

**LA DYNAMIQUE D'EVOLUTION  
D'UNE POPULATION DE PROJETS D'INNOVATION**

Florence DURIEUX  
Maître de Conférences

Centre de Recherche DMSP  
Université Paris Dauphine  
Place du Maréchal de Lattre de Tassigny  
75775 PARIS Cedex 16  
Tél : 01 44 05 48 15      Fax : 01 44 05 44 49  
E-Mail : Florence.Durieux@dauphine.fr

Mots-clés : innovation, auto-organisation, systèmes dynamiques non linéaires

# **LA DYNAMIQUE D'EVOLUTION D'UNE POPULATION DE PROJETS D'INNOVATION**

## **INTRODUCTION**

La littérature traitant de la gestion de l'innovation porte principalement sur l'étude de projets pris individuellement. Comme les ressources dont disposent les organisations sont nécessairement limitées, pour se développer, les projets se trouvent en concurrence pour bénéficier de l'allocation d'une part de ces ressources. En conséquence, du fait des implications de cette compétition, il apparaît pertinent d'étudier les projets d'innovation pris collectivement.

La présente recherche vise à mettre en évidence la dynamique d'évolution d'une population de projets d'innovation. La littérature sur l'évolution fournit plusieurs modèles descriptifs portant sur l'ensemble d'une population. La représentation graphique la plus fréquemment rencontrée présente la forme d'une courbe en S avec d'abord une lente croissance puis une croissance rapide suivie d'un léger déclin, d'une stabilisation et d'un déclin plus ou moins rapide selon les populations (Hannan et Carroll, 1992). Or, à cette forme effectivement constatée, s'ajoute une phase d'évolution non annoncée par la littérature et que peut expliquer la théorie des systèmes dynamiques non linéaires.

Après avoir présenté le cadre théorique et la méthodologie, nous évoquerons le terrain d'étude ainsi que la courbe observée et une ébauche d'interprétation.

## **1. CADRE THEORIQUE**

### **1.1 L'innovation**

Aux fins de la présente recherche, nous retenons la définition suivante de l'innovation : "une idée nouvelle qui peut être soit une recombinaison d'idées anciennes, soit un schéma qui modifie l'ordre présent, soit une formule ou une approche unique perçue comme nouvelle par les individus concernés" (Van de Ven, 1986 : 591).

Le processus d'innovation est alors le chemin suivi par l'innovation depuis sa naissance jusqu'à sa réalisation. D'une manière générale, il est "l'invention et la mise en oeuvre de nouvelles idées, qui sont développées par des acteurs, qui entreprennent des transactions avec d'autres personnes, de façon continue, au sein d'un contexte institutionnel, et qui jugent les résultats de leurs efforts et agissent en conséquence" (Van de Ven et Poole, 1990 : 314).

Par définition, un projet est "une démarche spécifique qui permet de structurer des actions de nature à transformer une idée en une réalité concrète" (AFITER-AFNOR, 1992 : 4). Nous appellerons donc projet d'innovation toute idée qui se voit allouer des ressources par les acteurs et / ou le contexte institutionnel dans le but d'aboutir à une réalisation concrète. Le projet débute avec l'idée et s'achève lors de la fin d'allocation de ressources, quel que soit son stade de développement, réalisation achevée ou non.

A ce stade, une remarque s'impose : les innovations sont couramment traitées au niveau individuel. Ce niveau d'analyse ne nous paraît pas pertinent ou tout au moins ne nous semble pas à même de prendre en compte la réalité de l'entreprise. En effet, toute la littérature parle des innovations, prises individuellement, et agrège les données lors de la généralisation à l'ensemble des projets d'innovation d'une organisation. En conséquence, l'étude du processus, phase par phase - même si celui-ci n'est pas linéaire - permet d'apporter une réponse à la question "Comment vit et meurt un projet d'innovation ?". Toutefois, très rarement dans la littérature traitant de la gestion de l'innovation, il est fait allusion à l'interaction entre des projets menés en même temps. Nous pourrions, au premier abord, supposer que l'étude de l'ensemble des évolutions de projets d'innovation coïnciderait avec l'évolution de l'ensemble des projets. En d'autres termes, chaque projet évoluerait sans tenir compte du développement des autres, sans interactions.

$\Sigma$  évolutions projet (pris individuellement)  $\neq$  évolution  $\Sigma$  projets (pris collectivement)  
Or, il n'en est rien. L'organisation, au sein de laquelle sont développés des projets d'innovation, possède des ressources limitées qu'elles soient humaines, matérielles ou financières (Fahrni et Spätig, 1990). Ainsi, les projets d'innovation entrent en compétition dans le but d'obtenir les ressources nécessaires et indispensables à leur développement.

Dès que des projets partagent au moins une ressource ensemble, ils sont dits interdépendants. Il existe trois catégories d'interdépendance d'après Aaker et Tyebjee (1978) : (1) Recouvrement synergétique d'utilisation des ressources - La somme des ressources demandées par chaque projet est supérieure aux ressources demandées par la somme des projets ; (2) Interdépendance technique - La réalisation d'un projet peut être indispensable à la réalisation du projet suivant ; autrement dit, il existe un lien entre un projet à une date donnée (t) et un ou plusieurs projets à une date ultérieure (t+n) ; (3) Interdépendance des effets - Prise en compte des synergies entre projets ou entre un projet et un équivalent existant.

En fonction de l'interdépendance existante, il y a compétition entre les projets à des degrés divers. Dans le premier cas, les projets ont intérêt, pour l'organisation, à s'allier car alors leur demande de ressources prise collectivement est moins importante que la somme des demandes individuelles. Dans le deuxième cas, les projets sont là aussi plus alliés que concurrents. Par contre, dans le troisième cas, il est possible d'observer une lutte entre projets. Pour arbitrer cette lutte, l'organisation peut mettre en place un modèle de sélection en trois étapes (Mauguin, 1991) : (1) susciter et recevoir les projets, (2) les évaluer individuellement et (3) les comparer pour faire la sélection proprement dite. Dans le cadre de l'innovation induite, il peut être fait appel à des commandes ou des appels d'offre pour susciter la proposition de projets. Par contre, pour l'innovation autonome, si on veut la détecter, il faut prévoir une structure qui a pour rôle, entre autres, de la collecter. Une fois collectés, les projets sont évalués. Généralement, l'évaluation est pratiquée par des experts sur la base d'une grille d'évaluation qui réunit l'ensemble des critères sur lesquels seront jugés les projets. Après avoir analysé chaque projet point par point selon cette grille, les experts émettent un avis global sur celui-ci. La dernière étape consiste en l'arbitrage entre les projets, i.e. la décision proprement dite. Celle-ci intervient dans le cas où l'organisation dispose de l'ensemble des projets en même temps. Si l'organisation instruit les dossiers tout au long de l'année, ils sont moins facilement confrontables et l'organisation a tendance à les évaluer sur leurs qualités intrinsèques uniquement. Il existe de nombreuses méthodes permettant le choix de projets

d'innovation, tant quantitatives (formule de Carl Pacifico ou Return On Investment, par exemple) fondées sur des critères économiques ou financiers, que qualitatives avec des check-lists de critères. En fait, il n'y a pas une seule bonne solution, mais il faut établir les critères de choix, au cas par cas, entreprise par entreprise.

Il nous semble donc pertinent de nous intéresser à la dynamique d'évolution d'une population de projets d'innovation. Toutefois, la littérature en gestion ne nous permet pas d'appréhender cette nouvelle problématique. En conséquence, nous avons eu l'idée d'avoir recours à la théorie des systèmes dynamiques non linéaires.

## 1.2 Les systèmes dynamiques non linéaires

### 1.2.1 Définitions

Il existe un grand nombre de définitions du terme système, que nous ne présenterons pas dans le cadre de ce développement. Toutefois, on remarque que, généralement, peu de chercheurs définissent ce qu'ils appellent un système. Nous ne retiendrons qu'une seule définition, à savoir celle proposée par Morfaux (1980 : 356) : "Ensemble structuré dont les éléments sont interdépendants et forment un tout organisé". Nous avons retenu cette définition car elle nous paraît simple et complète à la fois. Nous retrouvons, ainsi, dans cette définition, les points fondamentaux qui sont les éléments constitutifs incontournables des définitions du concept de système : ensemble contenant des éléments qui sont en interaction.

Le caractère dynamique s'oppose au caractère statique. Les systèmes considérés de manière dynamique sont pris dans l'ensemble de leur évolution dans le temps et non plus de manière statique à une date  $t$ , en tout cas en ce qui concerne la résolution des équations qui régissent le mouvement. L'équation temporelle d'un système dynamique est décrite par un nombre fini d'équations déterministes (Casati, 1991). Par définition, un système dynamique admet un "processus d'évolution temporelle dans lequel le futur dépend d'une manière déterministe du passé" (Eckmann et Marshall, 1991 : 558). En effet, un système dynamique peut être défini comme une prescription mathématique déterministe concernant l'évaluation d'un système vers un état futur. Le temps peut être une variable continue ou une variable discrète, à valeur entière. Un système dynamique est tel que, pour chaque état initial du système  $x(t)$ , il est possible, en principe, de résoudre l'équation du mouvement de  $x$  pour obtenir les états futurs du système  $x(t)$ , pour  $t > 0$  (Ott, 1993).

Une relation linéaire est représentée par une droite d'équation générale  $y = ax + b$ ,  $a$  et  $b$  étant des constantes. Si  $x$  augmente,  $y$  augmente proportionnellement. Autrement dit, les causes et les effets sont proportionnels. Si  $x$  est connu, on peut obtenir une bonne estimation de la valeur de  $y$ . De plus, les systèmes linéaires ont la propriété de conservation par la somme. En d'autres termes, si nous ajoutons deux systèmes linéaires, nous obtenons toujours un système linéaire. En outre, un système linéaire est toujours décomposable en une somme de systèmes linéaires. Soit :

$$\Sigma \text{ systèmes linéaires} = \text{système linéaire}$$

Un système linéaire est donc un système dont le tout est égal à la somme des parties. Contrairement aux modèles linéaires, les modèles non linéaires ne peuvent pas être découpés en morceaux solubles et ensuite réunis pour obtenir une solution agrégée. Il

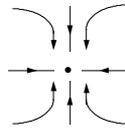
faut étudier le système comme une unité. En d'autres termes, la propriété fondamentale des systèmes dynamiques est qu'ils ne peuvent être appréhendés que globalement (Ekeland, 1984).

### 1.2.2 Etats potentiels d'un système dynamique non linéaire

Tout système dynamique non linéaire peut se trouver dans l'un des trois états potentiels suivants (Stacey, 1995) :

(1) Equilibre stable - Cas d'un système soumis à des forces de rétroaction négatives qui tendent à ramener le système à sa position initiale lorsque le système présente un léger écart avec sa position initiale (Cf. Figure 1).

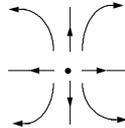
Figure 1 - Action de forces de rétroaction négatives sur un système



Quel que soit l'endroit où se situe le système, il est attiré vers sa position d'équilibre.

(2) Instabilité explosive - Cas d'un système soumis à des forces de rétroaction positives qui poussent le système loin de sa position initiale. A l'extrême du cas précédent, le système fuit sa position initiale (Cf. Figure 2).

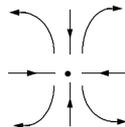
Figure 2 - Action de forces de rétroaction positives sur un système



Le système est poussé loin de sa position initiale.

(3) Equilibre particulier - Cas d'un système soumis à des forces de rétroaction négatives et positives. Nous sommes dans un cas de figure intermédiaire aux cas deux cas évoqués précédemment. Le système est pris entre deux feux : les forces de rétroaction négatives qui le maintiennent près de sa position d'équilibre et les forces de rétroaction positives qui l'éloignent de cette position (Cf. Figure 3).

Figure 3 - Action de forces de rétroaction négatives et positives sur un système



Selon le couplage de ces forces de rétroaction, le système tend plutôt vers un état d'équilibre (attracteur) ou vers un état explosif.

L'attracteur le plus simple est un point. C'est l'attracteur d'un système qui évolue à taux constant. Il peut aussi être appelé attracteur stationnaire ou point absorbant. D'autres attracteurs peuvent inclure des cycles - attracteur périodique, cycle limite ou attracteur

quasi-périodique ou torique - qui se répètent au cours du temps. Dans le premier cas, le mouvement a atteint un état stationnaire ; dans le deuxième cas, le mouvement se reproduit continûment (Gleick, 1989). Il peut aussi exister un autre cas, qui dépend de la combinaison et du poids relatif des forces de rétroaction, dans lequel le système converge vers une région particulière de l'espace appelée attracteur étrange par Ruelle et Takens (1971) qui peut être généralement associé à un état que l'on peut qualifier de chaotique.

### **1.3 Bilan**

Il nous semble donc d'après les définitions que nous venons d'évoquer qu'une population de projets d'innovation peut être considérée comme un système dynamique non linéaire. En conséquence, nous pouvons lui transposer les propriétés des systèmes dynamiques non linéaires et, plus particulièrement, les états potentiels dans lesquels peuvent se trouver les systèmes dynamiques non linéaires.

L'ensemble des projets est soumis à des forces qui stimulent le développement des projets comme, par exemple, l'adoption d'un mode de management ouvert et dynamique ou l'existence d'une bonne communication au sein de l'entreprise ou encore l'adoption d'un mode de management ouvert et dynamique (Rothwell, 1992). En outre, l'implication des dirigeants et l'adoption d'une stratégie à long terme centrée sur l'innovation peuvent être des forces à même de lancer une innovation (Van de Ven, 1986). De plus, la présence d'intrapreneurs peut aussi être à l'origine d'innovation (Burgelman et Sayles, 1986). Ce sont des forces de rétroaction positives. A l'inverse, on observe des freins au développement des innovations comme, par exemple, l'orientation à court terme des individus, leur résistance au changement ainsi que la qualité de l'analyse de l'environnement qui peut biaiser les décisions prises concernant la poursuite ou non du développement d'un projet d'innovation (Van de Ven 1986). Ce sont des forces de rétroaction négatives. Il semble donc que la population de projets d'innovation soit soumise à une combinaison de forces telle que nous soyons en mesure d'attendre une évolution vers un équilibre particulier.

En d'autres termes, nous faisons alors l'hypothèse suivante :

(H) L'évolution d'une population de projets d'innovation est potentiellement chaotique.
---

Nous allons donc entreprendre de tester cette hypothèse. Ainsi, nous allons confronter cette hypothèse à la réalité de l'entreprise et nous serons alors en mesure de réfuter ou non cette hypothèse.

## **2. METHODOLOGIE**

### **2.1 Une étude longitudinale**

L'objectif de cette recherche est de comprendre comment évolue une population de projets d'innovation. Pour ce faire, nous étudions une population de projets d'innovation au fil du temps, représentée par une série temporelle constituée du nombre de projets d'innovation en cours par unité de temps.

Nous avons vu précédemment qu'un projet d'innovation existe à partir du moment où l'idée est exprimée publiquement jusqu'au moment où on cesse de lui allouer des

ressources. En conséquence, un projet est dit "en cours" ou "existant" tant qu'il se situe entre les deux bornes que nous venons de préciser.

Nous avons choisi la semaine comme intervalle de temps. Dans la littérature sur l'innovation, l'intervalle de temps entre deux mesures, T, est très souvent le mois (Koput, 1993 ; Van de Ven et Poole, 1990). Toutefois, dans le but d'augmenter la longueur de la série temporelle étudiée, nous avons décidé de fixer T à la semaine. Le choix de la période temporelle n'est pas neutre. Comme de nombreux chercheurs l'ont souligné, cette prise de position peut avoir des effets importants sur la validité des résultats obtenus. Toutefois, nous nous situons dans le contexte décrit par Koput (1993). Ainsi, lorsqu'on agrège des données de séries potentiellement chaotiques, on risque de ne pas déceler la présence de chaos alors qu'il apparaît à un niveau moins agrégé. En d'autres termes, nous sommes éventuellement confrontés à une erreur de type I. Mandelbrot (1986) a montré, par exemple, que la courbe représentant le cours d'une action avait un même comportement pour des échelles de temps différentes : l'heure, le jour, la semaine et le mois. Scheinkman et LeBaron (1989) montrent également qu'il est impossible de rejeter la présence de chaos au sein de séries temporelles représentant le rendement d'actions avec comme unité de temps la semaine et le jour. Nous choisissons donc comme unité de temps la semaine qui nous paraît être un compromis acceptable entre la significativité et la longueur de la série temporelle, sous réserve, bien sûr, de commettre une erreur de type I.

Pour chaque projet appartenant à la population de projets d'innovation considérée, nous identifions les dates de début et de fin du projet par :

date de début du projet : date de détection d'une innovation

date de fin du projet : date de fin d'allocation des ressources à l'innovation

De la date de début à la date de fin, chaque projet est codé 1. A l'extérieur de ces dates, le projet est codé 0. On obtient, par exemple (Cf. Tableau 1) :

Tableau 1 - Codage de présence (codage 1) et d'absence (codage 0) des projets

n°	15/04/91	...	07/08/91	14/08/91	23/08/91	...	03/09/91	13/09/91	20/09/91	...	j	...	27/03/92	...	30/06/96
...															
16	0		0	1				1	0						0
25	0			0	1			1	0						0
59	0					0	1						1	0	0
...															
Pi											Pij				
											Nj				

Nous avons adopté les conventions suivantes :

Pi est le projet n°i

Pij est l'indicateur de l'existence (ou non) du projet i à la date j

$$P_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } j \in [\text{date de début}, \text{date de fin}] \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

En effectuant la somme par colonne, nous obtenons le nombre de projets en cours à la date j :

$$N_j = \sum_i P_{ij}$$

En considérant l'ensemble des Nj, nous obtenons la série temporelle N(t) qui est le nombre de projets en cours par semaine. Soit :

$$N(t) = \{ j, N_j \}$$

Nous sommes alors en mesure de tracer la représentation graphique de  $N(t)$ . Notre objectif est de comprendre le comportement observé. Comme le système étudié est, par construction et d'après la littérature, dynamique et non linéaire, nous pensons faire appel à la théorie du chaos pour caractériser l'un des états potentiels que peut atteindre ce système.

## 2.2 La détection du chaos

Nous avons entrepris la même démarche que celle préconisée par Brock (1986). Il s'agit de tester la présence de modèles explicatifs simples de l'évolution observée - modèle linéaire, auto-corrélé. Dans le cas où aucun modèle "simple" ne peut être identifié complètement, nous procéderons au test de la détection de présence du chaos sur la série constituée par les résidus (Scheinman et Le Baron, 1989). La démarche générale adoptée se décompose en cinq étapes.

### 2.2.1 Retirer la linéarité

Nous commençons par vérifier que la représentation graphique de  $N(t)$  correspond bien à la trajectoire d'un système dynamique non linéaire. En effet, les modèles linéaires sont à privilégier par rapport aux modèles non linéaires. De fait, les modèles linéaires ont été largement étudiés par les mathématiciens ; les modèles non linéaires, quant à eux, sont beaucoup plus complexes. Nous tentons donc d'expliquer la courbe  $N(t)$  par un modèle explicatif linéaire.

Nous avons choisi d'utiliser une régression linéaire de  $N$  sur  $t$ . Nous utilisons comme indice permettant de juger de la qualité de la régression, le coefficient de détermination,  $R^2$ , carré du coefficient de corrélation multiple. En outre, nous examinerons la distribution des résidus pour vérifier que les résidus sont bien indépendants de la variable à expliquer. Si le résultat de la régression fait apparaître que la série étudiée est non linéaire, cela signifie que nous nous inscrivons bien dans le paradigme de la théorie des systèmes dynamiques non linéaires, potentiellement chaotiques. En outre, de manière à ne pas influencer les résultats issus du test de la présence de chaos proprement dit, nous n'avons conservé, pour la suite de la démarche, que les résidus de la régression linéaire. En d'autres termes, nous n'avons retenu que la composante non linéaire de la série étudiée.

Série temporelle	$N(t)$	
Droite de régression	$y(t) = a N(t) + b$	$a, b$ constantes
Série résidus <sub>1</sub>	$\epsilon_1(t) = N(t) - [a N(t) + b]$	

### 2.2.2 Retirer l'auto-corrélation

Dans l'objectif de tester des modèles explicatifs "simples", nous avons regardé si la série était auto-corrélée (Hsieh, 1991). En d'autres termes, nous regardons si une valeur à l'instant  $t$  dépend des valeurs aux instants  $t-1$ ,  $t-2$ , etc. Ainsi, nous avons effectué plusieurs régressions linéaires avec le même indice de qualité de la régression,  $R^2$ , que précédemment :

- de  $\varepsilon_1(t)$  sur  $\varepsilon_1(t-1)$
- de  $\varepsilon_1(t)$  sur  $\varepsilon_1(t-1)$  et  $\varepsilon_1(t-2)$
- de  $\varepsilon_1(t)$  sur  $\varepsilon_1(t-1)$ ,  $\varepsilon_1(t-2)$  et  $\varepsilon_1(t-3)$

Nous avons décidé de retenir l'équation de régression qui serait la plus explicative ( $R^2$  le plus élevé) par tâtonnements et de déterminer les résidus. Comme précédemment, l'objectif est d'aboutir à une série dont on a retiré les valeurs expliquées par des modèles simples. Soit :

Série résidus <sub>1</sub>	$\varepsilon_1(t)$
Droite de régression	$y(t) = c \varepsilon_1(t-1) + d \varepsilon_1(t-2) + e \varepsilon_1(t-3) + f$
	$c, d, e$ et $f$ constantes
Série résidus <sub>2</sub>	$\varepsilon_2(t) = \varepsilon_1(t) - y$

### 2.2.3 Découper la série

Si les tentatives pour expliquer la représentation graphique de  $N(t)$  par un modèle linéaire et un modèle d'auto-corrélation n'aboutissent pas, nous allons effectuer des tests de détection du chaos. Au préalable, nous suggérons de découper la série en tronçons. En effet, nous pouvons envisager que les modèles précédents ne sont pas à même d'expliquer la réalité observée, mais, nous pouvons songer à l'éventualité que des modèles dynamiques non linéaires sont susceptibles de représenter la réalité. Ces intervalles correspondent aux différents comportements que peut adopter la série étudiée. En effet, rappelons que l'état que nous avons appelé chaotique n'est qu'un des états que peut prendre un système dynamique non linéaire. Il y a donc lieu de tester la présence de chaos au sein de chacun des tronçons que nous pouvons identifier. Nous découpons en tronçons la courbe représentative de  $\varepsilon_2(t)$  en fonction des variations de cette fonction et nous précisons les bornes de chacun des intervalles. Nous obtenons ainsi :

$$\varepsilon_2(t) = \{\varepsilon_2^i(t), i = \text{nombre d'intervalles}\}$$

$$\text{avec } \varepsilon_2^i(t) = \begin{cases} \varepsilon_2(t) & \text{si } t \in i^{\text{ème}} \text{ intervalle} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

### 2.2.4 Tester la présence de chaos

Après avoir exclu la possibilité d'expliquer l'évolution de  $N(t)$  par des modèles simples, nous procédons au test de détection du chaos, ce qui est une forme de quantification du chaos. Nous voyons au moins quatre raisons de procéder à cette quantification du chaos (Hilborn, 1994) : (1) pouvoir distinguer un comportement chaotique d'un comportement aléatoire ; (2) pouvoir déterminer combien de variables sont nécessaires pour modéliser la dynamique d'évolution du système ; (3) pouvoir classer les systèmes étudiés en catégories ; (4) pouvoir corrélérer les changements observables dans les mesures du chaos avec les changements de comportement du système étudié.

Dans le cadre de notre recherche, nous procédons au test de la présence de chaos essentiellement pour la première raison. Si nous mettons en évidence la présence de chaos, alors nous pourrions nous servir des résultats pour tenter de proposer dans une recherche future une interprétation (quatrième raison) et une modélisation de l'évolution du système que nous étudions.

Il existe plusieurs méthodes qui permettent de déterminer si des systèmes non linéaires sont ou non chaotiques. Elles nécessitent l'utilisation de séries temporelles. Les méthodes

que nous utilisons reposent sur deux points différents. Une première famille de méthodes s'attache à montrer l'aspect dynamique du comportement chaotique (time dependence). On y retrouve les exposants de Lyapunov, K2-Entropie. Cette dernière méthode n'est pas développée ici. La deuxième famille de méthodes s'attache à analyser la nature géométrique des trajectoires dans l'espace des phases : dimension de corrélation et méthode BDS.

Concrètement, nous avons utilisé le logiciel Chaos Data Analyzer de Physics Academic Software pour déterminer la dimension de corrélation et les exposants de Lyapunov (algorithme développé à partir des travaux de Wolf, Swift, Swinney et Vastano, 1985) et le logiciel BDS version 8.21 (développé par Brock, Dechert et Scheinkman, 1986).

### 2.2.5 "Randoniser"

Nous appelons série "randonisée", au sens de Mandelbrot (1977 : 156), une série dont les valeurs ont été mélangées et rangées de manière aléatoire. Mandelbrot a créé ce néologisme par opposition au terme français "randomisé". Notons  $\varepsilon_3^i(t)$  la série randonisée. Cette astuce suggérée par Thiéart et Forgues (1997) nous permet de voir dans quelle mesure les résultats obtenus à l'aide de  $\varepsilon_2^i(t)$  sont différents de ceux d'une série aléatoire. Si les résultats sont différents, nous pouvons considérer que  $\varepsilon_2^i(t)$  est potentiellement chaotique. Si les résultats sont, au contraire, similaires, nous ne pourrions pas rejeter l'hypothèse selon laquelle  $\varepsilon_2^i(t)$  est aléatoire. Cette démarche est fondamentale dans la mesure où nous nous intéressons à une série temporelle courte, comme c'est couramment le cas en sciences de gestion, et que les résultats des tests de détection de chaos peuvent être ambigus. Afin de lever cette ambiguïté, nous comparons les résultats obtenus avec la série temporelle à ceux d'une série aléatoire. Cette démarche est voisine de celle préconisée par Efron (1982) ou Scheinkman et LeBaron (1989) qui consiste à travailler sur la série d'origine et une série construite en vue d'une comparaison des résultats.

## 3. PRESENTATION DU TERRAIN

Nous avons choisi comme terrain d'étude EDF GDF SERVICES et plus précisément la Mission Innovation. Chez EDF GDF SERVICES, comme dans toutes les entreprises, l'innovation est une condition nécessaire à la survie. L'innovation induite, c'est-à-dire l'innovation qui est guidée par les dirigeants, est développée séparément par EDF et GDF au sein de la Direction des Etudes et Recherches (EDF) et la Direction de la Recherche de GDF. L'innovation autonome, c'est-à-dire les innovations développées par des salariés qui sont ensuite proposées aux dirigeants, est accueillie au sein d'une structure d'EDF GDF SERVICES : la Mission Innovation, qui fait partie de la Mission d'Appui. Nous nous sommes donc intéressée aux innovations traitées par la Mission Innovation.

Jusqu'en 1990, l'innovation était gérée au sein de réseaux nationaux d'innovation technologique. Il existait deux grandes familles de projets : les projets techniques et les autres. Au moment de lancer la Mission Innovation au début des années 1990, la Direction a refusé que soit mise en place une organisation technocratique sur la base de la méthode lourde OTIS (Organisation du Traitement de l'Innovation Services). L'objectif était de mettre en place une politique d'encouragement à l'innovation participative dans le but principal de valoriser les ressources humaines. En outre, il y

avait la volonté de développer des innovations en proportion de leur intérêt pour l'entreprise. C'est dans cet esprit qu'est née la Mission Innovation ; l'officialisation date du 17/04/91 avec la diffusion de la Charte de l'Innovation. Plusieurs éléments y sont explicités qui nous permettent de dire que EDF GDF SERVICES constitue bien un terrain potentiel de mise à l'épreuve de notre développement théorique : le concept d'innovation y est bien considéré dans le sens où nous l'avons présenté (Cf. § 1.1). Ainsi, l'innovation y est définie comme "une idée nouvelle qui apporte une amélioration significative par rapport à ce qui existe et qui peut conduire à une mise en application étendue ... Pour constituer une véritable innovation, l'idée inventive doit s'accompagner d'une concrétisation et de communication à autrui."

Nous nous intéressons à un échantillon de projets d'innovation constitué de l'univers tout entier. Nous avons étudié les projets d'innovation existant du 15/04/91 (date de prise en compte de l'innovation participative dans la politique générale d'EDF GDF SERVICES) au 30/06/96 (date de la fin de la phase d'étude du terrain), soit 736 projets d'innovation sur 274 semaines.

## **4. RESULTATS**

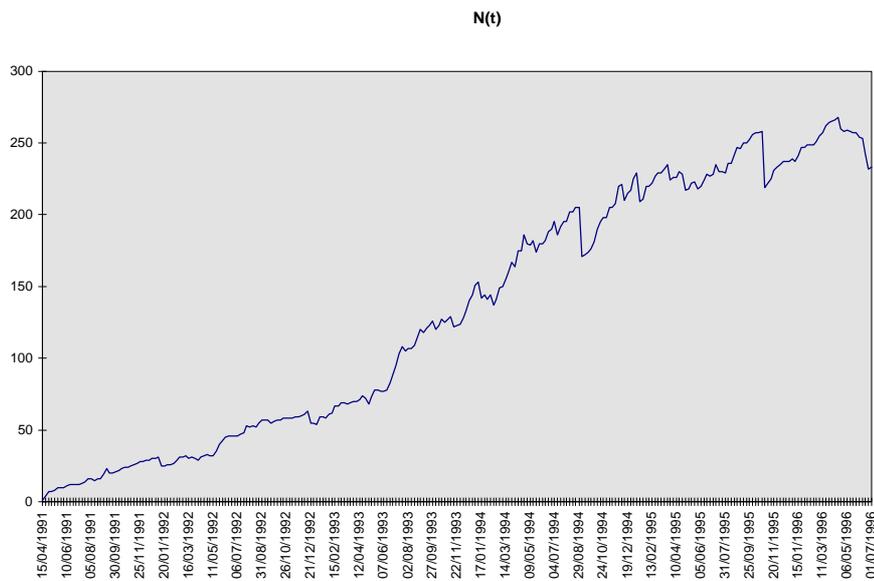
### **4.1 Construction de $N(t)$**

En ce qui concerne la population de projets d'innovation traités par la Mission Innovation, nous pouvons considérer que nous étudions une population exhaustive. En effet, nous nous intéressons à la population de projets d'innovation participative. Ceux-ci se trouvent en concurrence pour des ressources limitées ; ce sont les ressources spécifiques offertes pour l'innovation participative par la Mission Innovation.

Nous avons ainsi pu déterminer la série temporelle  $N(t)$  qui est le nombre de projets existant par semaine. Lorsque nous traçons la représentation graphique de  $N(t)$ , nous obtenons la courbe suivante (Cf. Figure 4).

A première vue, graphiquement, cette courbe indique une croissance globale de la population de projets d'innovation. Cette croissance se découpe approximativement en trois phases. D'abord, la pente est relativement faible - du 15/04/91 au 07/06/93 - puis on observe une croissance plus marquée - du 07/06/93 au 24/01/94 - et, enfin, il semble qu'un niveau de saturation soit atteint autour duquel l'effectif de la population oscille, mais de manière qui paraît aléatoire.

Figure 4 - Représentation graphique de  $N(t)$



## 4.2 Détection du chaos

Nous présentons en Annexe 1 les résultats des différents tests portant sur la représentativité de modèles simples : modèle linéaire, modèle d'auto-corrélation. Nous développons plus précisément les résultats des tests de détection du chaos.

### 4.2.1 Exposants de Lyapunov

Nous proposons la grille de lecture suivante, inspirée de Koput (1993) (Cf. Tableau 2) :

Tableau 2 - Grille de lecture des résultats du test des exposants de Lyapunov

Caractéristiques du plus grand exposant de Lyapunov	Type de comportement du système
■ $\lambda^*$	chaotique
■ $\lambda^-$	non chaotique

Lorsque nous effectuons le test des exposants de Lyapunov sur les séries des résidus de la série temporelle  $N(t)$ ,  $\varepsilon'_2(t)$  et  $\varepsilon''_2(t)$ , nous obtenons les résultats suivants (Cf. Tableau 3). Nous présentons la valeur de l'exposant de Lyapunov pour des dimensions de reconstruction de l'attracteur comprises entre 1 et 4. En outre, nous indiquons l'intervalle de confiance à prendre en compte dans l'estimation des résultats.

Lorsque nous lisons ce tableau d'après la grille de lecture que nous avons proposée, nous observons que, quelle que soit la dimension de reconstruction de l'attracteur, le plus grand exposant de Lyapunov est toujours positif et de manière significative pour  $\varepsilon''_2(t)$ . Par contre, ce n'est pas le cas pour  $\varepsilon'_2(t)$  ni pour  $\varepsilon'_3(t)$  et  $\varepsilon''_3(t)$ , pour qui les valeurs de l'exposant de Lyapunov ne sont pas significativement positives.

Tableau 3 - Résultats du test des exposants de Lyapunov

Plus grand exposant de	Dimension de reconstruction
------------------------	-----------------------------

Lyapunov				
	1	2	3	4
$\epsilon'_2(t)$	1,445 $\pm 1,980$	0,629 $\pm 1,403$	0,447 $\pm 0,718$	0,242 $\pm 0,303$
$\epsilon''_2(t)$	0,992 $\pm 0,100$	0,988 $\pm 0,067$	0,844 $\pm 0,141$	0,655 $\pm 0,171$
$\epsilon'_3(t)$		0,848 $\pm 1,132$	0,565 $\pm 0,894$	0,462 $\pm 0,484$
$\epsilon''_3(t)$		0,773 $\pm 0,889$	0,552 $\pm 0,752$	0,535 $\pm 0,601$

En d'autres termes, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse selon laquelle le système  $\epsilon''_2(t)$  est chaotique d'une part, du fait des résultats de  $\epsilon''_2(t)$  au test et, d'autre part, du fait que  $\epsilon''_3(t)$ , assimilée au hasard, n'est pas potentiellement chaotique.

#### 4.2.2 Dimension de corrélation

Nous calculons la valeur de la dimension de corrélation des séries pour des dimensions de reconstruction de l'attracteur,  $d$ , comprises entre 1 et 4, comme pour les exposants de Lyapunov. La méthode consiste à considérer la valeur limite des valeurs pour  $d$  croissant. Cette valeur limite est alors appelée la dimension de corrélation de la série. Nous adoptons la grille de lecture suivante, inspirée de Koput (1993) (Cf. Tableau 4).

Tableau 4 - Grille de lecture des résultats du test de la dimension de corrélation

Caractéristiques de la dimension de corrélation	Type de comportement du système
0	stabilité, attracteur = point fixe
†⊙	stabilité, attracteur périodique = cycle
†⊙ <sup>+</sup> -⊙	chaotique, attracteur étrange
*	aléatoire

Lorsque nous effectuons le test sur les séries des résidus de la série temporelle  $N(t)$ , nous obtenons les résultats suivants (Cf. Tableau 5). Nous indiquons les valeurs de la dimension de corrélation pour chacune des dimensions de reconstruction. Nous précisons dans la dernière colonne, la valeur limite que nous retenons ainsi que l'intervalle de confiance à prendre en compte dans l'estimation des résultats.

Au vu des résultats précédents, nous pouvons considérer que  $\epsilon'_2(t)$ ,  $\epsilon'_3(t)$  et  $\epsilon''_3(t)$  ne sont pas potentiellement chaotiques. En effet, pour la série  $\epsilon'_2(t)$ , la valeur limite de la dimension de corrélation n'est pas significativement non entière. Pour les séries  $\epsilon'_3(t)$  et  $\epsilon''_3(t)$ , il n'apparaît pas de seuil de saturation, c'est-à-dire de valeur limite. En ce qui concerne  $\epsilon''_2(t)$ , nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse selon laquelle le système  $\epsilon''_2(t)$  est chaotique.

Tableau 5 - Résultats du test de la dimension de corrélation

Série étudiée	$D_c$			
	$d = 1$	$d = 2$	$d = 3$	$d = 4$
$\epsilon'_2(t)$	0,967	2,130	2,381	3,158

	$\pm 0,282$	$\pm 0,462$	$\pm 0,689$	$\pm 0,178$
$\varepsilon''_2(t)$	0,296 $\pm 0,258$	0,382 $\pm 0,301$	0,461 $\pm 0,158$	0,538 $\pm 0,011$
$\varepsilon'_3(t)$	1,037 $\pm 0,258$	1,875 $\pm 0,188$	2,658 $\pm 0,805$	2,907 $\pm 0,029$
$\varepsilon''_3(t)$	0,921 $\pm 0,395$	1,616 $\pm 0,583$	2,101 $\pm 0,445$	2,522 $\pm 0,951$

#### 4.2.3 Méthode BDS

Cette méthode consiste à tester l'hypothèse nulle de distribution indépendante et identique (IID). En d'autres termes, si les résultats que nous obtenons à l'issue du test montrent que la loi de distribution est une loi Normale, alors nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle IID. Lorsque nous effectuons le test BDS des séries temporelles, nous obtenons les résultats suivants (Cf. Tableau 6). Les calculs sont réalisés pour des valeurs de la dimension de reconstruction de l'attracteur comprises entre 2 et 5 et pour des valeurs de R égales à 0,5, 1 et 1,5 fois l'écart type des séries (Hsieh, 1991).

Tableau 6 - Résultats du test BDS pour les séries  $\varepsilon'_2(t)$  et  $\varepsilon''_2(t)$

R/ $\sigma$	d	$\varepsilon'_2(t)$	$\varepsilon''_2(t)$	$\varepsilon'_3(t)$	$\varepsilon''_3(t)$
= 0,5	2	0,60436	1,0571*	0,3623	0,06571
	3	0,46551	1,3494*	0,29265	0,03635
	4	0,26054	1,2815*	0,18267	0,00848
	5	0,12344	1,0946	0,08742	0,00198
= 1	2	0,44118	1,3677	0,48759	0,08359
	3	0,47907	2,3830*	0,65274	0,01115
	4	0,35506	2,7989*	0,67288	0,02433
	5	0,24061	2,8974*	0,57468	0,04405
= 1,5	2	0,30819	1,1516*	0,28281	0,00837
	3	0,23042	2,3805*	0,43815	0,12703
	4	0,22397	3,2169*	0,53210	0,11841
	5	0,19272	3,7438*	0,51703	0,10882

\* significatif à  $p < 0,01$

Les résultats du test BDS réalisé sur les séries  $\varepsilon'_2(t)$ ,  $\varepsilon'_3(t)$  et  $\varepsilon''_3(t)$  ne sont pas significatifs. En conséquence, nous pouvons rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle la distribution de  $\varepsilon'_2(t)$ ,  $\varepsilon'_3(t)$  et  $\varepsilon''_3(t)$  est IID (distribution indépendante et identique). En revanche, ceux de  $\varepsilon''_2(t)$  le sont, ce qui nous autorise à ne pas rejeter l'hypothèse selon laquelle la série résidus  $\varepsilon''_2(t)$  est chaotique.

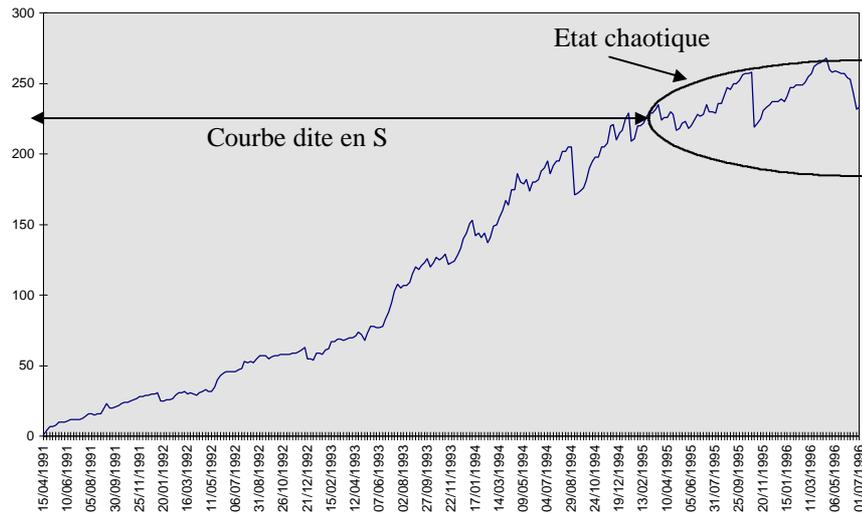
## 5. DISCUSSION

### 5.1 Résultats

Nous venons de voir que l'évolution de  $N(t)$  était potentiellement chaotique. Nous avons découpé la série  $N(t)$ , nombre de projets d'innovation existant au cours du temps, en deux parties : une première, que nous trouvons "régulière" et qui "ressemble" à une courbe en S et une deuxième qui nous paraît avoir un comportement aléatoire. Nous avons testé la présence de chaos au sein de ces deux portions de courbe, à l'aide de trois méthodes : les exposants de Lyapunov, la dimension de corrélation et la méthode BDS.

Les résultats de ces trois tests ont pu montrer que la première partie de la courbe ne présentait aucune apparence de comportement chaotique. Au contraire, pour la deuxième partie, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse selon laquelle la système a un comportement chaotique. En d'autres termes, le système a une évolution qui semble aléatoire mais qui, en réalité, est parfaitement déterministe (Cf. Figure 5).

Figure 5 - Interprétation graphique de la représentation graphique de  $N(t)$



L'objectif de cette recherche est de comprendre l'évolution d'une population de projets d'innovation. En montrant que celle-ci est potentiellement chaotique, nous supposons qu'il existe des lois sous-jacentes qui permettent d'expliquer la dynamique d'évolution que nous observons. Cette évolution n'est donc aucunement aléatoire ; au contraire, elle est soumise à un couplage de forces de rétroaction positives et négatives. Ces forces de rétroaction ont deux origines. D'une part, elles sont exogènes à la population et se rapportent à la littérature portant sur les modes de gestion de l'innovation. D'autre part, et c'est là un point intéressant, elles sont endogènes à la population, c'est-à-dire qu'elles sont fonction des relations d'interaction existant entre chacun des projets. Pour l'entreprise, l'objectif n'est pas de privilégier l'une des forces au détriment des autres, mais de les faire coexister afin de susciter l'émergence d'innovations. Les deux types de forces sont indispensables à l'équilibre de l'entreprise.

En partant de notre observation, une première explication possible de ce phénomène pourrait être, tout simplement, l'arrivée massive de projets d'innovation qui saturent le processus de développement. Or, il n'apparaît pas de surcharge de production de projets d'innovation avant la bifurcation, point de séparation entre le comportement régulier et le comportement a priori chaotique. Il semble plutôt qu'il y ait accumulation de projets au fil du temps. En d'autres termes, le flux d'arrivée des projets est plus grand que le flux des projets en cours de traitement. Il existe à un stade du processus comme un goulot d'étranglement où les projets sont freinés dans leur développement. Il semble que, progressivement, la population atteint le niveau d'acceptabilité de l'environnement jusqu'au moment où l'environnement ne peut plus prendre en charge la totalité de la

population de projets d'innovation. Il y a donc une modification de la configuration interne de la population. Ceci a modifié l'évolution de la population de projets d'innovation, favorisant les projets les plus aptes à survivre par une forme de sélection naturelle.

Principalement, nous allons montrer que la population fait appel à l'auto-organisation pour faire face aux modifications de sa relation avec l'environnement (Prigogine et Stengers, 1979 ; Jantsch, 1980 ; Laszlo, 1987 ; Allen, 1988). Cette théorie s'applique aux systèmes thermodynamiquement ouverts et dissipatifs et pilotés en interne par des forces de rétroaction. La théorie des systèmes auto-organisés est un outil permettant d'expliquer la manière dont les systèmes dynamiques non linéaires deviennent instables et transitent par des points dits de bifurcation (Radzicki, 1990). Dans ce contexte, la structure du système est altérée par un processus de son propre ressort.

Ainsi, tout système en évolution, et c'est le cas de la population de projets d'innovation, est en association étroite avec son environnement. Cette association n'est en rien statique. C'est une action dynamique dans laquelle s'opère un équilibre mutuel. La situation de l'environnement tend à changer, de même que celle du système. Il y a donc en permanence toute une série de fluctuations qui éprouvent la flexibilité de l'interface entre le système et l'environnement. A priori, on pense qu'un système compense tout écart par rapport à ses interactions normales avec l'environnement, et se met lui-même en mesure d'obtenir les ressources dont il a besoin. Mais, vient un moment où cette action d'équilibrage ne peut plus être accomplie. Quand cela se produit, soit le système s'effondre, soit il se restructure de lui-même. Il y a alors rupture avec ce qui s'est produit auparavant (Laszlo et Laszlo, 1993). Nous retrouvons l'idée de Tushman et Romanelli (1985) selon laquelle les systèmes évoluent dans une alternance de longues périodes d'autostabilisation dynamique et de brèves périodes de restructuration révolutionnaire. Les systèmes évoluent, à partir d'un état initial particulier, le long d'une trajectoire d'états jusqu'à ce qu'émerge une configuration dans laquelle la trajectoire s'installe temporairement ou s'enferme en permanence. Le système doit donc être capable de s'adapter, grâce à un processus continu d'auto-apprentissage, à la convergence, à la complexification et aux bifurcations des milieux qui l'entourent. Un remodelage du processus d'évolution se révèle nécessaire de temps à autre. Un processus évolutionniste englobe la déstabilisation des structures qu'il a créées tout autant que leur équilibrage dynamique. Cela tient à ce que l'évolution ne se produit jamais uniquement au sein du système dynamique, mais toujours dans le contexte d'une relation finement modulée - donc instable - avec l'environnement de celui-ci. A cet égard, les organisations ont, toutefois, un grand avantage sur les espèces biologiques et les populations naturelles : elles ne sont pas obligées de faire l'expérience de mutations aléatoires et peuvent délibérément modifier leurs modalités d'organisation, par exemple (Laszlo et Laszlo, 1993).

Concrètement, une fois atteint le niveau de saturation des ressources, la population de projets d'innovation a dû réagir. Trop de projets d'innovation parvenaient à la Mission Innovation et le surplus paralysait le processus de développement de la population avec une diminution de la durée de vie des projets, qui mouraient prématurément, permettant ainsi un allègement de la demande de ressources. Comme le font les systèmes naturels, la population de projets d'innovation s'adapte à son environnement : elle change les entités de pilotage, réduit son nombre d'individus. En d'autres termes, elle réagit aux changements de l'environnement (Probst, 1994). On retrouve alors l'intérêt d'étudier

l'innovation au niveau de la population de projets et non au niveau individuel. Comme le précisent Aldrich et Pfeffer (1976), le centre d'intérêt de la recherche ne se situe pas dans l'adaptation de chaque entité de la population prise individuellement, mais dans une adaptation distribuée sur toute la population.

## **5.2 Implications**

Dans le contexte que nous venons de décrire - évolution en S et bifurcation vers un état chaotique - le dirigeant doit adopter des outils de gestion dérivés de la théorie des systèmes dynamiques non linéaires. Dans un état comme dans l'autre, le dirigeant doit s'attacher à surveiller la population de projets d'innovation. Thiétart et Forgues (1993) proposent des modes de gestion permettant, non pas le contrôle, et encore moins la prévision, de l'évolution de la population de projets d'innovation, mais plutôt l'analyse de la situation en temps réel et la recherche d'une réactivité la plus efficace possible. Par exemple, on peut envisager d'adopter une démarche incrémentale. La linéarisation des phénomènes peut, en effet, aider le gestionnaire à faire le lien entre causes et effets dans le but d'améliorer la prédictibilité des actions entreprises. Il s'agit alors d'une approche de petits pas qui offre la possibilité de procéder de façon marginale et de réactualiser les actions au fur et à mesure de leur déroulement. L'approche incrémentale permet ainsi de ne pas pousser le système organisationnel hors de ses limites de stabilité, qui ne peut être de toute façon que temporaire. Il est aussi possible d'avoir recours, comme le propose Smith (1986), à l'expérimentation de nouveaux paradigmes organisationnels de façon à élaborer des catalogues de configurations dans lesquels l'organisation peut puiser lorsque les forces de changement l'emportent sur les résistances au changement. En d'autres termes, le dirigeant dispose d'un répertoire de réponses nouvelles à des demandes de l'environnement que l'on ne peut prédire.

## **5.3 Limites et voies de recherche**

Comme toute recherche, celle-ci présente un certain nombre de limites. La principale est liée à la longueur des séries temporelles que nous utilisons. Cet aspect se retrouve dans l'ensemble des travaux menés en sciences sociales et humaines. En effet, il est impossible de trouver dans ces disciplines des séries temporelles de longueur semblable à celles que l'on rencontre en sciences "dures". Toutefois, nous avons essayé, dans la mesure du possible, de nous prémunir contre des erreurs d'interprétation en utilisant une méthodologie spécifique. En outre, nous n'avons étudié qu'une seule population de projets d'innovation. Il serait pertinent de répliquer ce travail à d'autres populations de projets d'innovation afin de corroborer (ou non) ce résultat. Nous pourrions ainsi rejeter l'éventuelle contextualisation de notre recherche.

Afin de mieux comprendre le phénomène observé, il pourrait être intéressant de compléter cette recherche par l'étude de la dynamique interne de la population. En d'autres termes, nous pourrions nous interroger sur les relations qu'entretiennent les projets d'innovation entre eux. Après avoir identifié la nature et l'intensité des forces de rétroaction positive et négative, nous serons peut-être en mesure de catégoriser et modéliser, sans volonté prédictive, l'ensemble des interactions observées.

## ANNEXE 1 - Résultats des tests de représentativité de modèles simples

### 1. Régression linéaire

Le résultat de la régression linéaire de la courbe  $N(t)$  est l'approximation suivante :

$$y = 1,0884 x - 16,634$$

$$R^2 = 0,96$$

A première vue, il semble que notre courbe est en fait une droite. Toutefois, il faut vérifier les hypothèses implicites de la régression linéaire concernant la distribution des résidus  $\varepsilon$ , à savoir :  $\varepsilon$  suit une loi Normale centrée de variance constante ( $\sigma^2$ ). Or, dans notre cas, nous n'observons pas ce comportement.

De notre série initiale, nous retirons la partie des données expliquées par ce modèle et nous conservons les résidus  $\varepsilon_1(t)$  sur lesquels va porter la suite de l'analyse.

$$\varepsilon_1(t) = N(t) - y$$

### 2. Auto-corrélation

La deuxième étape du test consiste à vérifier que la série n'est pas auto-corrélée. Autrement dit, on cherche à voir si les équations de la forme  $\varepsilon_1(t) = f(\varepsilon_1(t-1), \dots, \varepsilon_1(t-n))$  n'ont pas de valeur significative. Adoptons l'équation pour laquelle  $R^2$  admet la plus grande valeur. Nous obtenons les résultats suivants :

$$\varepsilon_1(t) = 0,96 \varepsilon_1(t-1) - 0,08 \varepsilon_1(t-2) + 0,06 \varepsilon_1(t-3) + 0,126$$

$$R^2 = 0,08$$

D'après la valeur prise par  $R^2$ , nous pouvons considérer que la série est non auto-corrélée. Une fois cette partie ôtée, nous cherchons une explication à l'évolution de la série résidus  $\varepsilon_2(t)$ .

$$\varepsilon_2(t) = \varepsilon_1(t) - 0,96 \varepsilon_1(t-1) + 0,126$$

### 3. Découpage

Nous nous proposons donc de scinder la série  $N(t)$  puis la série résidus  $\varepsilon_2(t)$  en deux parties.

$$\varepsilon'_2(t) = \begin{cases} \varepsilon_2(t) & \text{pour } t \in [17/04/91, 02/01/95] \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\varepsilon''_2(t) = \begin{cases} \varepsilon_2(t) & \text{pour } t \in [09/01/95, 30/06/96] \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

## BIBLIOGRAPHIE

- Aaker, D.A. et T. Tyebjee (1978), "A Model for the Selection of Interdependent R&D Projects", *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. EM-25, 30-36.
- AFITER-AFNOR (1992), *Dictionnaire de management de projet*, AFNOR, Paris, 2ème édition.
- Aldrich, Howard E. et Jeffrey Pfeffer (1976), "Environments of Organizations", *Annul Review of Sociology*, 2, 79-105.
- Allen, Peter (1988), "Dynamics Models of Evolving Systems", *Systems Dynamics Review*, 4, summer, 109-130.
- Brock, W.A. (1986), "Distinguishing Random and Deterministic Systems : Abridged Version", *Journal of Economic Theory*, 40, oct., 168-95.
- Brock, W.A., W.D. Dechert et J.A. Scheinkman (1986), "A Test for Independence based on Correlation Dimension", Working Paper, University of Wisconsin at Madison.
- Burgelman, Robert A. et Leonard R. Sayles (1987), *Inside Corporate Innovation: Strategy, Structure and Managerial Skills*, Free Press.
- Casati, Giulio (1991), "Des billards au chaos des atomes", *La Recherche*, 232, 22, 600-609.
- Eckmann, Jean-Pierre et Maurice Marshall (1991), "La physique du désordre", *La Recherche*, 232, 554-564.
- Efron, B. (1982), *The Jackknife, the Bootstrap and Other Resampling Plans*, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphie.
- Ekeland, Ivar (1984), *Le Calcul, l'Imprévu*, Seuil, Paris.
- Fahrni, Peter et Martin Spätig (1990), "An Application-Oriented Guide to R&D Project Selection and Evaluation Methods", *R&D Management*, 20, 2, 155-170.
- Gleick, James (1989), *La Théorie du chaos: vers une nouvelle science*, Albin Michel, Paris.
- Hannan, Michael T. et Glenn R. Carroll (1992), *Dynamics of Organizational Populations: Density, Legitimation and Competition*, Oxford University Press, New York Oxford.
- Hilborn, Robert C. (1994), *Chaos and Nonlinear Dynamics*, Oxford University Press, New York.
- Hsieh, David A. (1991), "Chaos and Nonlinear Dynamics: Application to Financial Markets", *The Journal of Finance*, vol. XLVI, n° 5, 1839-1877.
- Jantsch, Erich (1980), *The Self-Organizing Universe : Scientific and Human Implications of the Emerging Paradigm of Evolution*, Pergamon Press, New York.
- Koput, Kenneth W. (1993), "Signal in the Form of Noise: A (Potentially) Chaotic Model of Innovative Search", Working Paper, University of Arizona.
- Laszlo, Ervin (1987), *Evolution : The Grand Synthesis*, Shambhala, Boston.
- Laszlo, Ervin et Christopher Laszlo (1993), *Le management évolutionniste*, Economica, Paris.
- Mandelbrot, Benoît (1977), *Les objets fractals*, Champs, Flammarion, Paris.
- Mandelbrot, Benoît (1986), "Fractal Measures and Multiplicative Chaos", *Dimensions and Entropies in Chaotic System*, W. Meyer-Kress (ed.), Springer, 19-25.
- Mauguin, Philippe (1991), "Décider : la sélection des projets de R&D", *Gestion de la recherche*, Dominique Vinck (ed.), De Boeck, Bruxelles, 115-145.

- Morfaux, Louis-Marie (1980), *Vocabulaire de la philosophie et des sciences humaines*, Armand Colin, Paris.
- Ott, Edward (1993), *Chaos in Dynamical Systems*, Cambridge University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Prigogine, Ilya et Isabelle Stengers (1979), *La nouvelle alliance, Métamorphose de la science*, Gallimard, Paris.
- Probst, Gilbert J.B. (1994), *Organiser par l'auto-organisation*, Editions d'Organisation, Paris.
- Radzicki, M.J. (1990), "Institutional Dynamics, Deterministic Chaos, and Self-Organizing Systems", *Journal of Economic Issues*, 24, 1, 57-102.
- Rothwell, Roy (1992), "Successful Industrial Innovation : Critical Factors for the 1990s", *R&D Management*, 22, 3, 221-239.
- Ruelle, David et F. Takens (1971), "On the Nature of Turbulence", *Communications in Mathematical Physics*, n°20, 167-192.
- Scheinkman, José A. et Blake LeBaron (1989), "Nonlinear Dynamics and Stock Returns", *Journal of Business*, 62, 3, 311-337.
- Smith, C. (1986), "Transformation and Regeneration in Social Systems : A Dissipative Structure Perspective", *Systems Research*, 3, 4, 203-213.
- Stacey, Ralph D. (1995), "The Science of Complexity : An Alternative Perspective for Strategic Change Processes", *Strategic Management Journal*, 16, 477-495.
- Thiéart, Raymond-Alain et Bernard Forgues (1993), "La dialectique de l'ordre et du chaos dans les organisations", *Revue Française de Gestion*, mars-avril-mai, 5-15.
- Thiéart, Raymond-Alain et Bernard Forgues (1997), "Action, Structure and Chaos", *Organization Studies*, 18, 1, 119-143.
- Tushman, Michael L. et Elaine Romanelli (1985), "Organizational Evolution : A Metamorphosis Model of Convergence and Reorientation", *Research in Organizational Behavior*, L.L. Cummings et B.M. Staw (eds.), vol. 7, Greenwich, JAI Press, 171-222.
- Van de Ven, Andrew H. (1986), "Central Problems in the Management of Innovation", *Management Science*, 32, 590-607.
- Van de Ven, Andrew H. et Marshall Scott Poole (1990), "Methods for Studying Innovation Development in the Minnesota Innovation Research Program", *Organization Science*, 1, 3, août, 313-335.
- Wolf, A., J.B. Swift, H.L. Swinney et J.A. Vastano (1985), "Determining Lyapunov Exponent from a Time Series", *Physica*, 16D, 3, 285-317.