptable avec *Vernonia amygdalina*. *Garcinia kola*, peut être produite [12] et, elle rehausse la saveur des boissons locales lors de la mastication, tout en les buvant. Les travaux ont montré la réussite du développement d'un substitut de houblon tropicale à partir d'un mélange de *Gongronema latifolium*, *Vernonia amygdalina* et *Garcinia kola* combinés dans le rapport de 1 : 1,41 : 2,89, respectivement [13]-[14].

Le travail proposé ici a l'intention de contribuer au développement de ces idéaux, sachant que plusieurs types de brassage et de configurations sont testées et étudiées dans de nombreuses institutions et les brasseries, et les concepts sont améliorées en matière d'efficacité en utilisant *Humulus lupulus*, mais l'utilisation des houblons tropicaux ne sont évidemment pas si fréquent.

2 ANALYSES DE LA MATIÈRE PREMIÈRE

2.1 DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN EAU

La détermination de la teneur en eau des céréales est obtenue par perte de masse.

Le sorgho malté est broyés à l'aide d'un broyeur. Ensuite, 25g farine est séchée à l'étuve pendant 24h à 105°C. L'humidité résiduelle exprimée en pourcentage est calculée selon la formule suivante :

$$H = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100$$

H : teneur en eau % (m/m) ; M_0 : masse avant passage à l'étuve ; M_1 : masse après passage à l'étuve.

2.2 DÉTERMINATION DE LA CAPACITÉ GERMINATIVE

La détermination du pourcentage de grains viables dans un échantillon est obtenue en utilisant le peroxyde d'hydrogène comme catalyseur de croissance [15].

Le trempage de deux lots de 200 grains a été effectué à température ambiante (22-25°C), dans une solution de peroxyde d'hydrogène de concentration 7,5 g/l pendant 2 jours. Par la suite, la solution épuisée a été remplacée par une solution fraîche puis, le trempage a été effectué pendant deux jours supplémentaires. À la fin de ce trempage, la solution a été versée et on a procédé au décompte des grains qui ont germés.

La capacité germinative exprimée en pourcentage a été calculée suivant la formule :

$$CG = \frac{200 - N_{ng}}{2}$$

CG : Capacité germinative (%) ; N_{ng} : Nombre de grains qui n'ont pas germé.

2.3 DÉTERMINATION DE L'ÉNERGIE GERMINATIVE (MÉTHODE BRF)

Il est basé sur la détermination du pourcentage de grains susceptibles de totalement germer si, l'échantillon est normalement malté [15].

Deux papiers filtre ont été placés chacun au fond de deux boîtes de pétri. Ensuite, 4ml et 8ml d'eau distillée ont été ajoutées respectivement dans chaque boîte. Deux lots de 100 grains chacun doivent ont été placés. Celles-ci doivent être

couvertes et placées dans un emballage à l'abri de la lumière. Les grains doivent être incubés pendant 24, 48 et 72h. Les grains qui ont germés devront être par la suite comptés. L'énergie germinative a été calculée à l'aide de l'expression :

$$EG = 100 - N_{ng}$$

EG : Énergie germinative (%) ; N_{ng} : Nombre de grains qui n'ont pas germé.

2.4 DÉTERMINATION DU POIDS DE 1000 GRAINS

La détermination de la masse moyenne d'un grain est prise comme paramètre qualitatif au cours du brassage [15]. Deux lots de 40g de sorgho chacun doivent être pesés et débarrassés des poussières et matières étrangères. Puis, chaque lot de grains a été recompté et pesé. La masse de 1000 grains a été évaluée par l'expression :

$$P_m = \frac{1000M(100 - H)}{100N_g}$$

P_m : masse (g) de 1000 grains secs ; M : Masse (g) du lot pesé après le décompte des grains ; H : Teneur en eau des grains (%) ; N_g : Nombre de grains comptés dans le lot.

3 PROCÉDÉ DE FABRICATION

3.1 EXTRACTION DES SUBSTANCES AMÉRISANTES

Elle s'est déroulée de manière différente :

Les feuilles de *Vernonia amygdalina* sont broyées et 1,5kg de ces feuilles broyées sont introduits dans 4 L d'eau ensuite laissé au repos pendant 3h, filtré et conservé au réfrigérateur (4°C) ;

Cependant pour l'extraction de *Nauclea diderrichii*, les écorces de *Nauclea diderrichii* sont prélevées, découpées en petits morceaux, et 1kg est introduit dans 3 L d'eau distillée, laissé au repos pendant 3h, filtré et conservé au réfrigérateur (4°C).

3.2 PROCÉDURE DE MALTAGE DU SORGHO

Les grains de sorgho sont triés dans le but d'enlever les souillures visibles et les grains cassés. Le trempage des grains est effectué en prélevant un kilogramme de grains que nous introduisons dans 3 litres d'eau pendant 24h à la température ambiante ($\approx 25^\circ\text{C}$). Après la trempe, les grains sont étalés sur des sacs en jute au sol et recouverte pour une durée de 3 jours avec une aspersion chaque 6h. Par la suite les grains germés sont portés au séchoir (CKA 2000-AUF) à 40°C pour une période de 4 jrs. Après ce séchage le malt est débarrassé des radicules et conservé au réfrigérateur.

3.3 LE BRASSAGE

Le sorgho malté est moulu à l'aide d'un broyeur Polymix PX-MFC 90D (VWR International S.A.S. Le Périgas 201, rue Carnot, 94126 Fontenay-sous-Bois cedex, France), 200g de farine sont pesés et introduit dans un bécher de 1000 ml. 800 ml d'eau distillée sont ajoutés et l'ensemble est bien agité à l'aide d'une spatule pour éviter la formation des flocons. Le tout est ensuite mis au bain marie (Memmert) à 45°C pendant 1h en agitant à l'intervalle de 5 minutes. Par la suite, le mélange est retiré du bain marie et laissé décanter. Après décantation, le surnageant (170 ml) contenant des enzymes endogènes est retiré et gardé. Le reste est gélatinisé au bain marie (Memmert) à 100°C pendant 45min avec agitation toutes les 5 minutes. Après gélatinisation le bain marie est porté à 65°C pour un brassage. Pour plus d'hydrolyse ce surnageant est réintroduit dans le mélange, et le tout est brassé pendant 1h30min avec agitation toute les 5minutes. Après ce brassage, le moût est refroidit, filtré et enfin centrifugé à l'aide de la centrifugeuse Heraeus.

3.4 HOUBLONNAGE DU MOÛT

Dès le début de l'ébullition, 10ml de substances amérisantes (selon les différents types de combinaisons) sont introduits dans 200 ml de moût et, l'ensemble est laissé à ébullition pendant 5min. Les moûts houblonnés sont introduits dans des bocaux opaques de 300 ml bien stérilisés. Le tableau 1 présente les différentes combinaisons en substance amérisants :

Tableau 1. *différents combinaisons en substances amérisantes*

1	2	3	4	5	6
V=0/N=10	V=2,5/N=7,5	V=5/N=5	V=7,5/N=2,5	V=10/N=0	V=0/N=0

Avec : V = *Vernonia amygdalina* ; N = *Nauclea diderrichii* ; (V=0/N=10 → *Vernonia amygdalina* = 0 ml et *Nauclea diderrichii* = 10 ml)

3.5 FERMENTATION

Après houblonnage, les moûts sont refroidis à température ambiante (25 °C) afin d'ensemencer les levures. L'ensemencement s'est fait en introduisant 5ml de levures préalablement préparé en prélevant 2,5g des levures (*Saccharomyces cerevisiae* en provenance des Brasseries du Cameroun) et en les introduisant dans 200ml de solution de maltose à 12°B pour 24 h, ensuite la solution de maltose est reversée dans une nouvelle solution à 12 °B pour 48h. La fermentation du moût s'est faite sur 10 jrs.

4 ANALYSE DU MOÛT ET DE BIÈRE

4.1 DÉTERMINATION DE L'EXTRAIT (°P)

Elle permet de déterminer la quantité de sucre produit après hydrolyse de l'amidon en utilisant un réfractomètre à mains. Une goutte de solution est répandue sur la surface réfringente d'un réfractomètre à main et l'intensité de la lumière réfractée est mesurée.

Une goutte de chaque moût et bière est placée sur la surface en verre du réfractomètre à main de marque Euromex dont les fonctions sont basées sur la réfraction de la lumière. Les teneurs en sucre exprimées en degré Brix (°B) sont directement lues sur les graduations du réfractomètre. La conversion est ensuite faite en degré Plato.

4.2 DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN SUCRES RÉDUCTEURS DES MOÛTS ET DES BIÈRES

Les sucres réducteurs sont dosés par une méthode colorimétrique avec le réactif à l'Acide 3,5-Dinitrosalicylique (DNS). C'est une réaction d'oxydoréduction non stœchiométrique permettant de quantifier les sucres réducteurs. Dans cette réaction, la fonction aldéhyde du sucre libre (réducteur) est transformée en fonction carboxylique par le DNS (oxydant). L'absorbance du DNS oxydé est lue à 540 nm.

Les moûts ou bières (0,1 ml) préalablement dispersés dans les tubes à essais sont mélangés avec 7,9 ml d'eau distillée. La solution est ensuite mélangée avec 2 ml du réactif au DNS puis incubé au bain marie bouillant pendant 10 min. La densité optique à 540 nm est lue au spectrophotomètre UV/Visible. Une solution standard de maltose de 0,5 mg/ml est utilisée pour réaliser la droite d'étalonnage. Les quantités de sucres réducteurs sont obtenues à partir de la droite d'étalonnage [16].

4.3 DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN ACIDES AMINÉS LIBRES DES MOÛTS ET DES BIÈRES

La détermination de la teneur en acides aminés libres contenus dans le moût est obtenue par colorimétrie à la méthode à la ninhydrine [15]. La méthode donne une estimation des acides aminés, en tenant compte des groupements α-aminés terminaux des peptides et protéines. La proline est partiellement estimée à la longueur d'onde utilisée.

A 1ml d'échantillon est ajoutée 99 ml d'eau distillée pour obtenir la dilution de 1/100. Dans trois tube à essais, sont placés 2 ml chacun d'échantillon dilué. A chacun des tubes à essais, 1 ml de réactif coloré (composé de : disodiumhydrogène-phosphate, dihydrogène-phosphate de potassium, ninhydrine, fructose et eau) est ajouté. Les tubes sont placés dans un bain d'eau bouillante pendant 16 min. Après, ils sont refroidis au bain d'eau jusqu'à 20-25°C. A chacun nous ajoutons 5 ml de la solution de dilution (composé de : Iodate de potassium, eau et alcool à 96 %). L'absorbance à 570 nm doit être lue au spectrophotomètre UV/Visible. Les résultats obtenus sont comparés à celui du blanc et du standard. Le blanc est préparé avec 2 ml d'eau distillée au lieu du moût dilué. Pour le standard, 2 ml de glycine est introduits à la place du moût dilué.

La teneur en acides aminés libres est déterminée grâce à la relation :

$$AAL = \frac{2A_1d}{A_2}$$

AAL : acides aminés libres (mg/L) ; A₁ : Absorbance de la solution test à 570 nm ; A₂ : Absorbance moyenne des solutions standard ; d : Facteur de dilution.

4.4 DÉTERMINATION DE L'ACIDITÉ TOTALE TITRABLE SUR LE MOÛT ET SUR LA BIÈRE

Avec la soude à 0,1N en présence de la phénolphthaléine, 5ml de moût ou de bière à analyser sont titrés. La titration est arrêtée lorsque la solution vire au rose persistant pendant 30 secondes, ensuite la descente du volume de soude sur la burette est lue [17].

L'acidité totale titrable est donnée par la relation :

$$ATT = \frac{N_b \times V_b \times 1000}{V_a} \times k$$

N_b : normalité de la soude ; V_b : volume (ml) de la soude ; V_a : volume (ml) de l'échantillon ; $k = 0,067$ (acide malique) ; $k = 0,8$ (acide acétique)

5 RESULTAT ET DISCUSSION

5.1 CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET PHYSIOLOGIQUES DU CULTIVAR SAFRARI

Les caractéristiques physico-chimiques liées aux tests d'acceptation et de potentialités brassicoles permettent d'apprécier la valeur des résultats du tableau 2 qui montre que la teneur en eau de *Safrari* malté (10,27±00%) est inférieure à 13% qui est la teneur en eau maximale recommandée pour la conservation des céréales [18]. Les grains sont donc en bon état de conservation. La capacité germinative, l'énergie germinative (4ml) et l'énergie germinative (8ml) dont les valeurs sont de 100%, 98% et 96 respectivement respectent les normes requises [15]. Les grains sont ainsi aptes pour le maltage. Le poids de mille grains dont la valeur est de 42,96±0,09g est dans la même gamme de littérature [19]. Ces résultats permettent donc de postuler que *Safrari* est apte au maltage et la qualité de l'extrait pouvant être obtenue au terme du brassage pourra être considérable.

Tableau 2. Récapitulatif des caractéristiques physico-chimiques du cultivar Safrari

Test	H (%)	P _m (g)	CG (%)	EG% (4ml)	EG% (8ml)
	10,27 ± 0,15	42,96 ± 0,09	100	98 ± 1	96 ± 1

5.2 CARACTÉRISTIQUES DES HOUBLONS TROPICAUX

Le tableau 3 présente les différentes caractéristiques des substances amérisantes utilisées pour la fabrication de différentes bières. On constate globalement une différence entre ces deux houblons tropicaux. En effet, *Vernonia amygdalina* est plus riche en sucres réducteurs (2,37 ± 0,10 g/L), acides aminés libres (7860 ± 12,10 mg/L) et moins acide (6,9 ± 0,14) que *Nauclea diderrichii* qui, par contre est plus riche en extrait (1,62 ± 0,05 °P).

Tableau 3. Caractéristiques physicochimiques des substances amérisantes

	Sucresréducteurs (g/L)	AAL (mg/L)	Extrait (°P)	pH	ATT _m (g/L)	ATT _a (g/L)
<i>N. diderrichii</i>	0,10 ± 0,009	666,67 ± 5,60	1,62 ± 0,05	4,15 ± 0,10	0,13 ± 0,04	2,14 ± 0,11
<i>V. amygdalina</i>	2,37 ± 0,10	7860 ± 12,10	0,97 ± 0,02	6,9 ± 0,14	0,12 ± 0,06	1,53 ± 0,18

5.3 EXTRAIT

La figure 1 présente l'évolution d'extrait des bières houblonnées par *V. amygdalina* et *N. diderrichii*. Les différentes courbes sur la figure ont la même allure. On constate néanmoins que les moûts houblonnés par les couples V=0/N=10 ; V=7,5/N=2,5 et la référence (V=0/N=0), ont un meilleur comportement au cours de la fermentation. En effet, en 4 jours de fermentation on atteint la phase stationnaire (on passe de 16°P à 4,5°P) de la fermentation, avec une consommation de 11,5°P. Soit une atténuation de 71,87%. Ceci traduirait un relatif bon comportement des levures au cours de la fermentation. Par contre les autres moûts (V=2,5/N=7,5 ; V=5/N=5 ; V=10/N=0) présentent quelques difficultés à être fermentés tous les sucres. En effet, la phase stationnaire est atteinte au bout de 5 jours pour le meilleur des cas (V=10/N=0) et au bout de 7 jours pour le pire des cas (V=5/N=5). Tout ceci avec un extrait résiduel de 6,5°P, soit une atténuation de 59,37%. D'où une fermentation moins aisée. Les teneurs relativement élevées en extraits résiduels après fermentation, s'expliqueraient par une assimilation limitée des sucres par *Saccharomyces cerevisiae* [20]. Ces fractions étant constituées de sucres non

fermentescibles [18]-[20]-[21]. Une autre explication serait la teneur en extrait initial qui est élevée. En effet, les moûts de densités élevées contribueraient à réduire la performance des levures ceci, à cause de la forte pression osmotique qui aurait une influence négative majeure [22].

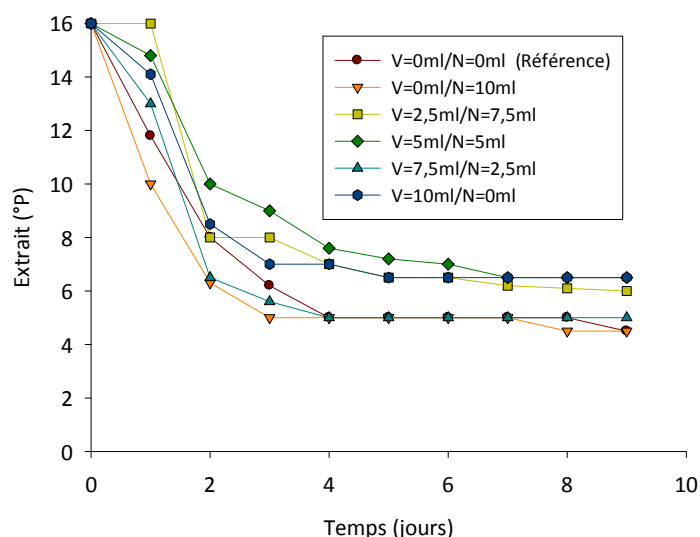


Fig. 1. Evolution de l'extrait au cours de la fermentation des moûts de Safrari (houblonnés par *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii*)

5.4 LES SUCRES RÉDUCTEURS

Les sucres sont les éléments indispensables pour la fermentation alcoolique en brasserie car ils constituent la source principale d'énergie pour le métabolisme des levures. La figure 2 présente l'évolution de la teneur en sucres réducteurs des différents types de bières houblonnées par *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii*. On constate que, les moûts au départ ne possèdent pas la même teneur en sucres réducteurs pourtant, tous sont issus d'un même brassin. Ceci s'expliquerait par les réactions de Maillard qui s'opèreraient au pendant l'opération d'houblonnage [23]-[24]. En effet, en plus des acides aminés libres déjà présents dans les moûts, l'ajout de *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii* apporterait un supplément en acides aminés libres (tableau 3) qui, entreraient en réaction avec les sucres réducteurs des moûts, réduisant ainsi la quantité en sucres réducteurs disponibles avant la fermentation [25]-[26]-[27]-[28]. De cette figure 2, sachant que le profil de sucres ne varie pas avant et après le houblonnage [20], ces variations quantitatives des sucres réducteurs disponibles après houblonnage permettrait de suggérer une différence de type d'acides aminés libres entre *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii*, cette dernière contiendrait moins d'acides aminés libres qui participent aux réactions de Maillard (V=10/N=0 ; V=7,5/N=2,5 et V=5/N=5).

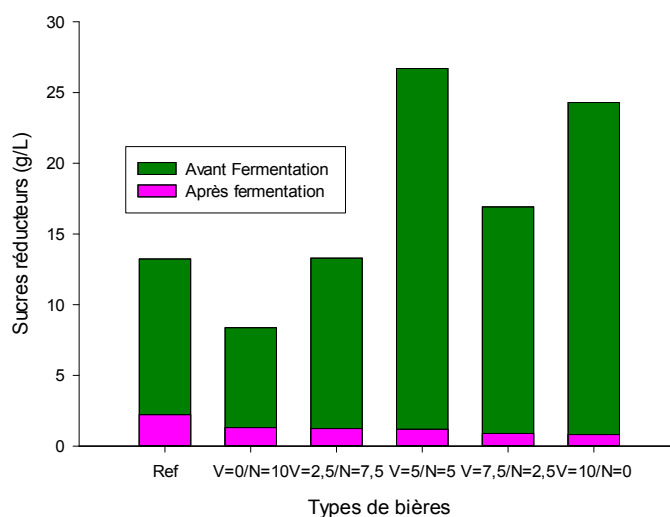


Fig. 2. Teneurs en sucres réducteurs des différents types de bières houblonnées à *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii* (avant et après fermentation)

5.5 ACIDES AMINÉS LIBRES

Dans un moût, les composés azotés à faible poids moléculaires, dont les acides aminés libres sont déterminants non seulement pour le pouvoir fermenteur de la bière mais également pour la saveur et la mousse de la bière [20]. La figure 3 présente le résultat de la détermination de la teneur en acides aminés libres des différents types de bières houblonnées par *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii* cette figure révèle la baisse de la teneur en acides aminés libres dans la bière finie, cette baisse coïncide avec la consommation des acides aminés libres par les levures. En effet, au cours de la croissance de *Saccharomyces cerevisiae*, les acides aminés libres sont catabolisés [29]. Le reste d'acides aminés libres dans le milieu participerait à la flaveur de la bière [18]-[20]. Les différences quantitatives observées entre les teneurs en acides aminés libres des moûts (figure 3) seraient dues non seulement aux réactions de Maillard pendant le houblonnage mais également dues aux réactions de complexation avec les polyphénols, causant le trouble à chaud [18]-[20].

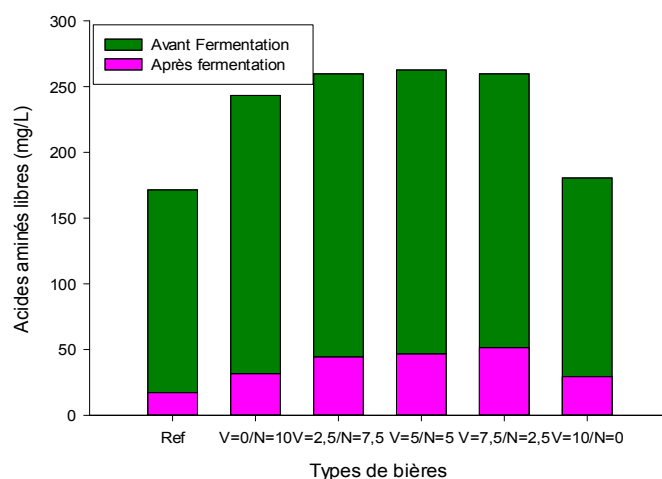


Fig. 3. Teneurs en acides aminés libres des différents types de bières amérisées à *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii* (avant et après fermentation)

5.6 ACIDITÉ TOTALE TITRABLE

La figure 4 présente le résultat de l'évolution de l'acidité totale titrable de différentes bières amérisées par *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii* (avant et après la fermentation). Pour ce qui est des différentes acidités, on constate qu'elles augmentent au cours de la fermentation. Cette acidité serait due d'une part aux constituants de la matière première (sorgho), d'autre part aux acides présents dans les extraits de *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii*. Enfin, la fermentation conduirait à la production des alcools (acides faibles) et autres constituants tel que le CO₂ dont une partie se solubiliserait pour donner l'acide carbonique. Il est à noter que pH de toutes les bières était compris entre 3,5 et 4,5.

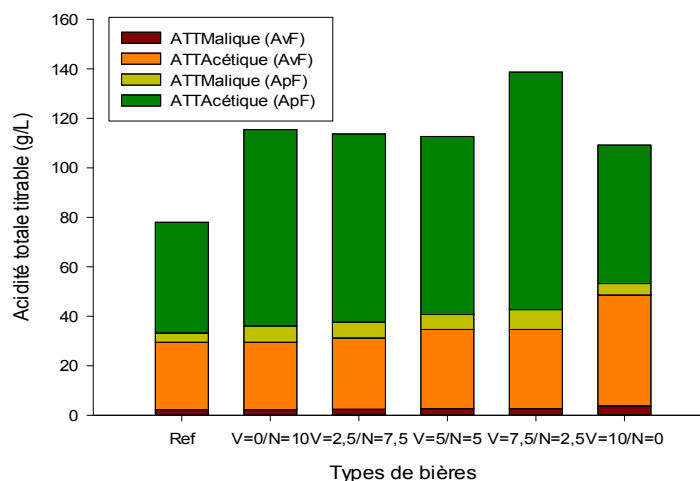


Fig. 4. Evolution de l'acidité totale titrable (malique et acétique) des différents types de bières amérisées à *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii* (avant et après fermentation).

6 CONCLUSION

L'objectif du travail était de caractériser les bières houblonnées grâce à *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii*. Ainsi, au terme de ce travail, on constate comme l'a déjà énoncée la littérature que, ces deux plantes permettraient d'amériser convenablement les bières de sorgho et par conséquent seraient de potentiels substituts à *Humulus lupulus*. Bien qu'utilisés dans la pharmacopée traditionnelle pour leurs vertus médicinales et leurs facultés à combattre certains germes, *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii* n'influencent pas la fermentation de la bière au regard de l'échantillon de référence. Ces deux plantes se sont révélées aussi comme d'excellentes sources d'apport en acides aminés libres, améliorant ainsi les caractéristiques des moûts avant la fermentation. Il serait néanmoins intéressant pour compléter le travail de ressortir le profil qualitatifs des sucres et acides aminés avant et après houblonnage.

REFERENCES

- [1] J. R. N. Taylor, "Overview: Importance of sorghum in Africa," Department of Food Science, University of Pretoria, Pretoria, South Africa, 2004.
- [2] FAO. (2010, 28/11/2010). *Production de sorgho au Cameroun (tonnes) (FAO Statistics Division 2010 ed.)*. Available: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>
- [3] A. O. Aisien, "Sorghum: A suitable source for brewing beer?," *Brewing and Distilling International*, vol. 2, pp. 20-22, 1988.
- [4] M. O. Ilori, J. O. Ogundiwin, and S. R. Adewusi, "Sorghum malt brewing with sorghum/maize adjuncts," *Brewing and Distilling International*, vol. 3, pp. 10-31, 1991.
- [5] G. H. Palmer, "Cereal for malting and brewing," in *Cereal science and technology*, G. Palmer, Ed., ed Aberdeen, Scotland: Aberdeen University Press, 1989, pp. 61-242.
- [6] J. R. N. Taylor and J. Dewar, "Developments in sorghum food technologies," in *Advances in Food and Nutrition Research*, J. Taylor, Ed., ed San Diego, USA: Academic Press, 2001, pp. 217-264.

- [7] C. Seignobos, "La bière de mil dans le Nord-Cameroun : un phénomène de mini-économie," in *Recherches sur l'approvisionnement des villes et la croissance urbaine dans les pays tropicaux*, ed: Mémoires du Ceget – CNRS, 1976, pp. 1-39.
- [8] E. Lopez and J. Muchnik, "Des systèmes agroalimentaires dans la ville? Le cas de Maroua au Nord-Cameroun," *Etud. Rech. Syst. Agraires Dév.*, vol. 32, pp. 145-163, 2001.
- [9] C. Seignobos and H. Tourneux, *Le Nord-Cameroun à travers ses mots. Dictionnaire de termes anciens et modernes. Province de l'extrême Nord*. Paris: IRD/Karthala, 2002.
- [10] J. Koulandi, *Le bili-bili et la « libération » de la femme tupuri (idées et réflexions pour un débat constructif sur l'avenir de la communauté tupuri du Tchad et du Cameroun)*, Editions et Média ed. Guider: Ka'arang, 1999.
- [11] S. A. Odunfa, "African Fermented Foods," in *Microbiology of fermented foods*. vol. 2, B. J. B. Wood, Ed., ed: Elsevier Appl. Sci. Publ. Lond., 1985, pp. 155-191.
- [12] N. Okafor and G. N. Aniche, "West African hop substitute for sorghum lager," *Brewing and Distilling International*, vol. 13, pp. 200-204, 1983.
- [13] C. E. Okoro, "Development of Tropical Hops substitute for the Nigerian Brewing Industry," Msc Msc Thesis, University of Ibadan, Ibadan, Nigeria, 1990.
- [14] C. E. Okoro, "Development of hop substitutes from tropical plants," *J. Agric. Technol*, vol. 1, pp. 30-35, 1993.
- [15] Analytica-EBC, *European Brewery convention*. Nürnberg: Fachverlag Hans Carl, 1998.
- [16] G. L. Miller, "Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar," *Analytical Chemistry*, vol. 31, pp. 426-428, 1959.
- [17] AFNOR, "Association Française de Normalisation," in *Recueil des Normes Françaises des produits dérivés des fruits et légumes. Jus de fruits*, AFNOR, Ed., 1 ed. Paris, 1982.
- [18] J. S. Hough, D. E. Briggs, R. Stevens, and T. W. Young, *Malting and brewing science*, University Press ed. vol. 2. London: Chapman and Hall, 1982.
- [19] E. J. Nso, P. E. Ajebesone, C. M. Mbofung, and G. H. Palmer, "Properties of three sorghum cultivars used for the production of Bili-Bili beverage in Northern Cameroon," *Journal of the Institute of Brewing*, vol. 109, pp. 245-250, 2003.
- [20] D. E. Briggs, C. A. Boulton, P. A. Brookes, and R. Stevens, *Brewing science and practice*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2004.
- [21] D. E. Briggs, *Malts and malting*, 1 ed. London: Blackie Academic & Professional, 1998.
- [22] E. J. Lodolo, J. L. F. Kock, B. C. Axcell, and M. Brooks, "The yeast *Saccharomyces cerevisiae*-the main character in beer brewing," The South African Breweries Ltd (SAB)2008.
- [23] R. Ikan, *The Maillard reaction*. Chichester: John Wiley, 1996.
- [24] S. E. Fayle and J. A. Gerrard, *The Maillard reaction* vol. 14. London: Royal Society of Chemistry, 2002.
- [25] Z. S. C. Desobgo, E. J. Nso, and D. Tenin, "The response surface methodology as a reliable tool for evaluating the need of commercial mashing enzymes for alleviating the levels of reducing sugars of worts of malted sorghum: case of the *Safrari* cultivar," *Journal of Brewing and Distilling*, vol. 2, pp. 5-15, 2011.
- [26] Z. S. C. Desobgo, E. J. Nso, and D. Tenin, "Use of response surface methodology for optimizing the action of mashing enzymes on wort reducing sugars of the *Madjeru* sorghum cultivar," *African Journal of Food Science*, vol. 5, pp. 91-99, 2011.
- [27] Z. S. C. Desobgo, E. J. Nso, and D. Tenin, "Modeling the action of technical mashing enzymes on extracts and free-amino nitrogen yields of the *Madjeru* sorghum cultivar," *Journal of Brewing and Distilling*, vol. 2, pp. 29-44, 2011.
- [28] Z. S. C. Desobgo, E. J. Nso, and D. Tenin, "Optimisation of the Action of Commercial Mashing Enzymes on Wort Extracts and Free Amino Nitrogen of the *Safrari* Sorghum Cultivar," *Technical Quarterly Master Brewers Association of the Americas*, vol. 48, pp. 77-86, 2011.
- [29] M. Jones and J. S. Pierce, " Proceedings of the 25th Congress of European Brewery Convention ", Interlaken1970.

