

La dynamique non linéaire du système d'innovation industrielle en Tunisie: Analyse de complexité de bifurcation et de chaos

Alimi Mohsen^{#1}, Rebai Abdelwaheb^{*2}

[#]Faculté des Sciences Économiques et de Gestion de Sfax-Tunisie, Université de Sfax.

[#]FSEG-Sfax-route de l'aérodrome Km 4,5-Sfax 3018. Tunisie.

¹Mohsen.Alimi@isaeg.rnu.tn

^{*}FSEG-Sfax-route de l'aérodrome Km 4,5-Sfax 3018. Tunisie.

²abdelwaheb.rebai@fsegs.rnu.tn

Résumé— Dans ce papier, on se propose de mettre en évidence la dynamique non linéaire du système d'innovation industrielle en Tunisie. À cet égard, la plupart des études ont confirmé que l'innovation est considérée comme un processus dynamique complexe et interdépendant dont le caractère non linéaire et hautement interactif est largement reconnu, mais le fondement évolutif de ces interactions reste jusqu'à maintenant un enjeu de débat essentiel.

Pour expliquer la dynamique d'évolution du cycle innovation, à la lumière de la théorie des systèmes dynamiques non linéaires, il faut rapporter son comportement, à un processus déterministe non linéaire. Les résultats ainsi obtenus ont prouvé que cette formalisation peut être globalement intéressante pour une interprétation significative dans une vision plus systémique de la réalité virtuelle du processus d'innovation. Nous attendons que cet éclairage, fonde une base solide sur le développement endogène de l'industrie tunisienne et ses aspects qualitatifs et facteurs stratégiques.

Nous adoptons ici une démarche visant à apporter quelques éclairages théoriques qu'empiriques sur la modélisation déterministe par les systèmes dynamiques non linéaires à temps discret, dont nous présentons les fondements. Compte tenu du caractère dynamique non linéaire de cette spécification, nous désirons mieux comprendre dans leurs particularités les mécanismes sous-jacents du mode de fonctionnement de la dynamique du système d'innovation de l'industrie tunisienne pendant la transition économique. Nous faisons alors l'hypothèse selon laquelle la dynamique de l'évolution du processus d'innovation durant cette phase est potentiellement chaotique. Après avoir testé la validité de cette hypothèse, nous allons la confronter à la réalité.

Mots clés— Innovation, Simulation, Systèmes dynamiques non linéaires, Complexité, Chaos, Bifurcation, Attracteur de Lorenz, Production industrielle en Tunisie.

I. INTRODUCTION

Étant donné que ces dernières années, suite à la succession des événements survenus après la révolution, l'analyse de la conjoncture en Tunisie a confirmé que celle-ci souffre d'une forte récession caractérisée particulièrement par une chute simultanée de l'activité des services marchands et surtout de la

production industrielle. Pendant la phase de transition chaotique, le pays est en train de vivre une période de transformation profonde qui a engendré de véritables défis et opportunités, en particulier pour l'industrie. Jusqu'aujourd'hui, des multiples efforts ont tenté de dépasser cette situation de blocage, en essayant de redynamiser le secteur industriel afin de stimuler la dynamique du processus de transformation structurelle de l'économie et le réorienter vers une réorganisation plus bénéfique. Mais malheureusement, ces efforts sont tous échoués à relancer l'économie vers sans sentier de croissance potentiel.

L'échec à entraîner tout d'abord, une multiplication des efforts d'évaluation et de diagnostic des véritables symptômes de complexité du phénomène en cause. En ce sens, l'étude engagée par [3] sur la stratégie industrielle nationale à l'horizon 2016 a conclu que le dysfonctionnement notamment en périodes de conjonctures délicates ne pouvait provenir que d'une complexification dynamique du système, ce qui rend imprévisibles les éventuels changements. Alors, il nécessite obligatoirement le repositionnement stratégique de notre secteur industriel vers une industrie plus innovante et créative. Or, ceci n'est possible que grâce à la rénovation de la politique industrielle en Tunisie y compris la mise en place d'une nouvelle stratégie efficace pour soutenir l'innovation.

Une telle stratégie nécessitant l'intégration du concept d'innovation, comme étant le processus interactif par lequel la connaissance (scientifique, technologique, organisationnelles, financières et commerciales) se traduit en une croissance économique et un bien-être social, doit tenir compte non seulement des mutations internes en cours tout en corrigeant les difficultés et les faiblesses constatées, mais aussi doit être capable d'établir les enjeux et les défis à relever et s'adapter de façon rationnelle et rapide aux changements qui s'opèrent à la suite de crise. Du fait, qu'en situation de crise et dans un domaine chaotique riche en turbulences et l'instabilité de ses structures endogènes, le problème vient en fait de la nature complexe liée aux caractères dynamiques non-linéaires des relations et de la multiplicité des éléments en interaction qui

compliquent leur étude et rendent impossible la résolution mathématique de leur dynamique globale.

C'est le processus basé sur le transfert de connaissance qui sera capable d'encourager la créativité au niveau des entités industrielles et ainsi oriente les entreprises conscientes sur la nécessité d'innover continuellement, vers la compétitivité dans le cadre de l'économie du savoir, où l'innovation est considéré comme le moteur de la croissance et du bien-être. Dès lors, ceci nous insiste de comprendre la manière dont le processus d'innovation industrielle prend place en Tunisie et évolue. Moyennant de la théorie de chaos, la question cruciale de cette étude consiste donc à l'étude de la dynamique non linéaire du système d'innovation industrielle en Tunisie qui est devenue un sujet d'actualité et passionnant de recherche.

Ce papier est articulé comme suit: la première section apportera quelques fondements théoriques sur la notion du cycle endogène de l'innovation industrielle et son système dynamique non linéaire associé tout en rappelant les limites de la modélisation linéaire. Une deuxième section donnera, par référence à l'économétrie de chaos, une représentation du modèle dynamique non linéaire adéquat capable de généraliser le phénomène étudié. La troisième section sera consacrée à description de la structure du système d'innovation industrielle en Tunisie. La quatrième section décrira la méthodologie économétrique de simulation du cycle endogène de l'innovation industrielle ainsi qu'une discussion des résultats empiriques obtenus. Enfin, une conclusion qui résumera les résultats et les discussions.

II. CADRE THÉORIQUE

A. Concept d'innovation industrielle : Apparition et sens

D'abord, selon l'explication traditionnelle, le concept d'innovation a eu son genèse en relation direct avec l'industrie [15]. En fait, ce sont les pays industrialisés qui ont trouvé le concept d'innovation industrielle au moment de la révolution industrielle non seulement en vue de chercher à expliquer la problématique de l'efficacité des entreprises industrielles, mais aussi pour des tendances de performances industrielle du tissu. Puis, du point de vue économique et en dehors de la spécialisation, l'apparition du concept d'innovation a connu plusieurs phases de mutation. Mais, quelque soit son champs d'application, généralement il a essayé de conserver le sens de sa signification basique d'invention et de nouveauté pour désigner plus spécifiquement la recherche et l'utilisation de nouvelles connaissances et procédés pour des fins purement créatives et aussi en relation direct avec la recherche d'amélioration de ce qui existe.

B. Cycle endogène et innovation industrielle

Un système englobe un ensemble d'éléments en interaction. Les interactions jouent un rôle indispensable dans la conservation de la structure du système ou de l'évoluer. Lorsque l'évolution du système montre un changement d'état, le système est alors dynamique.

Les cycles industriels sont des fluctuations caractéristiques de l'activité industrielle [14]. En situation de crise, lorsque la dynamique du système industriel confirme que celui-ci est en

état de déséquilibre, il perd sa stabilité (dynamique et structurelle) et il sera connu, par les fluctuations de son comportement dynamique qui vont engendrer des profonds changements structurels.

Selon la conception de Schumpeter c'est le caractère récurrent des fluctuations qui fait que ces mouvements apparaissent avec une certaines régularités ce qui leur donnent une notion cyclique. Selon ce postulat, les cycles sont vus comme endogènes, générés par la dynamique l'activité industrielle elle-même. En effet, l'évolution de ce processus ne peut pas résulter de simples modifications quantitatives de ses facteurs de production, mais plutôt elle provient des transformations qualitatives au voisinage de l'équilibre dynamique du système lorsqu'il perd sa stabilité [1]. Par conception, ce mécanisme ne se réalise qu'à travers la dominance des impulsions endogènes d'un facteur déterminant de l'évolution qui est l'innovation.

Celle-ci est alors à l'origine de dynamiques des structures cycliques endogènes [15]. Elle regroupe tant les créations de produits que de la mise en pratique de nouveau procédé de fabrication. Elle est donc au cœur non seulement du développement du système de production mais aussi de la modification qualitative endogène de ses structures cycliques dynamiques.

Par ailleurs, l'analyse de ([8], [11]) montre que l'innovation est phénomène dynamique et endogène mais également doté d'une caractéristique de complexité. En plus, [9] déclare qu'il existe une relation d'interaction et des complémentarités entre l'innovation et la complexité induite par l'instabilité du système. Récemment, [1] postule non seulement que l'instabilité est un mécanisme de fragilisation endogène qui est à l'origine des dynamiques des structures cycliques endogènes par bifurcation, mais aussi que l'expansion industrielle peut être induite par des facteurs endogènes, principalement sous l'impulsion des cycles endogènes.

Ceci confirme bien les fondements de la théorie du cycle endogène où la récurrence des dynamiques sera capable d'engendrer des fluctuations cycliques endogènes qui sont intrinsèquement liées au fonctionnement du système lui-même, sans qu'il soit excité par une autre source de nature exogène ([1], [14]). En ce sens, sur la base des « grappes d'innovation » et du principe de « destruction créatrice » [16] a postulé que l'innovation est un phénomène cyclique et intrinsèque au dynamisme du système industriel, il est à l'origine de la détermination des cycles endogènes, c'est la raison pour laquelle on parle du cycle endogène d'innovation.

C. Structure du système d'innovation industrielle

Le système d'innovation industrielle décrit les structures et les processus scientifiques et technologiques influençant et conduire l'émergence du développement économique. Cette approche est un cadre conceptuel récemment utilisé par les chercheurs et les décideurs pour déterminer les structures réalisables qui dominent le système d'innovation industrielle. Or, dans la réalité il existe une grande variété de modèles possibles du système d'innovation industrielle avec une multitude de structures aux différentes représentations faisables. Ceci rend difficile la sélection de celui le plus

approprié, capable d'orienter les décideurs vers la bonne exploration puis implémentation des politiques adéquates. La mauvaise précision du mode réel de fonctionnement du système d'innovation industrielle influence négativement l'identification de ses structures. Ceci est à l'origine de son échec dans l'élaboration des politiques plus efficaces permettant de relancer l'industrie.

L'innovation industrielle peut toucher aussi bien les produits que les services, processus, instruments de gestion ou structures organisationnelles. Dès lors, il est admis que pour évoluer dans un environnement innovant, il est nécessaire que des relations cherchées soient établies entre le marché, le gouvernement, l'université, le capital humain et l'entreprise industrielle. Dans la présente recherche, nous adoptons la conceptualisation du système d'innovation selon celle de [19]. Car, elle fournit le cadre générique adéquat qui permet de satisfaire tous les caractéristiques détaillés précédemment.

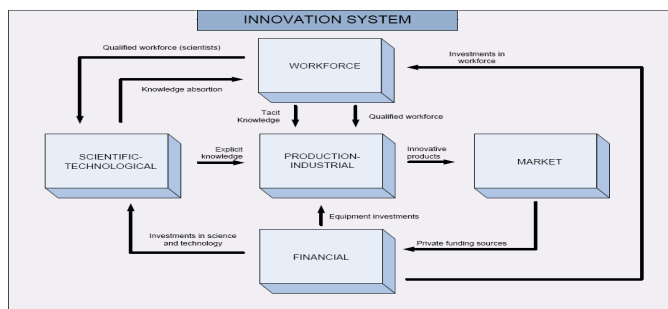


Fig. 1 Organigramme générique du système d'innovation industrielle (Source: [19], p.10).

La complexité du système d'innovation industrielle est conçue comme une nouvelle manière de concevoir sa dynamique non linéaire qui nécessite de nouveaux modes de pensées, c'est-à-dire un nouveau paradigme. En effet, à cause de la présence d'un grand nombre d'acteurs dans la réalité d'un système d'innovation industrielle, celui-ci est doté, selon le présent organigramme générique de la figure (1), de structures complexes. Ces structures sont intrinsèquement endogènes au système d'innovation industrielle et déterminent les interactions complexes et surtout les relations non linéaires entre les acteurs et les institutions qui le composent [19].

Dès lors, compte tenu du caractère récurrent des fluctuations cycliques, les fluctuations de la dynamique du système d'innovation industrielle sont considérées comme étant endogènes et auto-entretenues [12]. Ceci nous assure non seulement une l'explication des cycles à partir de déséquilibres mais aussi d'avoir une idée importante sur la nature privilégiée de spécification à utiliser dans l'étude. Il s'agit du cadre dynamique déterministe du fait qu'il est le seul capable de générer lui-même des fluctuations en dehors de chocs exogènes. En définitive, afin de sélectionner la modélisation économétrique la plus appropriée à l'étude de la dynamique du système d'innovation industrielle, selon cette approche ceci nécessite d'avoir un modèle qui obéit aux caractéristiques énoncé (dynamique, complexe, non linéaire, déterministe, génère des déséquilibres avec des fluctuations

endogène auto-entretenues). Alors, ce modèle cherché ne peut être qu'un modèle qui se réfère à l'économétrie de chaos.

Un système dynamique se comporte de façon chaotique, lorsqu'il existe au moins une partie significative de sa dynamique qui satisfait, à la fois, les deux propriétés suivantes:

- une sensibilité aux conditions initiales ;
- une forte récurrence.

De plus, l'existence d'un comportement chaotique d'un processus peut être détectée par les indications suivantes :

- c'est un processus dynamique non-linéaire ;
- c'est un processus déterministe, qui conservera sa dimension lorsqu'il est placé dans une dimension de plongement plus élevée ;
- c'est un processus qui possède des attracteurs étranges ;
- c'est un processus très sensible aux conditions initiales.

D. Limites de l'approche linéaire du système d'innovation

Souvent, l'innovation est générée de façon (explicite ou implicite) à l'aide de l'approche linéaire. Elle décrit les processus le long de la voie de l'innovation comme une séquence de causalité. Cependant, la conceptualisation de types linéaires souffre des limites suivantes :

- Elle donne une représentation des différents chemins de l'innovation autant qu'activité, sans être capable d'identifier ni son degré de complexité ni les propriétés dynamiques associées au processus d'innovation ;
- Elle considère la science comme la technologie orientée (sciences naturelles et de la vie) et de R&D étroitement liée à la fabrication, ce qui provoque sa manque surtout en vers les sciences sociales et comportementales. En conséquence, l'omission des composantes émotionnelles (ou transitoires) de l'innovation peuvent causer de nombreux échecs ;
- Les interactions complexes entre de nouvelles capacités technologiques et les marchés émergents sont une partie essentielle du processus d'innovation, mais ils sont omis dans le cadre de l'approche linéaire.

Toutes ces limites négligent l'utilité de l'approche linéaire. C'est la raison pour laquelle nous sommes orientés vers l'approche systémique non linéaire y compris les systèmes complexes dont le chaos, qui est un cadre privilège pour la présente recherche. Dans ce qui suit, nous présentons le modèle de Lorenz [13] permettant de simuler le comportement dynamique non linéaire du système d'innovation industrielle à l'aide de plusieurs équations différentielles, nous identifions son comportement qualitatif et visualisons l'attracteur étrange lui associé, afin de retrouver grâce à la simulation les résultats théoriques répondant aux plusieurs questions que soulève l'analyse prévisionnelle du cycle endogène du système d'innovation industrielle en Tunisie.

III. REPRÉSENTATION ET ANALYSE DU SYSTÈME DE LORENZ

A. Représentation de l'attracteur étrange de Lorenz

En 1960, le météorologue Edward Lorenz a simulé un modèle simple de l'évolution des conditions météorologiques

par le système dynamique différentiel à trois équations suivantes :

$$\begin{aligned}\frac{dx_t}{dt} &= a(y_t - x_t) \\ \frac{dy_t}{dt} &= bx_t - y_t - x_t z_t \\ \frac{dz_t}{dt} &= x_t y_t - cz_t\end{aligned}$$

où a, b et c sont les trois paramètres réels strictement positifs fixés et x_t , y_t et z_t désignent les variables dynamiques, spécifiant l'état du système à chaque instant.

Ce modèle est une représentation tridimensionnelle d'un système dynamique non linéaire qui sera capable d'engendrer un comportement chaotique sous certaines conditions. En appliquant ce modèle, [12] a découvert une indication majeure du chaos caractérisé par une sensibilité aux conditions initiales. C'est-à-dire, un petit changement dans les solutions initiales peut conduire, à une évolution radicalement différente. Le traçage de la dynamique de l'attracteur de Lorenz par simulation pour $a=10$, $b=8/3$ et $c=28$, donne le comportement chaotique suivant :

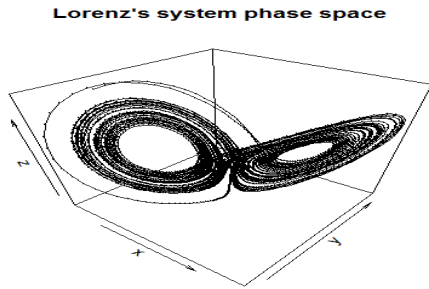


Fig. 2 Simulation de l'attracteur étrange de Lorenz dans l'espace de phase tridimensionnel (x, y, z) pour $a=10$, $b=8/3$ et $c=28$.

L'attracteur étrange de Lorenz représenté sur la figure (2) ressemble aux deux ailes déployées en forme d'un papillon. Chaque aile est constituée par des séries de cercles concentriques. Il décrit les points de l'orbite du système où la trajectoire commence à s'enrouler en plusieurs cercles sur une aile, puis sautant d'une aile à l'autre pour commencer à osciller sur l'autre aile, sans rythme particulier et sans jamais couper leurs trajectoires. Ainsi, ces mouvements répétitifs sont particulièrement erratiques.

Théoriquement, l'attracteur étrange de Lorenz permet de décrire un comportement chaotique pour certaines valeurs de paramètres. Il s'agit d'une situation d'asymétrie où les cycles peuvent se caractériser par des dynamiques différentes pour les phases d'expansion et de récession du cycle.

Notons que, le paramètre de retard peut être estimé en utilisant la fonction d'auto-corrélation représentée sur la figure (3) ou la fonction de l'information mutuelle moyenne du signal représentée sur la figure (4). Supposons que nous avons mesuré uniquement la composante x du système de Lorenz.

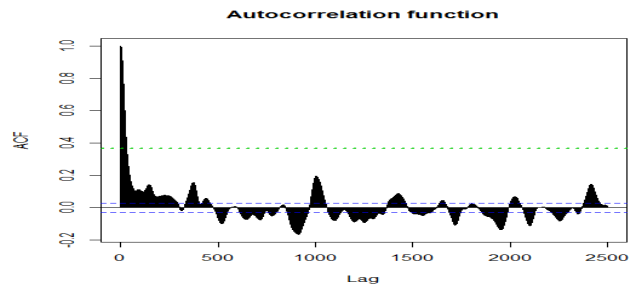


Fig. 3 Simulation de la fonction d'auto-corrélation de l'attracteur de Lorenz.

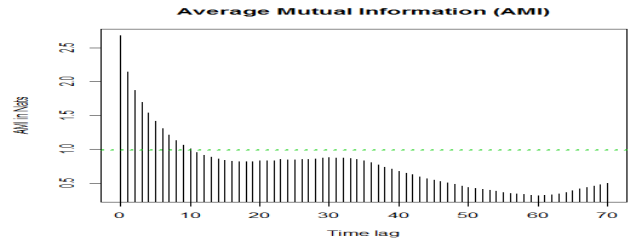


Fig. 4 Simulation de la fonction moyenne d'information mutuelle de l'attracteur de Lorenz.

B. Analyse de stabilité et étude de bifurcation du système de Lorenz

Les zéros du système de Lorenz sont : l'origine (0,0,0) comme solution évidente et les autres sont les racines du polynôme $c(b-1)x_t - x_t^3 = 0$, ce sont :

$$\begin{aligned}(-\sqrt{c(b-1)}, -\sqrt{c(b-1)}, b-1) \\ (\sqrt{c(b-1)}, \sqrt{c(b-1)}, b-1)\end{aligned}$$

- Pour $b < 1$, le système est attiré vers l'origine stable et qui devient instable à la valeur de $b=1$. Dans ce cas, nous aurons une bifurcation fourche vers les deux autres points fixes.
- Pour les autres points fixes, la matrice jacobienne est :

$$J = \begin{pmatrix} -a & a & 0 \\ b-z & -1 & -x \\ y & x & -c \end{pmatrix}$$

dont les valeurs propres sont les zéros du polynôme caractéristique suivant :

$$\lambda^3 + (a+c+1)\lambda^2 + c(a+b)\lambda + 2ac(b-1) = 0$$

Les points critiques sont stables lorsque toutes les valeurs propres admettent des valeurs réelles négatives. Pour $\lambda=0$ nous obtenons $b=1$ et la bifurcation fourche lui associée. Pour une valeur complexe du λ le paramètre de contrôle b critique vers une bifurcation de Hopf d'équation :

$$b_H = \frac{a(a+c+3)}{a-c-1}$$

alors, les deux points critiques sont stables pour :

$$1 < b < b_H$$

C. Dimension du système de Lorenz

La présence de non-linéarité dans la dynamique d'une série ne signifie pas qu'elle est forcément chaotique. Dès lors, l'une des principales manières adoptées pour caractériser la dynamique chaotique d'un processus consiste à quantifier plusieurs types de dimensions associées à son attracteur étrange. Parmi ces dimensions nous présentons ici les deux dimensions les plus intéressantes d'un point de vue statistique celle d'information et celle de corrélation [1]. La dimension d'information est définie alors par :

$$D_{\text{inf}} = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \sum_i \frac{p_i(\varepsilon) \log[p_i(\varepsilon)]}{\log[\varepsilon]}$$

où, $p_i(\varepsilon)$ est mesure de probabilité. Alors que celle de corrélation est définie comme étant la pente de la courbe $C(\varepsilon)$ par rapport à ε , avec, $C(\varepsilon)$ désigne la corrélation de l'ensemble de données, ou la probabilité selon laquelle deux points dans le jeu de données sont séparés par une distance ε . Son rôle consiste donc à mesurer l'écart entre deux points de la trajectoire de l'espace des phases. Cette mesure est calculée, à partir de données réelles observées, selon la formule suivante:

$$D_c = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{d \log[C_{\varepsilon, m}]}{d \log[\varepsilon]}$$

Si la dimension de plongement m augmente et également D_c continue d'augmenter, alors le système est stochastique. Si, toutefois, les données sont générées par un processus déterministe (compatible avec le comportement chaotique), alors D_c atteint une limite de saturation fini au-delà de certaine valeur relativement petite de m . La dimension de corrélation peut donc être utilisée pour distinguer le vrai processus stochastique de celui du chaos déterministe (de grande dimension ou de faibles dimensions). Mais, un résultat non entier de la dimension de corrélation indique que les données sont probablement fractales. Sur la figure (5), sont représentées les courbes des intégrales de corrélation nécessaires pour le calcul de la dimension de corrélation.

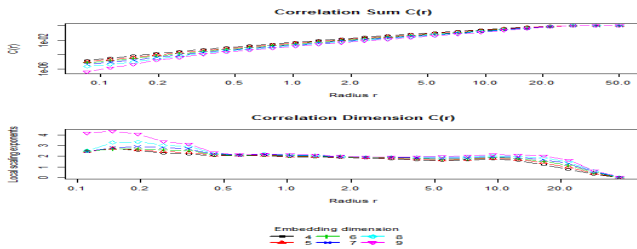


Fig. 5 Simulation de courbes des intégrales de corrélation et des dimensions de corrélation en fonction des diverses valeurs de la dimension de plongement.

D. Exposant de Lyapunov du système de Lorenz

Les systèmes chaotiques sont définis par la rapidité des conditions initiales à diverger à la proximité les unes des autres. Une façon de caractériser ce taux de divergence est à travers les exposants de Lyapunov. Supposons que nous ayons deux conditions initiales, donnée par (x_{1t}, y_{1t}, z_{1t}) et (x_{2t}, y_{2t}, z_{2t}) . Alors, leur différence, par rapport au temps, est donnée par :

$$d(t) = \sqrt{(x_{1t} - x_{2t})^2 + (y_{1t} - y_{2t})^2 + (z_{1t} - z_{2t})^2}$$

Pour t extrêmement petit, nous pouvons rapprocher cela par une augmentation exponentielle avec le temps de la forme $d_0 e^{\lambda t}$. Dans ce cas, λ est l'exposant de Lyapunov qui donne une caractérisation de la nature d'un attracteur. Un exposant positif indique que la divergence entre deux trajectoires proches augmente exponentiellement avec le temps, ce qui correspond à un comportement chaotique. La figure (6) indique une estimation des maximums des exposants de Lyapunov en fonction des différentes valeurs de la dimension de plongement.

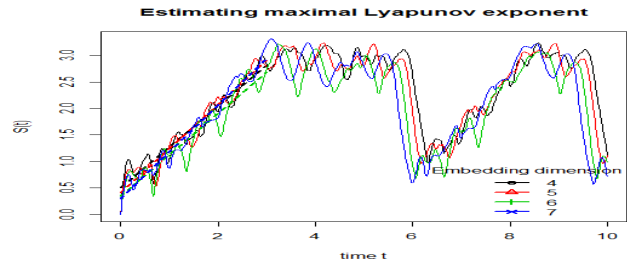


Fig. 6 Simulation des maximums des exposants de Lyapunov en fonction des diverses valeurs de la dimension de plongement.

IV. CADRE EMPIRIQUE

A. Structure du système industriel tunisien

Selon les statistiques fournies par [2], la répartition des entreprises industrielles tunisiennes par secteur, portée sur le tableau I, montre un tissu composé de 5 659 entreprises ayant un effectif supérieur ou égal à 10 dont 2 568 sont destinées à l'exportation en totalité.

TABLE I
TISSU INDUSTRIEL TUNISIEN

Secteurs d'industries	TE*	ATE*	Total	%
Agro-alimentaires	203	867	1 070	18,9%
Matériaux de construction céramique et verre	20	436	456	8,1%
Mécaniques et métallurgiques	196	460	656	11,6%
Electriques, électroniques et de l'électroménager	244	130	374	6,6%
Chimiques	139	437	576	10,2%
Textiles et habillement	1 484	285	1 769	31,3%
Bois, du liège et de l'ameublement	26	180	206	3,6%
Cuir et de la chaussure	181	64	245	4,3%
Diverses	75	232	307	5,4%
Total	2 568	3 091	5 659	100%

Source: APII, 2016.

*TE: Totalement Exportatrices. *ATE: Autres que Totalement Exportatrices.

B. Dynamique de l'innovation industrielle en Tunisie

La structure du système industriel tunisien en 2016, nous donne un état non homogène constitué par plusieurs branches en interactions.

D'une part, l'importante diversification au niveau du tissu industriel autorise non seulement une possible compétitivité entre les différentes entreprises implantées aux divers secteurs

d'activités industrielles, mais aussi une possible collaboration (stratégique, technologique, marketing, d'usage, commerciale, organisationnel) entre ces diverses entités productrices. Dès lors, l'hétérogénéité garantissant ainsi la présence des interactions entre les divers secteurs d'activités industrielles et par la suite entre les différentes structures dynamiques en interactions, favorise l'innovation industrielle, soit engendrée par compétitivité ou bien par collaboration.

D'autre part, les interdépendances inter et intra branches peuvent assurer non seulement le dynamisme du système industriel, mais aussi garantir son ouverture sur son environnement et surtout renforcent les conventions de coopération au niveau de la recherche (privée ou publique) entre les entreprises industrielles et les divers établissements supérieurs d'enseignement et de recherche scientifique ou les départements de recherche et développement (R&D) liés aux quelques entreprises publiques. Cette nouvelle dynamique du système autorise l'innovation industrielle engendrée par une coopération de recherche entre l'entreprise industrielle et les établissements universitaires.

Toutes ces façons de promouvoir l'innovation industrielle jouent un rôle indispensable dans la création d'une valeur ajoutée et par la suite contribuent positivement au PIB. Ce qui nécessite de chercher à renforcer le système national d'innovation industrielle puisqu'il participe considérablement au développement économique de la nation.

C. *Obstacles et conséquences de l'innovation industrielle en Tunisie*

Cependant, malgré son évolution le système d'innovation industrielle tunisien est doté d'une valeur ajoutée faible. C'est la raison pour laquelle que sa part dans le PIB reste jusqu'à maintenant négligeable par rapport à la contribution du système d'innovation du secteur des services. En particulier, cette faiblesse admet des répercussions graves sur la politique d'emploi. En effet, sa capacité reste limitée et incapable de réduire le chômage. Elle est ciblée vers la main-d'œuvre à faible qualification et ce pour centaines de milliers de postes uniquement et n'a permis de recruter qu'un effectif total très réduit de jeunes diplômés du supérieur. À la manière de [17]¹, ceci nous laisse penser que l'absence d'une véritable complémentarité entre l'université et le marché de travail est à l'origine du manque de cohérence entre l'évolution structurelle de l'économie et la formation de diplômés du supérieur. Ce qui explique actuellement l'état de déséquilibre marquée par le chômage involontaire.

V. CONCLUSION

Le recours à l'analyse de la dynamique non linéaire du système d'innovation industrielle en Tunisie nous a permis d'appréhender une meilleure représentation des dynamiques non-linéaires des fluctuations endogènes autoentretenu du

cycle d'innovation industrielle en Tunisie à l'aide du modèle de Lorenz.

REFERENCES

- [1] M. Alimi, "Comparaison des méthodes de sélection de structures de modèles non-linéaires en prédiction de séries temporelles: Application à la prévision des cycles endogènes des séries de la production industrielle en Tunisie," Thèse en Méthodes Quantitatives, Université de Sfax, Tunisie, Juillet 2011. Disponible à: <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01199614/>
- [2] A.P.I.I., "Répartition des entreprises tunisiennes par secteur," Agence de Promotion de l'Industrie et de l'Innovation, Rapport Technique, 2010.
- [3] A.P.I., "Stratégie industrielle nationale à horizon 2016: Synthèse," Agence de Promotion de l'Industrie, Rapport Technique, 2009.
- [4] B.M., "La révolution inachevée: Créer des opportunités, des emplois de qualité et de la richesse pour tous les tunisiens," Synthèse, Revue des politiques de développement, Rapport Technique, 86179-TN, 2014.
- [5] A. Djeflat, "Construction des systèmes d'innovation en phase de décollage dans les pays Africains: Essai d'analyse à partir des centres techniques industriels au Maghreb," Réseau Maghtech, Globelics Dakar, 5-8 octobre, 23, 2009.
- [6] X. Gao, X. Guoa, J.S. Katz, J. Guan, "The Chinese innovation system during economic transition: A scale-independent view," *Journal of Informetrics*, vol. 4(4), pp. 618-628, 2010.
- [7] S. Haddad, "Institutions et politiques publiques de soutien du système d'innovation de Tunisie : État des lieux," *Innovations*, vol. 3(33), pp. 137-156, 2010.
- [8] M. Hirooka, "Complexity in discrete innovation systems?," *Tekst. E:CO Issue*, vol. 8(2), pp. 20-34, 2006a.
- [9] M. Hirooka, "Nonlinear dynamism of innovation and business cycles," *Entrepreneurships, The new economy and public policy*, pp. 289-316, 2006b.
- [10] M., Hirooka, "Nonlinear dynamism of innovation and knowledge transfer," in K. Green, M. Miozzo and P. Dewick (eds.), *Technology, Knowledge and the Firm: Implication for Strategy and Industrial Change*, Cheltenham, UK: Edward Elgar, ISBN 1843768771, pp. 427-486, 2005.
- [11] J. S. Katz, "Indicators for complex innovation systems," *Research Policy*, vol. 35, pp. 893-909, 2006.
- [12] X. L. Liu, and S. White, "Comparing innovation systems: a framework and application to china's transitional context," *Research Policy*, vol. 30(7), pp. 1091-1114, 2001.
- [13] E.N. Lorenz, "Deterministic nonperiodic flow," *Journal of Atmospheric Science*, vol. 20(2), pp. 130-141, 1963.
- [14] M. McCullough, R. Huffaker, and T. Marsh, "Endogenously determined cycles: empirical evidence from livestock industries," *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, vol. 16, pp. 205-231, 2012.
- [15] M. Rolfstam, W. Phillips, and E. Bakker, "Public procurement of innovations, diffusion and endogenous institutions," *International Journal of Public Sector Management*, vol. 24, pp. 452-468, 2011.
- [16] J.A. Schumpeter, "Théorie de l'évolution économique : Recherche sur le profit, le crédit, l'intérêt et le cycle de la conjoncture," 1911. Traduction française, 1935. Une édition électronique, Chicoutimi, Québec, 2002.
- [17] A. Thili, "Genèse, caractéristiques et évolution du système national d'innovation en Tunisie," *Économie et Société, Série, Dynamique technologique et organisation*, W, vol. 11(6), pp. 1031-1048, 2009.
- [18] M. Uriona-Maldonado, R. Pietrobon, G. Varvakis, E. Carvalho, "A preliminary model of innovation systems," In: *The 30th International Conference of the System Dynamics Society, St. Gallen. Proceedings of the 30th International Conference of the System Dynamics Society*, 2012.
- [19] M. Uriona-Maldonado, "Dynamics, structure and performance of innovation systems: A complex systems modeling approach," In: *29th International Conference of the System Dynamics Society, Washington DC. Proceedings of the 29th International Conference of the System Dynamics Society*. New York: Wiley-Publishing, 2011.

¹ «Le partenariat université-entreprise demeure le défaut majeur du système d'innovation tunisien. L'existence de plusieurs goulots d'étranglement empêche souvent les démarches de concrétisation de projets réels de coopération en matière de recherche et d'innovation».