UNIVERSITÉ PARIS OUEST NANTERRE LA DÉFENSE

École Doctorale Économie, Organisations, Société

Thèse pour le Doctorat ès Sciences Économiques

présentée par

Inna Lyubareva

La coopération en réseau comme alternative pour la création de connaissances.

Exemple du Logiciel Libre.

15 Janvier 2010

MEMBRES du JURY

M. Eric Brousseau
Université Paris Ouest Nanterre la Défense, ***directeur de thèse***

M. Jean-Michel Dalle
Université Pierre et Marie Curie, ***rapporteur***

M. Paul David
Université de Stanford

M. Thierry Pénard
Université de Rennes I, ***rapporteur***

M. Dominique Torre
Université Nice Sophia Antipolis

RÉSUMÉ
La connaissance comme facteur de production a des caractéristiques spécifiques. Elle est attachée à des individus, à leurs interactions et au contexte social. Sa création nécessite d'une part, la circulation et l'ouverture sur l'extérieur, et d'autre part l'intégration (une gouvernance adéquate qui permet des comportements cohérents). Cela met en évidence un dilemme économique que les organisations conventionnelles (firme, marché) ne semblent pas à même de résoudre. C'est pourquoi il convient d'analyser la capacité d'une forme organisationnelle alternative – la coopération en Réseau. Cette question est abordée selon trois axes : (1) une mise en perspective théorique du Réseau et sa comparaison avec les formes marchandes et hiérarchiques conventionnelles, (2) l'analyse des modalités d'émergence et (3) de la performance du Réseau. L'exemple du Logiciel Libre comme alternative productive de type Réseau dans l'industrie logicielle est utilisé. Cette thèse met en lumière les avantages et les problèmes intrinsèques du modèle du Libre. Elle discute les perspectives de ce modèle dans d'autres domaines de production intensifs en connaissance.

MOTS CLEFS : approches cognitives de l'organisation, droits de propriété, dilemme de la connaissance, innovation, incertitude et complexité, F/OSS.

TITLE
Cooperation in network as an alternative for the knowledge creation. Example of Free and Open Source Software.

ABSTRACT
Knowledge as a factor of production has some specific features. It does not exist independently from individuals, from their interactions and from the social context. It requires, on one hand, free circulation and openness and, on the other hand, integration (i.e. an adequate governance to ensure coherent actions). This constitutes an economic dilemma which the conventional organization forms (firm, market) often fail to solve. Therefore, the analysis of capabilities of an alternative organization – the cooperation in Network – becomes especially relevant. The analysis of this question is undertaken throughout three chapters: (1) a formal theoretical representation of the Network organization and its comparison with the market-like and hierarchical forms, (2) the empirical analysis of the patterns of its development and (3) of its performance. The example of Free and Open Source Software, representing the network-like alternative in the software industry, has been used. This work highlights the advantages and the inherent problems of the F/OSS model. It discusses the perspective of this model in other fields of the knowledge-intensive production.

KEY WORDS: cognitive approaches to organization, property rights, knowledge dilemma, innovation, uncertainty and complexity, F/OSS.

ECONOMIX

Université Paris Ouest, Nanterre – La Défense

Bâtiments K

200, Avenue de la République

92001 Nanterre cedex

REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche est le fruit de nombreuses contributions humaines. Aussi, l'occasion est propice pour exprimer notre gratitude envers tous.

Nos remerciements vont en premier lieu à Monsieur Eric Brousseau Professeur de l'Université Paris Ouest Nanterre la Défense pour avoir accepté de diriger notre thèse et pour nous avoir soutenu tout au long de nos recherches, merci pour sa grande confiance et sa disponibilité.

Nous sommes très sensibles et honorés du fait que Messieurs Jean-Michel Dalle Professeur de l'Université Pierre et Marie Curie et Monsieur Thierry Pénard Professeur de l'Université de Rennes I ont accepté d'être les rapporteurs de ce travail.
Notre gratitude va également à Monsieur Paul A. David Professeur de l'Université de Stanford et Monsieur Dominique Torre Professeur de l'Université Nice Sophia Antipolis pour avoir endossé la fonction de Jury.

Nous voulons remercier très chaleureusement Michel Delapierre et Fabrice Rochelandet pour leur soutien constant et leurs commentaires pertinents.

Nos remerciements vont également à toute l'équipe du département d'économie de Paris Ouest Nanterre la Défense, notamment de l'ex-GIFT.
Un grand merci à Christian Bidard, Denis Carré, Bruno Chavès, Bertrand Crettez, Frédéric Deroïan, Muriel Faverie, Frédéric Gannon, Ludovic Julien, Gilliane Lefebvre, Bernadette Madeuf et Christian Milelli, pour leur écoute et leur réceptivité.

Toute notre reconnaissance va à l'équipe des doctorants en particulier à : Danielle Attias, Carlos Muniz, Barbara Feledziak, Massimiliano Gambardella, Bertil Hatt, Sebastian Hikisch, Gwendoline Promsopha, et Emmanuel Ruzé.

Nous souhaitons vivement remercier Sami Ben Sassi, Marina Dodlova et Natalia Lyarskaya pour leur contribution précieuse concernant le traitement et l'analyse de données.

Nous voudrions exprimer toute notre gratitude aux chercheurs qui ont porté de l'intérêt à nos recherches et nous donné de précieux conseils : Pierre Garrouste, Pascal Jolivet, Mathieu Lacage, Alain Rallet, Alessandra Rossi et Jean-Benoît Zimmermann.

Nos remerciements s'adressent aussi aux chercheurs qui, lors de divers séminaires ont, par leurs critiques et leurs appréciations sur les articles, nourri et enrichit ce travail : Joachim Henkel, Jackson Nickerson, Francesco Rullani, Howard A. Shelanski et Ed Steinmuller.

Aussi, nous avons une pensée pleine d'affection pour nos parents et amis.

TABLE DES MATIÉRES

INTRODUCTION GÉNÉRALE 7
1 La connaissance est-elle un bien public ? 10
Les propriétés de non-excluabilité, non-rivalité et cumulativité de la connaissance. 10
Le dilemme conventionnel « incitation-diffusion ». 11
L'approche cognitive de la connaissance. 12
2 Vers un nouveau dilemme de la connaissance. 14
Nouveau dilemme « ouverture-intégration ». 14
L'incertitude radicale et la complexité comme caractéristiques de l'innovation. 16
Incertitude, dilemme « ouverture-intégration » et organisation en Réseau 19
3 Méthodologie de la thèse 21
Choix de l'exemple. 23
1) Importance de l'industrie logicielle. 24
2) F/OSS comme exemple de typologie d'articulations entre le cadre institutionnel et la gouvernance effective 24
3) F/OSS comme alternative à la modularisation organisationnelle. 27
Organisation de l'analyse. 29
Partie I. Trois organisations « pures » pour développer les produits et systèmes complexes. 29
Partie II. F/OSS comme exemple de coopération en Réseau : Les modalités de gouvernance et leur lien avec le cadre institutionnel formel. 30
Partie III. Les modalités de gouvernance et l'efficience de Réseau 31
4 Contribution de la thèse 32
PREMIÈRE PARTIE .....
Trois organisations « pures » pour le développement des produits et systèmes complexes. 37
I.1 Introduction de la première partie. 38
I.2 Organizational Design and Agents' Strategies 46
Introduction 46
1 Modularity and Complex Product Systems 48
2 Model Description 52
2.1 Stand-Alone Strategy Model 55
2.2 Exchange Strategy Model 59
2.3 Cooperation Strategy Model 62
3 Static Game 64
4 Results 69
Discussion 73
DEUXIÈME PARTIE .....
F/OSS comme exemple de coopération en Réseau : Les modes de gouvernance et leur lien avec le cadre institutionnel formel. 76
II.1 Introduction de la deuxième partie 77
II.2 Distribution of property rights and governance in F/OSS 82
Introduction 82
1 Research Framework and Predictions 84
2 Data Collection and Measures 89
2.1 Data Collection 89
2.2 Measures 91
3 Results 93

3.1 Descriptive Results 93
3.2 Regression Results 96
Conclusion 100
TROISIÈME PARTIE .....
Les modalités de gouvernance et l'efficience de Réseau. 103
III.1 Introduction de la troisième partie 104
III.2 Governance and Problem-Solving Efficiency in F/OSS 109
1 An Evolutionary Approach to Problem-Solving 109
2 Software Development in F/OSS 113
3 Governance Structures in F/OSS 116
4 Measures 120
5 Regression Results 124
5.1 Form 1: Centralized Governance 125
5.2 Form 2: Intermediate (De)centalization of Governance 128
5.3 Form 3: Decentralized Governance 132
Discussion 139
CONCLUSION GÉNÉRALE 142
1 Triangle des formes organisationnelles. 143
Continuum des formes organisationnelles dans l'industrie logicielle. 143
Les exemples dans l'industrie logicielle. 146
2 Sphère d'application de Réseau. 150
Le modèle du F/OSS est-il applicable dans un autre contexte ? 150
Le rôle des TIC dans la formation des Réseaux. 155
3 Recherches futures. 157
BIBLIOGRAPHIE 159
ANNEXES 170
Annex 1 : List of Projects 171
Annex 2: Some Examples of the Exclusion Right Distribution 172
2.1 The license terms require the transfer of rights 172
2.2 Contributors always posses the scope of rights 173

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Académiques, firmes et organismes régulateurs reconnaissent la connaissance comme principale source de croissance et facteur essentiel de production aujourd'hui (OCDE, 2001). Les changements sont perceptibles dans tous les secteurs économiques. Ils concernent la dynamique de l'innovation, la nature des produits fabriqués, ainsi que l'organisation des agents.

La question se pose alors de savoir si la société se trouve dans un contexte économique radicalement nouveau, et ce, au moins à deux niveaux.

> « D'une part une tendance longue, relative à l'augmentation des ressources consacrées à la production et à la transmission des connaissances (éducation, formation, R&D, coordination économique) et d'autre part, un événement technologique majeur (l'avènement des nouvelles technologies de l'information et de la communication). La rencontre entre ces deux phénomènes produit une économie spécifique, caractérisée par la baisse significative des coûts de codification, transmission et acquisition des connaissances » (Foray, 2000).

D'une part, il semblerait que de nouvelles formes organisationnelles soient en train d'émerger dans la production des biens et services. D'autre part, les technologies de l'information et de la communication (TIC) sont souvent considérées comme le promoteur des processus en cours. Elles contribuent à l'accélération du rythme de l'innovation ; elles permettent une systématisation de l'accumulation et l'intégration du savoir ; elles rendent possible une baisse des coûts de transmission, de stockage et de codification de la connaissance (Vignier, 2003).

Les termes d' «économie de l'information », d'«économie du savoir », d'«économie de la connaissance » ou encore de « capitalisme cognitif » sont utilisés dans la littérature pour désigner ces nouvelles conditions économiques. Outre la multiplicité des expressions utilisées, on trouve dans la littérature économique une

variété d'approches. Celles-ci se distinguent en fonction de leur conceptualisation de la nature de la connaissance et de sa caractérisation en tant que bien, ce qui influence, à son tour, le rôle que l'on fait jouer aux formes organisationnelles.

Le contexte de l'innovation est caractérisé par la complexité accrue et l'incertitude radicale. Dans ce contexte, la connaissance en tant que facteur de production a des traits spécifiques qui ne permettent pas de l'assimiler aux facteurs « classiques ». Sa création nécessite à la fois une ouverture vers l'extérieur et une intégration des agents. Cette situation correspond à un dilemme économique que les organisations conventionnelles ne semblent pas à même de résoudre. Dans cette perspective, une forme organisationnelle nouvelle – coopération en Réseau – semble apparaître et satisfaire l'ensemble de critères. Ainsi, cette thèse se pose la question de l'analyse des potentiels et des défaillances éventuelles pour la création des connaissances qu'une telle forme organisationnelle présente. Comme exemple de la coopération en Réseau nous avons utilisé le cas du Logiciel Libre (nommé F/OSS par la suite, dans le corps du texte).

Dans la première section (1) de cette introduction, nous reviendrons sur les définitions de la connaissance que l'on retrouve dans la littérature économique. Notamment, nous montrons que la caractérisation de la connaissance en tant que bien public, apparaissant souvent dans la littérature, ne reflète pas entièrement la nature complexe de la connaissance. Dans la deuxième section (2) nous mettrons en lumière un nouveau dilemme économique « ouverture-intégration » qui apparaît à condition d'admettre que la définition de la connaissance comme bien public pur ne soit pas exhaustive ; ce dilemme vient compléter le dilemme classique de la connaissance connu comme « incitation-diffusion ». La troisième section (3) présente le cadre théorique et la méthodologie de la thèse. La quatrième et dernière section (4) décrit les contributions principales de la thèse.

1 La connaissance est-elle un bien public ?

Bien que la question de la connaissance ait été déjà abordée chez Adam Smith (1776) et Adam Ferguson (1767), la première systématisation de la recherche dans ce domaine date des années soixante du XXème siècle. Notamment, en 1962 paraît l'ouvrage de Fritz Machlup sur la mesure de la connaissance dans l'économie (Machlup, 1962). La même année, Kenneth Arrow s'interroge sur la question de l'innovation (Arrow, 1962) et met en lumière les caractéristiques de la connaissance comme bien public : la non–excluabilité, la non–rivalité, la cumulativité**.** Pendant longtemps cette conception a été dominante dans la littérature économique et a conduit à la mise en place d'une problématique économique qui nous semble incomplète. Pour mettre en lumière les problèmes entraînés par cette vision de la connaissance, il faut s'arrêter sur ces trois propriétés.

Les propriétés de non-excluabilité, non-rivalité et cumulativité de la connaissance.

Dans ce contexte théorique, la connaissance est un bien non excluable, c'est-à-dire qu'il est difficile de contrôler sa diffusion et son utilisation de façon privée. La connaissance engendre alors des « externalités » positives ou *spillovers* (Almeida et Kogut, 1999) : la connaissance produite par un agent économique bénéficie à d'autres sans qu'ils en aient supporté les coûts de recherche et de développement.

Ensuite, la connaissance est non rivale car elle ne se détruit pas dans l'usage. L'idée de non-rivalité de la connaissance possède deux dimensions. Premièrement, chaque agent peut recourir une infinité de fois à la même connaissance, ces recours supplémentaires n'engendrant pas de coût marginal. Deuxièmement, une infinité d'agents peuvent recourir à une même connaissance une infinité de fois sans que personne n'en soit privé. La propriété de non-rivalité des connaissances a des conséquences importantes sur leur coût et leur prix : puisque le coût marginal d'usage est nul, la fixation des prix sur la base des coûts marginaux est impossible.

Enfin, toute connaissance existante est à l'origine de la création des nouvelles connaissances. La connaissance n'est pas seulement un bien de consommation, mais c'est aussi, et surtout, un bien de production. Elle est susceptible d'engendrer de nouvelles connaissances. C'est un bien qui possède un caractère cumulatif, qui représente à la fois l'input et l'output de la production.

Représentée à travers la non-rivalité, la non-excluabilité et la cumulativité, la connaissance constitue un flux de données, bien structurées, dupliquables mécaniquement par simple imitation. Elle existe indépendamment de ses producteurs. La connaissance est parfaitement disponible car une capacité d'apprentissage des agents est présupposée. Comme nous le montrons plus loin, une telle conceptualisation de la connaissance réduit le champ d'analyse en se focalisant sur un type particulier de connaissances codifiées et un dilemme « incitation-diffusion » qui en découle.

Le dilemme conventionnel « incitation-diffusion ».

Appréhendée à travers ces trois propriétés – non-rivalité, non-excluabilité et cumulativité - la production des connaissances soulève un dilemme. Ce dilemme naît de l'intersection de l'usage et de la production de la connaissance en tant que bien public.

D'un côté, la connaissance est un bien aisément reproductible (le coût marginal de reproduction tend vers zéro) et disponible en abondance. C'est alors un bien qui engendre un rendement social fort, plaçant l'activité d'innovation au cœur de la croissance économique. De ce point de vue, la diffusion la plus large possible des connaissances au sein d'une économie donnée optimiserait sa capacité à produire. D'un autre côté, les bénéfices engendrés par la création de connaissances ne sont pas entièrement appropriables, alors que sa production est risquée et nécessite un coût fixe élevé. Par conséquent, les agents économiques auraient peu d'incitations à investir dans la production des connaissances. Pour parvenir à cet objectif, il faut leur donner les moyens de s'approprier les bénéfices associés à l'usage de cette connaissance, mais cela implique que l'usage de la connaissance soit restreint (Scotchmer, 1991).

On arrive alors au dilemme incitation-diffusion : permettre aux agents économiques de s'approprier les connaissances en augmentant leurs incitations conduit à une diminution de la diffusion des connaissances ; et inversement, augmenter la diffusion décroît les incitations des agents.

En somme, dans cette perspective le problème central de l'économie de la connaissance est celui du bien public : l'appropriation des profits et la protection de la connaissance. Pendant longtemps une telle représentation a été dominante dans la littérature économique. Cependant, depuis peu, des approches plus cognitives de la connaissance et des problématiques économiques complémentaires sont proposées.

L'approche cognitive de la connaissance.

Selon l'approche cognitive, la connaissance n'est pas assimilable à un bien public pur et cela pour des raisons suivantes. Tout d'abord, la connaissance est fondamentalement une capacité d'apprentissage et de cognition. Elle nécessite une activité cognitive de la part de l'agent pour l'interpréter et en tirer de nouvelles connaissances. De ce fait, elle est toujours attachée à des individus, à leurs interactions et au contexte social qui les englobe. Son contenu est continuellement redéfini par les processus cognitifs individuels. Par conséquent, les propriétés de la connaissance comme bien public, c'est-à-dire bien non excluable, non rival et cumulatif, nécessitent un certain nombre de précisions.

Tout d'abord, l'hypothèse de la disponibilité parfaite de la connaissance devient problématique dès qu'on admet que pour bénéficier des externalités - c'est-à-dire pour pouvoir identifier, comprendre et exploiter les connaissances externes - il est nécessaire de posséder un certain niveau de connaissances internes, de compétences et de capacités d'absorption [(Cohen et Levinthal, 1990) ; (Abramowitz, 1989)]. A ce propos, nous pouvons citer Griliches (1994) :

> "Knowledge is not like a stock of ore, sitting there waiting to be minded. It is an extremely heterogenous assortment of

> information in continuous flux. Only a small part of it is of any use to someone at a particular point of time, and it takes effort and resources to access, retrieve, and adapt it to one's own use. Thus models of externalities must perforce be models of interaction between different actors in the economy."

Par ailleurs, contester la conception atomistique et stable de la connaissance et admettre que sa création est l'activité cognitive individuelle, nous amène à supposer que l'accumulation des connaissances n'est pas toujours linéaire. C'est-à-dire ici, les nouvelles connaissances ne viennent pas simplement se rajouter sur la base des connaissances « existantes » et disponibles. Il s'agit plutôt de saisir le processus par lequel les connaissances nouvelles, qui sont toujours liées aux processus cognitifs d'interprétation, apparaissent et comment elles peuvent aussi reconfigurer et réévaluer les connaissances « existantes ».

Enfin, quoique certaines formes de connaissances pourraient avoir des traits de bien public – par exemple, la connaissance codifiée (l'information) ou articulée (Cowan *et al.*, 2000), qui est facilement transférable et aisément reproductible – recentrer toute l'analyse sur cette forme particulière signifie ignorer les autres formes, telles que la connaissance tacite (Polanyi, 1966) ou non-articulée (Cowan *et al.*, 2000). Le plus important est que dans le processus de création des connaissances, ces formes différentes de la connaissance sont davantage complémentaires que substituables : les connaissances tacites sont nécessaires à l'utilisation des connaissances codifiées et *vice versa* ; chaque codification engendre à son tour de nouvelles connaissances qui apparaissent toujours sous forme tacite. Ainsi, cette distinction entre les formes des connaissances n'est pas de nature discrète, mais correspond à une continuité des formes.

En somme, la connaissance apparaît alors dans une perspective complètement différente. Elle est représentée comme facteur produisant une modification de la perception et de la « vision » du monde de l'agent. La création même de ce facteur

n'est pas simplement coûteuse en interne, elle nécessite, par nature, la circulation et donc une *ouverture* sur l'extérieur. Par ailleurs, la reproduction et la transmission ne viennent pas, à la manière de la première perspective théorique, comme une étape supplémentaire dans une chaîne d'opérations, mais font partie intégrante de la création et nécessitent un contexte cognitif favorable. La connaissance étant encastrée dans les structures sociales, il s'agit ici de la nécessité, pour que les connaissances puissent s'enrichir mutuellement, d'une « culture commune », d'un langage partagé, d'une certaine proximité cognitive ; et d'une cohérence des actions [(Hodgson, 1998) ; (Johnson, 1992) ; (Daft et Weick, 1984)]. Il s'agit ici de la nécessité d'un cadre de gouvernance qui permettrait de remplir ces conditions et d'assurer une *intégration* adéquate. De ce fait, le seul lien avec l'extérieur et, plus généralement, la circulation en tant que telle ne garantit pas automatiquement la bonne marche de la création.

Cette perspective révèle des nouvelles problématiques économiques autour desquelles un certain nombre de recherches se structurent. Cette question est discutée en détail dans la section suivante.

2 Vers un nouveau dilemme de la connaissance.

La connaissance, en tant que facteur de production, a des traits spécifiques qui ne permettent pas de l'assimiler aux facteurs « classiques ». Malgré le fait que la connaissance soit non rivale en usage, elle n'est pas parfaitement disponible et facilement accessible par tout le monde. Ainsi, elle se soustrait à la définition des biens publics purs.

Nouveau dilemme « ouverture-intégration ».

A partir de là, une problématique économique différente du dilemme « incitation-diffusion » commence à apparaître et une question complémentaire se pose : comment assurer la création et la circulation des connaissances qui nécessitent à la fois ouverture et intégration ?

Nous appelons cette problématique le dilemme « ouverture-intégration » parce que la réalisation simultanée de ces deux tâches semble être impossible, au moins dans le cadre de l'analyse conventionnelle des organisations qui conduit à une vision dichotomique entre Firme et Marché (Williamson, 1975). Dans cette perspective conventionnelle, la Firme correspond à une collaboration hiérarchisée et planifiée des agents, qui a comme base les normes de supervision et la dépendance des choix des agents. Ainsi, face au dilemme ouverture-intégration, cette forme, tout en préservant l'intégration de l'innovation, ne permet pas la circulation efficace des connaissances. Par ailleurs, le passage vers le Marché implique l'indépendance de plus en plus forte des agents, dont la collaboration est délimitée par un accord sur la division du travail et l'attribution des résultats. Au cas extrême du Marché, les choix des agents sont complètement indépendants, et le système des prix représente le seul dispositif de coordination des actions. Ainsi, face au dilemme ouverture-intégration la défaillance principale de cette forme correspond au manque d'interaction entre les agents, c'est-à-dire, au manque d'intégration et de cohérence de leurs actions.

En d'autres termes, face au dit dilemme, les questions suivantes s'imposent : Quelles sont les conditions pour qu'une telle circulation des connaissances conduise effectivement à l'innovation ? Quelle distribution des droits de propriété, d'accès et d'usage et quelle structure de gouvernance seraient à même de répondre à la spécificité de la connaissance ? Il s'agit de la nécessité de la mise en place d'une structure au sein de laquelle les relations entre agents hétérogènes prenant part au processus de l'innovation, évoluent par apprentissage, et donnent lieu à des comportements cohérents et complémentaires.

Il faut préciser dès maintenant que ce problème apparaît dans des conditions bien définies, qui délimitent le périmètre de cette thèse. En effet, l'on opère ici un double glissement :

L'on passe de la production économique « en général » impliquant, au sein de la firme, les processus relatifs à la création et à la circulation des connaissances

(apprentissage, routines) à la production des biens intensifs en connaissances qui peut présenter des caractéristiques spécifiques.

L'on passe ainsi du niveau de la connaissance en tant que telle au niveau organisationnel capable de répondre à la spécificité de la production des biens intensifs en connaissance. Quelle forme organisationnelle serait à même de répondre à la spécificité de ces biens qui, comme nous venons de le voir, ne se laissent pas forcément saisir selon les termes de l'analyse conventionnelle ? Il est permis de se demander si l'analyse en termes du continuum Firme – Marché couvre de manière exhaustive les formes organisationnelles ici en jeu.

A supposer que la réponse à cette question soit positive et qu'une forme organisationnelle nouvelle entre en jeu, il nous semble qu'il faille définir les arrangements institutionnels, définissant la distribution des droits, qui joueraient le rôle d' « encadrement » au sein d'une telle organisation et contribueraient à rendre possible les processus d'apprentissage. On s'apercevra ici aisément d'une certaine inspiration évolutionniste, avec cependant une nuance importante qui consiste à s'intéresser au rôle des institutions dans ce contexte nouveau, alors que la question des institutions est peu abordée dans la littérature évolutionniste (Brousseau, 1999).

L'incertitude radicale et la complexité comme caractéristiques de l'innovation.

L'ensemble de ces considérations sur la nature et la spécificité de la connaissance reflète l'incertitude radicale liée au processus de l'innovation. Il nous semble capital de développer en détail cet aspect car il est en fait à l'origine de la problématique particulière de l'économie de la connaissance.

De manière générale, le cadre conceptuel de l'innovation peut être abordé au travers de la problématique de résolution de problème. Le processus de résolution de problème comprend les étapes suivantes (Dosi *et al.*, 2005) :

1) représentation/« compréhension » de l'environnement (conditionnées par l'information disponible) ;
2) évaluation/jugement ;
3) choix (décision) ;
4) actions ;
5) conséquences.

L'ordre selon lequel ce processus se déroule peut se concevoir de différentes façons selon un niveau d'incertitude et une limite de la rationalité admis. Par exemple, sous l'hypothèse de rationalité dite « instrumentale » (Buttard et Gadreau, 2008) l'individu a un ensemble de préférences, et sa rationalité va le pousser à agir en optimisant ses actions en cohérence avec ces préférences. A partir de ce constat, le choix des actions est toujours considéré comme efficace au regard du problème. La résolution du problème a comme point de départ la représentation individuelle du problème. La rationalité instrumentale comprend les conceptions différentes de la rationalité - telles que la rationalité «substantielle » et « procédurale » (Simon, 1976) - et les définitions distinctes de l'efficacité. Toutefois, elle se traduit par une séquence strictement linéaire des cinq étapes dans laquelle les conséquences sont déterminées par des combinaisons des actions et des « événements de la nature » (Dosi *et al.*, 2005).

En revanche, admettre un univers *radicalement* incertain et complexe qui est en perpétuelle évolution et où il est *a priori* impossible d'anticiper les conséquences d'une action, bouleverse la séquence des étapes de résolution de problème. La séquence semble être désormais circulaire plutôt que linéaire, et remet en cause la possibilité d'une délibération préalable :

> « Si l'incertitude porte sur la nature du problème à résoudre, les conséquences des actions possibles (si celles-ci sont connues) ne peuvent être anticipées et la construction d'un préordre des préférences est remise en cause…la capacité de discriminer entre

> des mondes possibles dépend directement des choix réalisés. » (Dibiaggio, 1999)

Cette impossibilité est alors ontologique, car « [l'individu] ne peut appréhender pleinement un environnement trop complexe, quand bien même il consacrerait tout son temps à acquérir davantage d'informations » (Buttard et Gadreau, 2008). Il s'agit ici de l'impossibilité de « la formation du jugement et [de] l'estimation de sa valeur » (Knight, 1921) ce qui remet en cause non seulement le calcul probabiliste (attribution d'une distribution de probabilités des conséquences des choix), mais aussi la formulation même du problème, car le problème apparaît au fur et à mesure que l'agent agit.

Le fait que la rationalité de l'agent soit « radicalement limitée » ne l'empêche pas d' « imaginer » les possibles et d'évaluer leur pertinence (Dibiaggio, 1999). Cependant, ces croyances ne sont pas indépendantes, elles sont socialement déterminées. En d'autres termes, *une* norme de rationalité cède la place à *des* normes différentes, relatives aux croyances collectives d'une société à laquelle l'agent s'identifie, et irréductibles à la somme des croyances individuelles.

> «Quand un groupe partage des croyances collectives et qu'il fonde certaines de ses décisions sur cette base, les croyances s'érigent en normes comportementales. » (Buttard et Gadreau, 2008)

Ces normes comportementales correspondent à la formation de routines, essentiellement implicites et propres à chaque collectif, et des institutions, plus explicites et générales (Pelikan, 2003). En somme, les agents confrontés à un univers radicalement incertain ont recours à des croyances collectives, plutôt qu'à une action délibérée et indépendante, parce que la rationalité de l'agent est insérée dans des règles collectives qui modèlent son comportement. Les deux niveaux, individuel et collectif, s'articulent et influencent conjointement le comportement de l'agent : par

l'interprétation des règles de comportement, l'agent juge son environnement et ajuste ces lois générales à des situations particulières.

En effet, comme l'affirme Dibiaggio (1999), il est toujours possible d'envisager des situations « simples » où l'approche probabiliste par calcul peut être possible : l'auteur cite à ce propos le jeu d'échecs entre deux joueurs experts qui ont une structure de connaissance du jeu quasi similaire. Néanmoins, lorsqu'il s'agit du processus de création des connaissances, la perspective d'une incertitude radicale et la rationalité « radicalement limitée » et « interprétative » (Favereau, 2003) ou « située » (Kirman, 1992) s'imposent. De ce point de vue, en utilisant la typologie des situations de Dibiaggio (1999), le processus d'innovation correspond au type de situations les plus complexes au moins pour deux raisons. D'une part, à cause de l'incapacité des agents à associer des actions efficaces à une situation spécifique ; et d'autre part, à cause de l'interdépendance des choix des agents, dont les comportements sont socialement déterminés.

Incertitude, dilemme « ouverture-intégration » et organisation en Réseau.

Face à l'incertitude et à la complexité élevée, une solution qui semble être pertinente est celle de l'innovation entièrement « ouverte », « émergente » et « flexible » au niveau du contenu comme au niveau de la structure de l'organisation. Il s'agit ici d'une organisation qui fonctionnerait en l'absence de frontières délimitées, d'une structure hiérarchique et d'une distribution des tâches explicite. Sans contraindre les heuristiques pour l'apprentissage et la quête, la complexité et l'incertitude pourraient être gérées par le recours à des normes et croyances collectives et partagées, qui émergent et évoluent le long du processus de l'innovation vers une convergence, voire une complémentarité, des comportements des agents.

Depuis un certain nombre d'années, il semblerait que nous assistions à l'essor d'une telle forme organisationnelle, dont les caractéristiques ne se laissent pas saisir selon les termes du continuum Firme-Marché. Bien qu'on ait pu la désigner dans la

littérature tour à tour par le « réseau » [(Powell, 1990) ; (Powell *et al*. 1996)], la « communauté » (Garzarelli, 2004) ou encore la « Commons-Based Peer Production » (Benkler, 2002), un certain nombre de traits communs font ressortir son unicité (Powell, 1990) :

- La mise en commun des ressources se base sur la complémentarité de celles-ci par opposition à une mise en commun dans le cadre d'un accord (Marché) ou d'une institution centrale (Firme).

- La communication est largement informelle et s'opère par des relations interpersonnelles par opposition à la hiérarchie (Firme) ou au système des prix (Marché).

- Le partage se fonde sur des normes de réciprocité et sur la réputation par opposition à la supervision (Firme) ou à la négociation (Marché).

- Les choix des agents au sein de l'organisation sont interdépendants par opposition aux choix dépendants (Firme) ou indépendants (Marché).

- Le processus de l'innovation est incrémental et fondé sur la diffusion et la réutilisation des connaissances disponibles par opposition au processus planifié (Firme) ou formalisé (Marché) par les accords sur la division du travail et/ou sur l'attribution des résultats.

Selon Powell, la présence simultanée de ces propriétés permet de parler d'une forme nouvelle et spécifique qui ne se situe pas, comme le serait une forme hybride entre le Marché et la Firme, dans le continuum entre ces deux formes thématisées en économie. Notamment, la forme Réseau se distingue à la fois du Marché et de la Firme par son caractère émergent et flexible mais intégré.

A partir de ces constats, nous supposons que cette forme pourrait être susceptible de résoudre le dilemme ouverture-intégration et, ainsi, pourrait être

particulièrement adaptée pour la création des connaissances : elle rendrait possible à la fois la circulation libre des connaissances et une certaine intégration des actions. Cette thèse se donne alors comme sa problématique centrale l'étude des capacités productives du Réseau en matière de création des connaissances. Nous nous proposons d'analyser des potentiels et des défaillances éventuelles pour la création des connaissances qu'une telle forme organisationnelle présente. Comme exemple de la coopération en réseau nous utilisons le cas du Logiciel Libre (F/OSS).

Il est important de souligner que la mise en lumière de la nouvelle forme organisationnelle et la contestation d'une vision dichotomique des marchés et des hiérarchies s'explique non seulement par les coûts de production, comme dans la perspective théorique dans laquelle la connaissance est assimilée à un bien public pur, mais aussi et surtout par la nature même de la connaissance. Dans ce qui va suivre, l'approche que nous adoptons pour étudier cette forme nouvelle se base donc clairement sur la compréhension de la connaissance comme non assimilable à un bien public pur.

Dans cette thèse, nous utiliserons principalement les termes génériques comme Réseaux ou encore Commons-Based Peer Production pour désigner cette forme organisationnelle originale. Soulignons simplement que cette forme se base sur la coopération des agents et diffère en cela de la firme et du marché, mais nous éviterons d'utiliser des termes plus spécifiques, dont la définition en économie n'est pas très précise, telle que « communauté » par exemple.

3 Méthodologie de la thèse.

En dépassant la vision de la connaissance en termes de bien public, la thèse laissera de côté le problème d'incitation des agents économiques. Elle se situe ainsi par rapport à une branche « cognitive » de l'économie des organisations. Cette branche regroupe la théorie des compétences et des ressources (Penrose, 1959) ; la théorie

évolutionniste (Nelson et Winter, 1982) ; et les approches « mixtes » plus récentes qui développent des rapprochements théoriques entre les arrangements institutionnels, les routines, les compétences, et les performances de l'organisation [la liste non exhaustive inclut Kogut et Zander (1992, 1996) ; Dosi et Marengo (1994) ; Hodgson (1998) ; Cohendet et Llerena (1999) ; Reynaud (2001)].

Un nombre croissant de recherches académiques se focalise sur la description des propriétés spécifiques de coopération en Réseau. A titre d'exemples, les auteurs citent des industries très diverses : industrie logicielle, pharmaceutique, culturelle, aéronautique, etc. (Powell, 1990). Bien que dans tous ces exemples la collaboration ait des traits originaux de Réseau, les formes qu'elle prend varient des districts industriels ou réseaux numériques aux associations d'artisans, des réseaux formels aux organisations informelles. Il est logique de se demander si ces types de réseaux ont les mêmes capacités en matière de circulation et de création des connaissances. De plus, pour pouvoir distinguer le Réseau comme *une* forme originale, qui pourrait être reproduite dans des industries différentes, il est important de définir les schémas de sa formation et de son évolution.

Ainsi, la variété des formes réelles révèle le caractère trop générique des propriétés proposées pour décrire la coopération en Réseau. Il semble indispensable, pour une description plus profonde des capacités productives des réseaux pour la création de connaissances, de définir, en plus de leurs traits généraux, le contexte de leur émergence et de leur performance (Powell, 1990).

Cette problématique peut être abordée au terme des étapes suivantes. Dans un premier temps, il est nécessaire de mettre en perspective théorique la forme Réseau et de la comparer avec les formes marchandes et hiérarchiques. Dans un second temps, il nous faut définir les arrangements institutionnels qui permettent la mise en œuvre de la production en Réseaux. Nous partons du postulat que toute organisation des agents correspond à une distribution de droits de contrôle, d'accès et d'usage sur la ressource [(Alchian et Demsetz, 1972) ; (Libecap, 1989)]. Les arrangements institutionnels qui

spécifient *ex ante* la distribution particulière de certains droits sont alors vus comme un cadre devant permettre l'évolution de procédures de gouvernance efficaces. Le mode de gouvernance au sein de l'organisation est conçu comme une mise en œuvre d'un système plus ou moins décentralisé qui édicte les règles, les responsabilités et les rôles et les fait respecter (Ostrom, 1990). Une telle analyse conduira à la mise en œuvre d'une typologie des réseaux selon leurs modalités d'émergence et d'évolution. Il reste alors, à la dernière étape de l'analyse, de comparer les capacités productives des différents types de réseaux ainsi identifiés, en termes de leur performance organisationnelle et de leurs capacités à résoudre le dilemme ouverture-intégration.

L'ensemble de ces éléments nous permettra de tirer des conclusions sur les schémas de développement, les conditions de prolifération du Réseau, ainsi que sur son positionnement par rapport aux autres formes organisationnelles.

Choix de l'exemple.

Comme exemple d'une forme de coopération en Réseau ou encore de « Commons-Based Peer Production » cette thèse se propose d'étudier le Logiciel Libre (Free and Open Source Software, nommé F/OSS dans le reste de la thèse).

Avant d'expliquer les raisons de ce choix, il convient de donner un bref aperçu du Logiciel Libre. Le mode de production F/OSS a les traits suivants :

(i) La diffusion des produits se réalise sous forme de code source ouvert ce qui ouvre la voie à une production collective.

(ii) Au cœur du processus de développement réside le principe RERO (Release early, release often). Selon cette approche, l'initiateur du projet élabore une partie du code qui se présente comme une base potentielle de travail. L'idée principale du RERO est d'assurer la participation d'un nombre de co-développeurs suffisamment grand dès le stade initial du développement. RERO suppose également la

réaction permanente des utilisateurs, ce qui permet d'aboutir à un produit plus adapté à leurs besoins[1]. Entre autres, RERO soutient la mise en place du processus d'innovation incrémentale.

(iii) Le code source est protégé par un régime de propriété spécifique - Licences Libres – dont le but est de garantir quatre libertés d'utilisation, de copie, de modification et de redistribution.

(iv) Le travail collaboratif s'effectue principalement au moyen d'Internet, ainsi que, dans certains cas, au moyen d'une « proximité temporaire » (Rallet et Torre, 2001) des participants (réunions, conférences, etc.).

Le choix de F/OSS est dicté par trois raisons suivantes.

1) Importance de l'industrie logicielle.

Tout d'abord, les logiciels occupent une place importante dans l'économie (Horn, 2004). Ils jouent un rôle croissant dans de très nombreux équipements et systèmes de notre vie courante de l'aéronautique à l'électronique grand public. C'est ce qui rend pertinent le choix de ce secteur comme objet de la problématique.

2) F/OSS comme exemple de typologie d'articulations entre le cadre institutionnel et la gouvernance effective.

Ensuite, les projets de F/OSS ont toutes les propriétés générales de coopération en Réseau. Notamment, la mise en commun des ressources se réalise volontairement en absence d'un accord formel ou d'une institution centrale ; la communication est informelle et se base sur les normes de réciprocité et de réputation ; le développement

[1] L'efficacité de RERO peut être illustrée par l'exemple de *Mozilla* : AOL/Netscape ont insisté au début sur le lancement d'une version presque complète, développée par les programmeurs de Netscape, et n'ont pas suivi le principe de RERO, ce qui a conduit à un manque de participation externe et, pendant une longue période, à la stagnation du projet.

est incrémental et n'implique pas une distribution formelle des tâches ; les choix des agents sont interdépendants.

En l'absence d'accords formels comme les contrats de travail, les institutions sont représentées par des licences spécifiques (Licences Libres), et dans certains projets par des conventions de participation supplémentaires. Les Licences Libres sont souvent décrites dans la littérature économique comme régime spécifique de propriété, car par opposition aux droits d'auteur classiques, elles sont destinées à protéger quatre libertés des utilisateurs en matière d'utilisation, de copie, de modification et de redistribution.

Cependant, leur rôle à l'intérieur des projets est peu analysé dans la littérature. Pour aborder cette question, nous recentrons notre analyse sur la distribution de cinq droits (Schlanger et Ostrom, 1992) sur le code source (droits d'accès, d'extraction, de management, d'exclusion et d'aliénation). Certains de ces droits – le droit d'accès et d'extraction – sont bien définis et accordés sans restriction à quiconque indépendamment du rôle joué dans le projet. En revanche, le droit de transformer la ressource n'est pas vraiment défini, sa distribution reste opaque à l'étape d'initiation des projets. La distribution effective de ce droit est alors plutôt le résultat des processus d'évolution et d'auto-organisation dans les projets. Elle désigne la structure relationnelle ou le mode de gouvernance adopté dans les projets. L'ouverture des droits d'usage et de management crée des conditions favorables pour une innovation dynamique : l'absence des contraintes formelles - telles que la définition et la distribution des tâches et des heuristiques, le timing ou la présélection des participants - ouvre la voie pour la mise en commun des connaissances hétérogènes et distribuées et donne lieu à une innovation plus créative. D'après l'enquête réalisée par Nicolas Auray et Michael Vicente, ENST (2005), les développeurs du Logiciel Libre soulignent les avantages importants des conditions de travail ainsi établies. Voici quelques réponses parlantes obtenues pendant l'entretien.

Entretien des développeurs (Auray et Vicente, 2005) :

« C'est totalement différent du développement professionnel où les features viennent du marketing, là, les features viennent de là où les gens en ont besoin, et les délais c'est quand c'est fini ça rentre dedans, et je pense le gros avantage du Free c'est quand les features arrivent par rapport aux applications commerciales, elles ont généralement une qualité et une finition qui n'a généralement rien à voir… Parce que ça n'a pas été fait dans des délais.., enfin la culture du développement professionnel, c'est les deadlines irréalistes, le crunch à la fin pour faire rentrer le truc, qu'on doit réaliser en release et quand on release, c'est en l'état quoi, et on laisse les clients debugger, c'est souvent un peu le cas,…, il y a la question surtout qu'on est pas pressé, il y a personne pour presser, il n'y a pas de gestion de projet, il n'y a pas de project manager, bah il n'y a pas de hiérarchie en fait. Il y a personne pour me pousser dans une direction, il y a des droits de veto, clairement des développeurs les plus seniors, qui sont là depuis longtemps donc, qui vont bloquer les features ou les modes d'implémentation. » Rohee développeur OpenBSD.

« Ce qui est spécifique à l'informatique, c'est que c'est un travail créatif, donc on est plus attaché à ce qu'on fait on y a mis plus de soi, c'est proche de l'art dans ce cas là plus que de l'industrie classique. » Stéphane développeur Debian.

« J'ai une formation de développeur. Mais je me suis rendu compte au niveau professionnel, le développement c'est autre chose que Open Source. C'est-à-dire que les demandes sont pas les mêmes. Je suis plutôt rigoureux, j'aime bien que le code soit bien fait qu'il soit de qualité, je n'aime pas faire des choses dans l'urgence. J'aime bien que le code soit planifié, qu'il soit maintenable. Je me suis rendu compte que dans le monde réel en pratique généralement tu as toujours l'inverse. C'est à dire tu as toujours le code au dernier moment, tu es toujours sous pression, tu ne prévois pas le futur de ton application, comment elles risquent de se développer donc tu ne prépares pas les choses. Tu es souvent obligé de casser du code.» Damien développeur OpenBSD.

La distribution des droits d'exclusion et d'aliénation est définie par les institutions formelles et varie au cas par cas. En particulier, selon le type de licence choisie, « copyleft » ou « non-copyleft », le droit d'aliénation accordé aux contributeurs peut être plus au moins restrictif. De leur côté, les clauses des conventions de participation déterminent si le droit d'exclusion appartient aux contributeurs ou s'ils doivent renoncer à ce droit en faveur de l'initiateur du projet.

Le fait que le cadre institutionnel représenté par les Licences Libres est variable d'un projet à l'autre met en évidence l'existence des modalités diverses d'émergence et d'évolution des réseaux, et nous permet d'étudier leur typologie.

3) F/OSS comme alternative à la modularisation organisationnelle.

Enfin, le modèle du F/OSS représente une alternative productive dans l'industrie logicielle où le produit à développer a des caractéristiques du système complexe (Marengo *et al.*, 2005; Dosi *et al.*, 2000; Marengo *et al*, 2000; Dosi *et al.*, 2006). Ce sont les produits constitués de multiples composantes, interdépendantes entre elles. De ce fait, les problèmes de création, de transmission et de reproduction des connaissances sont redoublés par la complexité technique du produit spécifique à cette industrie.

Dans l'industrie logicielle le spectre des formes organisationnelles conventionnelles comprend les organisations fortement et faiblement couplées aux extrêmes et l'ensemble des formes hybrides dans l'intervalle. C'est-à-dire, la *modularisation organisationnelle* définit le passage entre la Firme et le Marché. La modularisation implique la décomposition du système en sous composantes, qui peuvent être développées d'une manière indépendante grâce à une mise en place des règles de communication standardisées [*cf.* (Baldwin et Clark, 2000) ; (Sanchez et Mahoney, 1996)].

D'une manière générale, un système logiciel représente un ensemble de programmes liés entre eux par des règles de communication ou interfaces techniques (API – Application Programming Interface). L'interface technique de communication ou les règles de communication sont un ensemble de protocoles nécessaires pour développer des composantes interopérables et qui assurent le partage des fonctions entre ces dernières. Il s'agit donc de la définition de la manière même dont les composants communiquent entre eux.

La standardisation consiste dans la spécification des interfaces de communication entre les unités matérielles et les applications logicielles – à l'instar des plates-formes logicielles comme les systèmes d'exploitation ; et entre le système d'exploitation et les applications – par exemple, les systèmes de gestion de contenu. Le choix d'un degré de modularisation et le passage de l'organisation fortement

intégrée à la forme faiblement intégrée se traduit par le choix du niveau optimal d'ouverture d'un standard pour, d'un côté, assurer l'adoption de ce standard par les autres producteurs - et *in fine* par les utilisateurs, - et, d'un autre côté, ne pas en perdre le contrôle pour maximiser les profits (West et Dedrick, 2001).

La modularisation organisationnelle, en tant qu'une voie possible pour gérer la complexité, correspond à la situation où le décideur construit la représentation du problème à résoudre et prévoit les formes de décompositions organisationnelles nécessaires pour le développement du système (Dibiaggio, 1999). Le processus d'innovation est de nature délibérée et séquentielle et relève de l'action individuelle : le développement du système se déroule conformément aux décisions du concepteur de ce système. En d'autres termes, à l'origine du concept de modularité se situe l'approche « instrumentaliste » (*cf.* ci-dessus, section2 de cette *Introduction*).

De ce point de vue, les approches par la modularisation organisationnelle et la standardisation (qui vont ensemble), semblent être insuffisantes au moins pour deux raisons. Premièrement, les standards contraignent les heuristiques de recherche et d'apprentissage et entravent, de ce fait, l'innovation. Deuxièmement, le manque d'interactions entre les agents empêche la création de nouvelles connaissances, mais aussi, augmente le risque de comportements incohérents de la part des agents. Ceci peut éventuellement figer tout le processus d'innovation, car les actions des agents sont interdépendantes (*cf.* ci-dessous, *Introduction* de la *Partie I*).

En revanche, le F/OSS n'implique pas un standard préalable à la production, car la modularisation et la standardisation se forment et évoluent au cours du processus de développement et des interactions des agents. Il représente alors une approche alternative à la modularisation pour gérer la complexité. L'approche du F/OSS correspond à une forme d'innovation « émergente » (par opposition au processus délibéré et séquentiel) : le contenu, la structure et la nature d'innovation se déterminent dans le même mouvement que la mise en place d'un collectif.

Organisation de l'analyse.

Partie I. Trois organisations « pures » pour développer les produits et systèmes complexes.

Dans la première partie nous développerons un modèle théorique de jeu, dont l'objectif est l'étude des formes organisationnelles – la Firme, le Marché et la coopération en Réseau - adaptées pour le développement des produits et systèmes complexes.

Le choix de la théorie des jeux se justifie par le fait qu'elle fournit un cadre formel pour modéliser le comportement et les croyances des agents, cadre qui est plus exigeant que la théorie de la décision classique : dans ce cadre, il faut attribuer à l'agent économique une information et/ou une croyance sur le comportement des autres joueurs, en plus de l'information ou de la connaissance relative aux événements. Ainsi, pour les objectifs de notre analyse la théorie des jeux permet d'aborder, au moins partiellement[2], les aspects épistémiques des comportements des agents. A ce titre, la théorie fournit un cadre formel pour modéliser et comparer les formes différentes de l'innovation.

D'un point de vue théorique, le modèle démontre que pour enrichir l'analyse des formes organisationnelles en jeu dans le développement des produits et systèmes complexes, le choix entre la forme ouverte (Marché) et fortement couplée (Firme) doit être complété par l'étude d'une troisième forme apparemment plus flexible, celle de la coopération en Réseau. Selon nos résultats, cette troisième forme est, dans la plupart des cas, relativement plus efficace. Cependant, si pour une certaine raison les actions des agents comportent un manque de cohérence, cette forme aboutit à de mauvais résultats. Cela révèle le problème du risque important associé à la mise en place de cette forme organisationnelle.

[2] Dans notre cas, une des limites principales de l'utilisation de la théorie des jeux est l'impossibilité de la prise en compte de l'incertitude et de la complexité liées à la réalisation du choix initial de la forme organisationnelle par les agents. Néanmoins, cette méthode nous permet de formaliser la complexité au stade du développement de produit, ce qui constitue l'objet principal de notre analyse.

Les parties suivantes se concentrent sur l'analyse de la forme de coopération en Réseau.

Partie II. F/OSS comme exemple de coopération en Réseau : Les modalités de gouvernance et leur lien avec le cadre institutionnel formel.

La deuxième partie s'interroge sur le rôle des arrangements institutionnels pour le développement de coopération entre les agents *a priori* indépendants. Nous procéderons par le développement et l'étude d'une base de données inédite comprenant 69 projets du F/OSS.

Précisément, l'hypothèse testée dans cette partie est que la distribution des droits de propriété, spécifiée dans les dispositifs formels (les licences et les conventions de participation), influence la structuration des interactions et la mise en place d'une gouvernance plus ou moins décentralisée, voire participative.

Cette analyse met en lumière une articulation entre les droits de propriété (droits d'exclusion et d'aliénation) et la gouvernance effective (droit de management). C'est ce constat qui nous permet de soutenir l'idée que les modes de l'évolution de coopération ne sont pas complètement imprévisibles mais qu'ils sont prédéterminés, d'une certaine manière, par les arrangements formels mis en place. Notamment, nous montrerons qu'en fonction de la distribution des droits d'exclusion et d'aliénation entre les participants, les réseaux se traduisent par des degrés très différents de décentralisation de gouvernance.

Cette étude nous permettra de faire une typologie des Réseaux, représentée comme les configurations différentes des arrangements institutionnels et des modes de gouvernance associés, au sein du F/OSS. Aussi, notre analyse permettra d'expliquer certains résultats des études précédentes sur F/OSS, qui soulignent que les formes de gouvernance dans les projets du libre varient considérablement d'un projet à l'autre [*inter alia* (Cox, 1998); (Mockus *et al.*, 2000, 2002); (Moon et Sproull, 2002)].

Partie III. Les modalités de gouvernance et l'efficience de Réseau.

La partie précédente montre qu'au sein des réseaux, les modalités diverses de gouvernance, plus au moins (dé)centralisées, ont lieu. Ainsi, conçu comme une forme extrêmement flexible et ouverte aux contributions externes, le Réseau n'a pas nécessairement ces propriétés en pratique. Par exemple, assez souvent, le processus du développement est sous le contrôle de l'initiateur du projet, dont les décisions sont alors prédominantes dans le projet. Dans l'optique du dilemme ouverture – intégration, lié à la nature de la connaissance, ces variantes de la structure de l'instance de décision représentent alors des solutions différentes, tant en ce qui concerne l'ouverture que l'intégration.

Nous montrons que chacun des modes de gouvernance possède des avantages et des contraintes comparatifs. Par exemple, la gouvernance très décentralisée procure des facultés pertinentes de création des connaissances mais constitue le choix le plus risqué : l'ensemble des conditions à satisfaire n'est pas forcément contrôlable par les agents. En particulier, un tel réseau nécessite plus de temps, ainsi que des contributeurs plus nombreux et des efforts importants de leur part. Au cas où ces conditions ne sont pas satisfaites, ce type de réseau peut avoir une performance moindre que celle des types moins décentralisés.

Par ailleurs, nous remarquons que les types de Réseaux avec l'engagement plus faible des contributeurs externes ont certaines caractéristiques semblables aux formes propriétaires et marchandes. En particulier, ils ressemblent aux formes conventionnelles, pour ce qui concerne leurs capacités productives, telles que mises en lumière dans notre modèle théorique (Partie I).

Dans cette dernière partie, nous mobiliserons la même base de données que dans la partie précédente en y ajoutant les données sur la performance de chaque projet. Pour évaluer la performance des projets nous utilisons la métrique « Rank » prenant en compte la popularité des projets auprès des utilisateurs et l'activité dans les

projets. En d'autres termes, Rank est une mesure qui représente l'efficacité relative des projets du F/OSS.

4 Contribution de la thèse.

► Une des conclusions importantes de notre analyse concernera le lien entre la distribution des droits d'exclusion et d'aliénation, définie par les institutions, et la structure effective de gouvernance dans les projets. Sans éliminer le caractère émergent et la nature évolutive et auto-organisée de la gouvernance, les institutions formelles, néanmoins, encadrent la variété des « règles-routines » qui peuvent être employées dans le processus de développement. Elles jouent ainsi le rôle des « règles-contraintes » dans les projets de F/OSS en influençant et en orientant la formation et l'évolution de la gouvernance effective (cf. *Introduction* de la *Partie II*).

A partir de là, nous affirmons qu'au moins dans le cas du F/OSS les schémas de formation des réseaux ne sont pas purement idiosyncrasiques et irréplicables, car le choix d'un cadre institutionnel a une influence importante sur la structuration des relations au sein de ces réseaux. En particulier, lorsque tous les agents prenant part au processus du développement possèdent et maintiennent l'ensemble des droits sur la ressource commune, apparaissent les conditions favorables pour la mise en place d'un mode de gouvernance décentralisée (dans ce cas le droit d'exclusion est distribué et le droit d'aliénation est restrictif, ce qui permet de préserver les droits des contributeurs sur les créations dérivées). *A contrario*, si par exemple le droit d'exclusion est concentré dans les mains de l'initiateur de développement, les modalités de gouvernance évoluent vers la centralisation.

► Notre analyse confirmera que la mise en place d'un mode de gouvernance émergente mais encadrée par les institutions, joue un rôle extrêmement important face à l'incertitude et la complexité élevée, en assurant la cohérence des comportements des contributeurs et l'intégration de l'innovation.

1. Le mode de gouvernance très décentralisé, où les nouveaux contributeurs participent au développement au même titre que l'initiateur du projet, procure un potentiel de création des connaissances très élevé. De ce fait, une telle forme organisationnelle semble être la plus adaptée pour la création de connaissances. Cependant, elle ne peut proliférer que si l'on dispose d'un temps suffisamment long pour la structuration du collectif et si, en plus, un nombre suffisant de participants et de contributions de leur part est assuré. Si l'un de ces critères n'est pas satisfait, l'innovation n'aboutit pas à des résultats performants. Il en résulte qu'une telle organisation est très risquée, quoique efficace.

2. Lorsque l'initiateur assure lui-même une partie importante du développement, la performance dépend positivement du nombre des participants, mais elle ne dépend pas de leur productivité. Ceci s'explique facilement par le fait que les participants externes ne sont pas totalement intégrés dans le processus de développement et ne partagent pas entièrement la connaissance systémique. Il en résulte que les contributions de l'extérieur ne sont pas toujours de très bonne qualité du point de vue du système global, dont les composantes sont interdépendantes. Bien que la visibilité du processus de développement soit élevée, le manque de coordination entre les contributions fait qu'elles ne vont pas forcément dans le sens de compléter le système. Par ailleurs, par rapport au premier cas, la performance est plus facilement réalisable indépendamment du temps imparti. En somme, ce mode de gouvernance a comme résultat une performance plus stable et plus facile à prédire mais moins importante comparée au mode décentralisé.

3. Finalement, lorsque le mode de gouvernance est centralisé, et de nouvelles contributions sont permises à la périphérie uniquement, l'initiateur doit disposer d'un temps et d'une productivité importants, en tous cas suffisants pour atteindre une performance satisfaisante. Le problème d'intégration est éliminé au prix de la diversité des connaissances et, enfin, de la performance organisationnelle. Comme dans le deuxième cas, la performance est néanmoins plus stable que dans le cas du mode de gouvernance très décentralisé.

► Un aspect important consistera dans l'articulation entre cette forme organisationnelle particulière qu'est la coopération en Réseau et les formes conventionnelles que sont le Marché et la Firme. Le Logiciel Libre présente une diversité de schémas de gouvernance qui se rapprochent plus ou moins de la coopération décentralisée au maximum.

1) Par exemple, un réseau peut présenter des caractéristiques semblables à une forme marchande modulaire si l'initiateur contrôle plus de la moitié du code source créé et introduit dans son système certaines contributions externes, dont les créateurs ne sont pas pleinement intégrés dans le développement. Dans ce cas, un certain niveau de performance peut être atteint assez rapidement, car la coordination est simplifiée et les interactions sont minimisées grâce à la spécification des interfaces techniques. Cependant, dans ces conditions, le risque de se retrouver pris au piège de la modularité entièrement « standardisée » augmente et ne permet pas de profiter pleinement de l'hétérogénéité de connaissances et de compétences.

2) Lorsqu'au sein du projet, l'initiateur réalise tout le développement principal (par exemple, le code source) et recourt à des contributions externes uniquement pour des tâches supplémentaires (par exemple, tests et rapports de bogues), un tel réseau acquiert des éléments de hiérarchie et des traits qui le font tendre vers le mode de production propriétaire. Dans ce cas, le risque d'être pris au piège de la modularité est éliminé, car l'initiateur possède la connaissance systémique. Cependant, l'innovation réalisée quasiment en interne exige un temps important et n'aboutit pas à des résultats aussi performants que, par exemple, le réseau « pur » décentralisé. De plus, la réalisation des rendements d'échelle est impossible : que le projet soit initié par une ou par plusieurs personnes agissant de la même manière au titre d'initiateurs et réalisant le cœur du développement, ne change pas la performance finale du projet.

En somme, lorsque le mode de gouvernance prend des formes particulières en acquérant des éléments des organisations hiérarchique ou marchande et en s'éloignant

du réseau « pur » décentralisé, les conditions de prolifération de tels réseaux « impurs » se rapprochent elles aussi de celles des formes conventionnelles.

► Il est important de souligner que, malgré certains traits qui peuvent tendre vers les formes marchande ou propriétaire, l'organisation des réseaux « impurs » est, néanmoins, de nature foncièrement différente à la fois du Marché et de la Firme et conserve toutes les propriétés générales du réseau. Ce point mérite une explication.

Dans le cas qui nous intéresse, nous avons affaire à l'effet conjugué de l'ouverture et la visibilité complète du processus de développement, et de l'absence de distribution des tâches. De ce fait, même en n'étant pas totalement intégrés dans le développement, les participants externes ont néanmoins accès à la connaissance systémique et partagent, dans une certaine mesure, la représentation du problème. Cela se manifeste au moins à deux niveaux, liés entre eux :

1) Tout d'abord, même les participants « périphériques » peuvent influencer, ne serait-ce qu'indirectement, la conception générale en apportant leur contribution sous forme de rapports de bogues et de commentaires. La nature de ces interventions est foncièrement distincte d'un simple rapport de bogues automatisé qui peut aussi être présent dans les logiciels propriétaires car ils comprennent et nécessitent le plus souvent une vision d'ensemble de l'architecture.

2) De manière plus fondamentale, même si un agent se situe en périphérie, l'ensemble de la conception lui est connu. Ainsi, l'heuristique de la résolution des problèmes n'est pas limitée à une tâche ou à une composante particulière et la teneur de sa contribution en garde la trace. De ce fait, l'instance « centrale » bénéficie de cette circulation de connaissances et l'intègre dans le développement.

A contrario, par exemple, dans le cas de la Firme conventionnelle, à supposer que l'on ouvre l'accès à l'ensemble du développement à l'ensemble du personnel, il reste vrai que l'imposition de la répartition des tâches inhérente à la Firme ferme *de facto* l'heuristique de recherche personnelle et collective.

En d'autres termes, dans le cas des projets Libres, le cœur et la périphérie sont liés au niveau de l'interdépendance logicielle (contrairement au cas de la standardisation/indépendance et de la firme/dépendance) *et* au niveau de la connaissance dont les agents ont besoin pour agir, ne serait-ce qu'en périphérie. Les projets Libres constituent donc une forme organisationnelle indépendante, qui n'est pas simplement une forme hybride entre la Firme et le Marché.

PREMIÈRE PARTIE

Trois organisations « pures » pour le développement des produits et systèmes complexes.

I.1 Introduction de la première partie.

L'incertitude et la complexité sont deux caractéristiques du contexte de l'innovation. Le concept de complexité occupe aujourd'hui une place importante dans les disciplines diverses - telles que biologie, sociologie, économie, etc. Une définition canonique de la complexité a été donnée par Simon (1962) :

> "By a complex system I mean one made up of a large number of parts that interact in a nonsimple way. In such systems, the whole is more than the sum of the parts … in the important pragmatic sense that, given the properties of the parts and the laws of their interaction, it is not a trivial matter to infer the properties of the whole."

Cette définition introduit l'idée que la complexité et l'incertitude forment un couple indissociable : il est impossible de prévoir à l'avance les répercussions qu'une intervention ponctuelle, au niveau des parties, peut avoir sur l'ensemble de la structure. Pour gérer la complexité, l'approche modulaire est souvent considérée comme efficace (Langlois, 2002).

La littérature économique utilise le concept de modularisation pour définir le design technologique des produits et le design organisationnel en industrie [*cf.* (Ulrich et Eppingler, 2000) ; (Langlois, 2002)]. Cependant, la problématique de modularisation dans le processus de recherche et de développement est encore insuffisamment thématisée (von Hippel, 1990). Dans la première partie de notre thèse nous montrons que lorsqu'il s'agit des processus d'innovation, l'approche par modularisation rencontre des limites importantes.

Nous commencerons par un bref aperçu du concept de modularité en économie. Aoki et Takizawa (2002) proposent la définition suivante de modularisation :

> “Modularization” refers to decomposing a complex system or process, based on the connective rules, into quasi-autonomous subsystems that can be designed independently. “Modularity” is to construct a complex system or process by integrating these subsystems (modules) based on the connective rules”.

La notion de modularité comprend au moins deux aspects : (i) la modularité technique ; (ii) la modularité organisationnelle. Ces deux aspects sont liés, mais la modularisation des produits n’entraîne pas forcement la modularité organisationnelle [(Depeyre et Dumez, 2006) ; (Brusoni et Prencipe, 1999)]. Cette dernière exprime l’idée de division du travail cognitif.

La problématique de cette thèse se structure autour de l’innovation collective, c’est donc principalement la modularisation organisationnelle qui nous intéresse ici. Pour discuter les côtés pertinents et les échecs éventuels de la modularisation pour le développement de nouvelles technologies, il est particulièrement utile de la représenter comme un processus (Figure 1)**.**

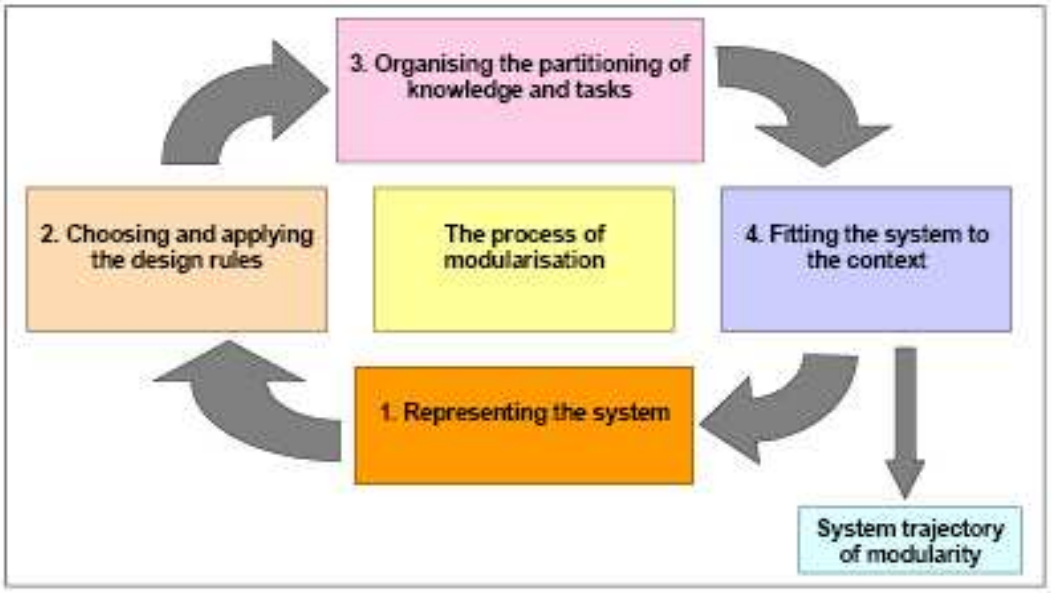


Figure 1 Processus de modularisation

Source : Calcagno, 2002

Selon la conception proposée par Calcagno (2002) le processus de la modularisation s'articule autour de quatre phases :

1. La représentation du système, c'est-à-dire, la définition des fonctionnalités, des composantes, et des relations entre les composantes dans le système.

2. Le choix et l'application des règles de communication entre les composantes, ou « visible design rules » (Baldwin and Clark, 1997), qui permettent aux composantes de fonctionner harmonieusement.

3. La distribution des tâches entre les agents.

4. L'adaptation du système.

La modularisation organisationnelle traduit l'idée de désintégration verticale de l'organisation : une entreprise verticalement intégrée qui réalisait en interne la totalité des étapes nécessaires à son activité (conception, production, distribution, etc.) procède alors par une délégation aux fournisseurs et aux sous-traitants d'une partie de ces tâches jugées non stratégiques ou périphériques au cœur de métier. Dans cette optique, le producteur du système opère un choix entre développer l'ensemble des composantes – le cas d'une organisation « fortement couplée » ; ou utiliser les composantes externes – le cas d'une organisation « faiblement couplée ». Cette démarche se traduit par la standardisation des règles de communication entre les composantes et l'ouverture de la division du travail cognitif sur l'extérieur.

La modularisation peut être de degrés différents [*cf.* (Schilling, 2000) ; (Brusoni et Prencipe, 2001)]. Le degré de modularisation est prédéterminé essentiellement par le niveau de standardisation des règles de communication qui définira, en fin de compte, l'organisation industrielle. Plus les règles sont standardisées, plus la concurrence entre les fournisseurs des composantes, mais aussi entre les « concepteurs » des systèmes est élevée (Depeyre et Dumez, 2006). En

d'autres termes, la conception du développement tend vers l'organisation faiblement couplée de type Marché.

Au sein de ce processus la modularisation et l'ouverture sur l'extérieur concernent alors principalement les *trois dernières phases* et, comme nous allons le voir, ce point ne va pas sans poser de problèmes pour la création de connaissances nouvelles.

Certes, le choix de l'organisation modulaire fournit des avantages importants. En particulier, il rend possible une réduction importante du temps consacré aux apprentissages collectifs, une limitation des échanges et des interactions entre agents et, par conséquent, des coûts de coordination faibles. La modularisation peut favoriser alors la spécialisation en permettant une certaine accélération du rythme de l'innovation.

Cependant, elle est confrontée à ses propres limites face au problème de l'intégration du développement (Aoki et Takizawa, 2002). Notamment, dans le cas des systèmes complexes, la modularisation organisationnelle et la coordination simplifiée grâce à standardisation, se réalisent au prix de l'optimisation de l'ensemble du système. Lorsqu'il s'agit d'une technologie nouvelle, les défaillances de modularisation deviennent encore plus évidentes. Parmi les problèmes intrinsèques de cette forme d'innovation soulignés dans la littérature, les aspects suivants nous semblent être les plus importants :

a) Les standards figent le développement technologique, car « tout composant devient, tôt ou tard, un goulot d'étranglement technologique » (Depeyre et Dumez, 2006). La connaissance systémique, plutôt qu'une encapsulation des connaissances, est nécessaire pour recommencer un nouveau cycle technologique, avec une nouvelle architecture et de nouvelles règles de communication. Cela conduit, à un moment donné, à un phénomène de piège de modularité, « modularity trap » (Chesbrough, 2003b).

b) Le degré de standardisation élevé contraint les heuristiques d'apprentissages et de recherche, car la structure des activités de résolution du problème est fixée à l'avance lors de la première phase de modularisation (lors de la représentation du système). La standardisation conduit aussi à une convergence cognitive excessive des agents : le partage du même langage et des codes induit la mise en place d'interprétations semblables. Cela conduit à une perte de diversité de la connaissance (Vanhée, 2008).

c) La modularisation organisationnelle induit une réduction importante des interactions, des échanges de connaissances entre les parties et leur apprentissage mutuel. Ce sont, cependant, ces mêmes aspects qui représentent les opportunités de créations de nouvelles connaissances (Nonaka et Takeuschi, 1995).

L'on pourrait alors supposer qu'une standardisation « modérée » et une modularisation organisationnelle hiérarchisée, puissent être susceptibles de résoudre un certain nombre des problèmes évoqués ci-dessus [*cf.* (Jacobides et Billinger, 2006)]. Le « coordinateur central », la firme, ayant développé des capacités d'absorption (Cohen et Levinthal, 1990) nécessaires pour maîtriser l'ensemble de compétences, prend un pouvoir au sein de l'organisation, développe l'architecture de l'interaction entre les parties, et gère ainsi le partenariat d'innovation.

Cependant, la mise en place d'une telle organisation « modérément » modulaire implique, pour l'architecte du système, de supporter les coûts fixes significatifs en capacité d'absorption et ce, en amont de la production.

De plus, et cet aspect nous semble être essentiel, même si cette forme propose éventuellement une solution aux problèmes du piège de modularité et du manque d'échanges et de coordination, elle ne permet pas d'atténuer les convergences cognitives imposées par la modularisation. En effet, les activités de la recherche et du

développement au sein d'une telle structure sont contraintes par les décisions du coordinateur central, dont la vision du problème est toujours partielle et unilatérale.

Il semble alors légitime de se demander si la division du travail cognitif, et ce dès la *première phase* de la conception générale du système, constituerait une réponse aux défaillances des deux types d'organisations, fortement et faiblement couplées. Une telle approche, désignée dans ce texte par coopération en Réseau, supposerait l'émergence et l'évolution des règles de communication et de la structure du système au cours des interactions entre les agents. De ce fait, en l'absence d'une conception du développement fixée à l'avance, la structure modulaire et la standardisation, qui vont de pair, émergeraient de façon évolutive et *bottom-up*. En somme, la coopération en Réseau repose sur la création de nouvelles complémentarités entre les connaissances individuelles, qui se structurent au cours des interactions.

Face aux problèmes intrinsèques des formes fortement et faiblement couplées, évoquées ci-dessus, la coopération en Réseau se propose comme une alternative productive. Tout d'abord, l'apprentissage mutuel permettrait la mise en place des capacités d'absorption collective et, en conséquence, la réduction significative des coûts fixes du développement de la connaissance systémique tout en préservant l'adaptabilité du système. Cette forme permettrait alors de dépasser le problème potentiel du piège de modularité (point (a) ci-dessus). Ensuite, étant donné qu'aucune limite ne serait imposée à la circulation des connaissances entre les agents, la voie s'ouvrirait aux innovations plus efficace, tout en contrecarrant la perte potentielle de la diversité des connaissances (Vanhée, 2008) (points (b) et (c) ci-dessus). Finalement, la représentation du système - la *première phase* de modularisation, non partagée entre agents dans les organisations conventionnelles - sera partagée, ce qui devrait assurer l'intégration du développement.

Dans cette partie, nous nous proposons d'étudier si, dans le cas précis des systèmes complexes, la forme Réseau représente une alternative viable en permettant de pallier à la fois les défaillances du Marché et celles de la Firme.

Nous analyserons cette question au moyen d'un modèle théorique du jeu. Ce modèle a été développé en collaboration avec Anton Bondarev, doctorant du laboratoire EBIM International Research and Training Group (Bielefeld), et Denis Fomchenko, doctorant de Institute for the Economy in Transition (Moscou).

Nous distinguons trois formes organisationnelles en fonction de la présence/absence et de la nature des liens entre les agents dans le processus du développement du système complexe :

1) Un extremum est représenté par une organisation fortement couplée (*tightly-coupled*) où le développement du système se réalise en interne sans le recours à des connaissances externes. Cette forme se rapproche de la firme traditionnelle. Cette organisation est nommée dans le texte « Stand-Alone Strategy ».

2) L'antipôle est représenté par la forme faiblement couplée (*loosely-coupled*). Cette forme implique une certaine interaction minimale entre les agents au moyen d'un standard commun, mais les agents agissent de manière indépendante : les agents développent chacun leur propre système, mais, grâce à la standardisation, peuvent utiliser les composantes des autres agents. Cette forme désigne le marché ouvert, forme d'organisation nommée « Exchange Strategy ».

3) Nous modélisons également une troisième forme organisationnelle, qui implique l'interdépendance des agents qui participent au même titre au développement du système commun et qui ne peuvent pas contrôler les actions des autres agents. Cette forme désigne l'innovation émergente, l'organisation nommée « Cooperation Strategy ».

Pour chacune des trois formes, nous formalisons la fonctionnelle d'un agent représentant la valeur du système au moment terminal du développement. La valeur du système est définie dans le modèle comme la différence entre la performance finale du

système et l'ensemble des efforts dépensés pour atteindre une telle performance. Ensuite, nous proposons que l'efficacité d'une stratégie choisie par un agent dépende aussi de la stratégie de l'autre agent. Ainsi, nous formulons un jeu statique (3x3) pour analyser les combinaisons des choix stratégiques. Cela nous conduira à des conclusions sur les efficacités relatives des trois formes d'organisation « pures » pour le développement des systèmes de complexité différente.

L'originalité de ce modèle consiste dans l'introduction dans l'analyse des organisations à la fois du concept de complexité du système, des ressources organisationnelles et des choix stratégiques, éventuellement interdépendants, des agents. Plutôt que de privilégier une seule organisation, cette approche nous amène à discuter l'efficacité relative de chacune de ces formes ; efficacité qui, comme nous le montrons, dépend des conditions concrètes en place.

I.2 Organizational Design and Agents' Strategies

Introduction

In fast-growing industries characterised by rapid technological progress, modularity in product and organizational design has become a competitive priority for economic agents. Modularization refers to two interrelated processes. The first one is the decomposition of a product system (i.e. products made of interacting components) into quasi-autonomous modules that may be produced independently by different agents. The second one is the specification of shared (communication) rules, i.e. rules defining functional relations between components and making them compatible with each other. Realization of both processes makes possible progress in division of labour among agents and vertical disintegration in system's design and execution (Ernst, 2005). The concept of modularity and a shift from "closed", tightly-integrated, organization towards "open", loosely-coupled one, are subjects of extensive discussion in the economic literature.

In an integrated organization, manufacturer carries all the development and research costs and, as a result, risks to face "technological failure" - e.g. investments in an inferior technology. The openness of development process offer many strategic opportunities such as the possibility to develop product variations, greater productivity from automation, etc. However it has some important drawbacks especially for the complex systems development. The main feature of complex systems is that "contribution of each of the component to the overall solution depends… on the state assumed by other components" (Marengo *et al.*, 2000). Dynamic development process "derives from coordinating a large number of interacting and interdependent entities" (Marengo *et al.*, 2005). So, decomposition of a complex system into independent modules can hinder the whole system development for the reason of "coordination failure".

What drives the choice for modular organizational form? Why in some industries the adoption of the modular approach is more successful than in others? A growing body of empirical researches in different fields [i.e. automobiles (Nevins and Whitney, 1989), personal computers (Langlois and Robertson, 1992), software (von Hippel, 1994), etc.] does not provide an unanimous answer to this "openness - integration" dilemma. Moreover, in many industries different organizational forms successfully co-exist (e.g. software industry) what proves that the very question of which form is better suited needs to be somehow reformulated.

The current paper contributes to the discussion on potential of modularity in organizational design for the development of complex systems. We propose a game-theoretic model in the dynamic setting which points the choice of a particular organizational form by independent agents in a given industry. Accordingly, the choice of a form is assumed as an agent's strategy. Among the factors influencing the agents' choice the model takes into account the aspects already discussed, but also some new aspects rarely emphasised in the literature. Already discussed factors include: level of system's complexity; organizational resources (i.e. agent's own capabilities and capabilities of other agents in the industry); and time horizon at the manufacturer's disposal to produce a system (the time horizon is assumed as being related to the degree of competition in the industry). In addition to these factors the model proposes to extend the range of possible agent's strategies: together with strategies "to open" or "to integrate", we study the strategy "to cooperate" and an associated network-like organizational form. Finally, we assume that the strategic choice of an agent is impacted by the choices made by other agents in the industry.

The paper stresses important insights. Firstly, despite that the level of complexity determines to an important degree the agents' strategies it is not the only criterion. Depending on particular conditions both highly modularized forms and highly integrated can be efficient. Secondly, extending the discussion towards more subtle strategies, e.g. the one of cooperation, enriches the analysis. The paper substantiates that at least two forms of "openness" can be distinguished – market-like

openness and network-like openness based on cooperation. These open forms provide very distinct opportunities comparing them with each other and with “closed” form. Finally, we found out that the strategy to cooperate while being often the most attractive in terms of the system’s performance and the agents’ payoff is however the most risky choice.

In the first section (1) we sketch out the theoretical background of the modularity literature and the alternative theories. The second section (2) describes the model. The third section (3) introduces the static game of the strategic choice. In the fourth section (4) we present the model’s results and the key findings. In conclusion we discuss some shortcomings of our study and future extensions of the model.

1 Modularity and Complex Product Systems

The concept of modularity appeared in the economic literature in the early 1960s and was largely inspired by Herbert Simon’s argument for “decomposability” (Simon, 1962). This paper uses the following definition of modularity: “A “module” is a quasi autonomous subsystem, which constitutes a more complicated system or process by being combined with other similar subsystems through certain connective rules (interface rules). “Modularization” refers to decomposing a complex system or process, based on the connective rules, into quasi-autonomous subsystems that can be designed independently” (Aoki and Takizawa, 2002).

Initially, studies on modularity were focused on product manufacturing and design [see, for example, (Starr, 1965)]. Further investigations on the subject [e.g. (Sanchez and Mahoney, 1996), (Langlois, 2002), (Sturgeon, 2002), (Baldwin and Clark, 2000)] have put forward a product-organization convergence: the overlapping process between the design of a product and the design of organizations and industries.

There are three central propositions these studies are based on. Firstly, the design rules an organization adopts for creating a product constrain feasible organization designs which can be adopted for producing this product – i.e. "products design organizations" (Sanchez and Mahoney, 1996). Secondly, thanks to the knowledge codification enabled by the information and communication technologies, full specification and standardization of communication rules that make up modular architecture is possible [(Arora *et al.*, 1997), (Sanchez and Mahoney, 1996)]. Finally, this common standardized interface plays the role of embedded coordination mechanism enabling effective coordination without tight-coupling of producers.

The modularity literature argues that, by means of standardized interface, agents make their components basically compatible with components produced by others. This way, independent systems' manufacturers can benefit from the open exchange of components. By recombination of existing modular components ("mix and match") (Sanchez, 1995), development process responds more rapidly to changing environment and technological failure can be avoided. According to this literature, any technology evolution proceeds from tightly-coupled to open modular forms of organization, and these modular forms may represent the stable final state of any industry.

Such strong predictions suggested by the modularity literature as well as the lack of unanimous confirmation from empirical researches, gave rise to alternative theories focusing on "open innovation" and dynamics of modularity [(Chesbrough, 2003a,b); (Christensen, 2002)]. Opponents to the modularity literature stress two important points.

Firstly, modularity in product design is a necessary but not a sufficient condition for modularity in organizational design. Organizational modularity implies the crossing of firm's boundaries which is possible only under some specific conditions: knowledge diffusion, shared language, verification and supplier chain [see (Chesbrough, 2003b), for a detailed discussion]. These criteria determine whether product modularity may be transformed into the organizational one.

Secondly, modularity theories do not pay enough attention to the dynamics of [organizational] modularity in view of dynamics of technology. The development of technology is cyclical. It moves from more interdependent technological solutions to less interdependent and back to interdependent ones (Chesbrough, 2003b). Modularity in organizational design is only efficient at the mature stages of technological development when manufacturers have more profound knowledge about the technological interdependencies between the components. Otherwise the risk of coordination failure could be very important. The move to a new technology reintroduces complexity at the system's level and calls for organizational re-integration.

From this viewpoint, organizational modularity is not at all the stable state of any industry evolution. Producers have to accumulate their "system-level knowledge" along with external collaboration in order to not be caught in a "modularity trap". An optimal organizational form would be so-called "permeable vertical architecture" (Jacobides and Billinger, 2006). This organization is highly integrated and partly open to the markets along a firm's value chain.

On the one hand, such an organizational design might cope with coordination failures. On the other hand, it raises many questions. "Permeable vertical architecture" implies that interaction between agents is a sort of make-or-buy decision: to avoid "modularity trap" agents have to advance on their own in technological development and only then choose the components to produce internally and components to buy. How then the agents' technological knowledge evolves in a changing environment? Does this organizational form really cope with the risk of technological failure if technology development is tightly coordinated by an individual agent?

In sum, different theoretical concepts provide diverse viewpoints on the trade-off between technological and coordination failure; the discussion remains still open (Schilling and Steensma, 2001). This task is especially important given that in one industry different organizational forms can co-exist. An emblematic example is the

software industry. In this industry more integrated organizations (such as Apple or Microsoft with their incompatible proprietary standards), are in the vicinity of highly disintegrated organizations (like X/Open Group promoting common standards for independent Unix systems). In addition, the Free and Open Source Software (F/OSS) successfully evolving all along the industry history generates particular interest. F/OSS exhibits some special features in comparison to other two forms. Firstly, due to high visibility of the whole development process in F/OSS, participants with different skills and experiences may join the projects and cooperate to create highly complex software products (e.g. Linux operating system). Secondly, without relying on methods of command and control, coordination is ensured by scope of informal rules. In particular, this means that participants are free to choose any task to accomplish according to their interests and competences. Finally, participants exchange their works-in-progress (Lee and Cole, 2003), and "Release early, release open" is the underlying principle of the development process. The latter implies that there is no fixed standard: design rules emerge and evolve along with the evolution of the project and come as result of the negotiation process among participants. Presented in this way, the F/OSS organization conciliates the most important characteristics of tightly-coupled organization – i.e. integration of participants' actions, - and of loosely-coupled form – i.e. development process is open.

This paper discusses the relative efficiency of loosely-coupled versus tightly-coupled forms for the development of complex product systems. Taking into account the evidence from the software industry, we introduce to the analysis an additional organizational form which is neither tightly nor loosely coupled. Accordingly, the model described below compares three distinct strategies: a Stand Alone Strategy which refers to a tightly-coupled organization (1); an Exchange Strategy which corresponds to a loosely-coupled organization (2); and a Cooperation Strategy which represents an alternative form of coupling based on cooperation (3).

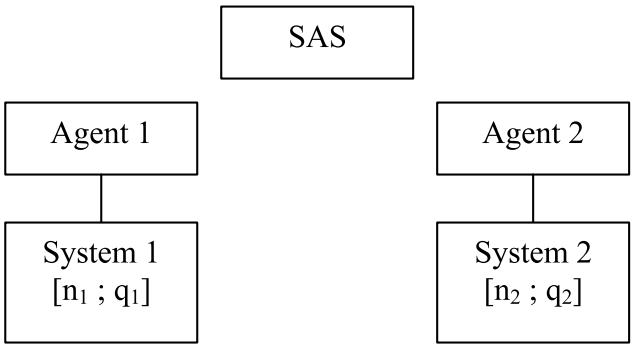
The relative efficiency of the three strategies is discussed in terms of the technical performance of the system and the agents' payoff. Actually, the strategic

choice can have consequences for the agents' market power and the resultant industry structure. The current version of the study puts aside these aspects, which can also influence a lot the relative efficiency of the agents' choice.

2 Model Description

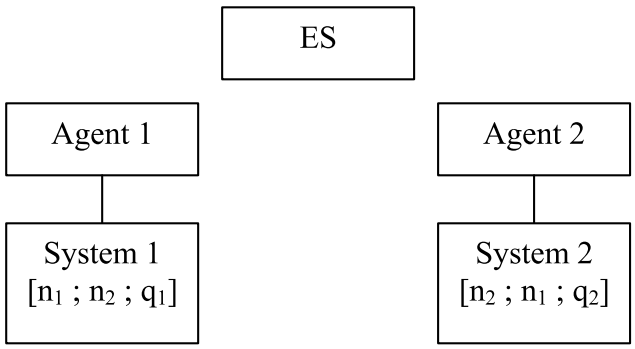
Without a loss of generality we assume the number of agents in the industry N=2, as all the key results of the model hold for any finite number of agents. Each one intends to develop a complete product system. At any time period the performance of a system is the function of the number of embodied components, $n(t)$, and the quality of the system, $q(t)$. The system's quality denotes the level of compatibility across the components (Bresnahan and Greenstein, 1999). We advance that to develop a complete system the agents can use one of the three strategies:

(1) A Stand-Alone Strategy (SAS): adoption of a tightly-coupled organization where each agent individually develops components and ensures the own quality of her system. SAS results in two independent systems which compete on the market.

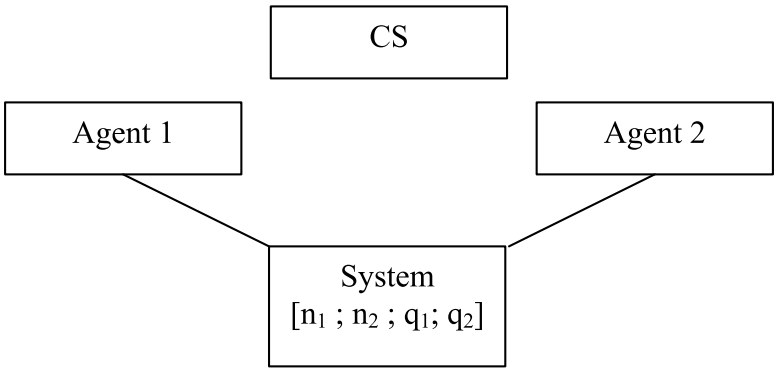


(2) An Exchange Strategy (ES): adoption of a loosely-coupled modular organization where components and individual systems' quality are developed by independent agents but everyone may use the components of the other due to common standard (basic compatibility among the

components). Hence this strategy results in two quasi-independent systems each of them is a combination of own and external components.



(3) A Cooperation Strategy (CS): an alternative network-like organization, where agents collectively develop components and quality of the common system; and where the labour division is even more important than in the previous case (ES) as it also concerns the development of common technology (i.e. "emergent" standard). CS results in one common system which combines the components of both agents and which exhibits particular quality characteristics.



The agent's payoff is measured as the difference between the terminal system's performance and the efforts necessary to provide this performance by a terminal

moment, T. Under T we assume the time moment when the system's performance is sufficiently developed to benefit from it.

For every agent the solution depends on the initial conditions – $n(0)$ and $q(0)$. $n(0)$ reproduces the agent's available knowledge on the development of particular components. $q(0)$ refers to the agent's knowledge about the eventual structure of the system – i.e. which components the system must consist of and what are the technological interdependencies between them.

We assume that close values of $n(0)$ for different agents refer to a comparable amount of knowledge, but the components under development may be completely different. Regarding the initial quality, $q(0)$, it is presupposed to take the value of $n(0)$ in case of the Stand-Alone and Exchange strategies. This means, that independent producers initially possess the amount of knowledge on interdependencies among the components equivalent to the number of components these producers are able to develop. In contrast in the CS strategy, where two agents cooperate to develop collectively a system, the initial common quality is the simple mean of their individual initial knowledge about the components development: $q^{CS}(0) = \frac{n(0)_1 + n(0)_2}{2}$. This assumption is very important for two reasons. Firstly, it introduces the idea that to launch the development, two agents need to agree on some basic design rules between their individual components. Secondly, it substantiates the "costs" of the Cooperation Strategy: e.g. if initially the agents possess different endowments this strategy might necessitate a sacrifice of a part of knowledge in favour of cooperation development.

We distinguish between two types of efforts: efforts necessary for the components development $u(t)$ and efforts devoted to the quality growth $g(t)$.

The complexity of a system (denoted as α) reproduces the level of interdependence of the components within system: the more the components are interdependent the higher are the efforts to ensure the global system's quality. The

value of the parameter α is given between 0 (the lowest complexity) and 1 (the highest complexity). Parameter β implies the importance of the number of components in a system. It also takes values between 0 and 1.

The Model is formulated in two stages. On the first stage we formulate three dynamic problems associated with three available strategies. On the second stage we formulate a static 3x3 coordination game to analyse the choice of a particular strategy.

This section deals with the dynamic problems formulation only.

2.1 Stand-Alone Strategy Model

Model for the stand-alone development of the system is formulated as a pure optimal control problem, almost identical for both agents. Basic assumption of this model is that the development of every individual system is completely defined by state and control variables of the agent, developing this system.

Objective function for each agent is formulated as follows:

$$\alpha q_i(T) + \beta n_i(T) - \int_0^T e^{r(T-t)} \frac{1}{2}(u_i(t)^2 + g_i(t)^2)dt$$

(2.1.1)

Where $q_i(T)$ is the terminal system's quality. $n_i(T)$ is the terminal number of components in the system. $u_i(t)$ being the control over the state variable $n_i(t)$, interpreted as research and working hours spent on development of new components. $g_i(t)$ is the control over $q_i(t)$ interpreted similarly to $u_i(t)$ but for the quality development. We impose the nonnegative restrictions on both control variables as well as on the final performance of the system.

This objective function is the agent's pay-off at the terminal moment of time. Its first component, $\alpha q_i(T) + \beta n_i(T)$, reproduces the system's performance at the final

stage of development and the second one, $\int_0^T e^{r(T-t)} \frac{1}{2}(u_i(t)^2 + g_i(t)^2)dt$, denotes the agent's investments (efforts) in the system performance.

Agents maximise the objective function (2.1.1) subject to the following system of dynamics constraints:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}} n_i(t) = a_i u_i(t)$$
$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}} q_i(t) = b_i g_i(t) - \alpha(\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}} n_i(t) + q_i(t))$$

(2.1.2)

Such form of the dynamic constraints can be interpreted in a following way. We suggest that the dynamics of components' development is only conditioned by the level of efforts spent on it. The dynamics of the system's quality positively depends on the level of efforts devoted to the quality development, but it negatively depends on the dynamics of components' development and the system's complexity. This means that the more complex the system is, the higher is the number of interdependencies among the components and the more difficult is to keep the quality of the growing system.

Thus formulated dynamic optimization problem for every agent constitutes a 2x2 optimal control problem, where $q_i(t)$, $n_i(t)$ are state variables and $u_i(t)$, $g_i(t)$ are control variables. To solve such a problem one has to formulate Hamiltonian, derive first order conditions for optimal controls and subsequent co-state equations (Bulirsch *et al.*, 1993). The payoff function is obtained by inserting optimal controls to the objective function (2.1.1). This payoff is subsequently used in the static game formulated later on as the payoff for the strategy SAS.

The dynamic constraint on quantity, $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}} n_i(t)$, in the dynamic constraint on quality, $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}} q_i(t)$, can be replaced by its expression (2.1.2). After the substitution Hamiltonian is taken as:

$$H_i = -\frac{1}{2}u_i(t)^2 - \frac{1}{2}g_i(t)^2 + \lambda_i(t)a_i u_i(t) + \mu_i(t)(b_i g_i(t) - \alpha(a_i u_i(t) + q_i(t)))$$

(2.1.3)

Assuming that the value of $u(t)$ is nonnegative we derive the first order conditions of the SAS problem:

$$u_i^*(t) = \begin{cases} a_i(\lambda_i(t) - \alpha\mu_i(t)), & 0 \le \lambda_i(t) - \alpha\mu_i(t) \\ 0, & \lambda_i(t) - \alpha\mu_i(t) < 0 \end{cases}$$

$$g_i^*(t) = b_i\mu_i(t)$$

(2.1.4)

The first order conditions constitute optimal controls for both state variables as dependencies on co-states only. Co-state equations are defined as:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}\lambda_i(t) = r\lambda_i(t)$$

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}\mu_i(t) = (r+\alpha)\mu_i(t)$$

(2.1.5)

Using (2.1.4) and (2.1.5) one may easily find optimal dynamics for the co-states:

$$\mu_i(t) = \alpha e^{(r+\alpha)(t-T)}$$

$$\lambda_i(t) = \beta e^{r(t-T)}$$

(2.1.6)

Optimal control variables:

$$u_i^*(t) = \begin{cases} \beta e^{r(t-T)} - \alpha^2 a_i e^{(r+\alpha)(t-T)}, & t \le T + \frac{1}{\alpha}\ln(\frac{\beta}{\alpha^2}) \\ 0, & T + \frac{1}{\alpha}\ln(\frac{\beta}{\alpha^2}) < t \end{cases}$$

$$g_i^*(t) = \alpha b_i e^{(r+\alpha)(t-T)}$$

(2.1.7)

Finally state variables are specified as:

$$n_i(t) = \begin{cases} \frac{a_i^2 \beta e^{-rT}}{r}(e^{rt} - 1) - \frac{a_i^2 \alpha^2 e^{-(r+\alpha)T}}{\alpha + r}(e^{(r+\alpha)t} - 1) + n_i(0), & t \le T + \frac{1}{\alpha}\ln(\frac{\beta}{\alpha^2}) \\ \frac{a_i^2 \alpha\beta(\frac{\beta}{\alpha^2})^{\frac{r}{\alpha}}}{r(\alpha + r)} + n_i(0) - \frac{a_i^2 \beta e^{-rT}}{r} + \frac{a_i^2 \alpha^2 e^{-(r+\alpha)T}}{\alpha + r}, & T + \frac{1}{\alpha}\ln(\frac{\beta}{\alpha^2}) < t \end{cases}$$

(2.1.8)

$$q_i(t) = \begin{cases} \frac{(\alpha^3 a_i^2 + \alpha b_i^2)e^{-(r+\alpha)T}}{2\alpha + r}(e^{(r+\alpha)t} - e^{-\alpha t}) - \frac{\alpha\beta a_i^2 e^{-rT}}{\alpha + r}(e^{rt} - e^{-\alpha t}) + e^{-\alpha t} q_i(0), \\ \quad t \le T + \frac{1}{\alpha}\ln(\frac{\beta}{\alpha^2}) \\ \frac{\alpha b_i^2 e^{(r+\alpha)(t-T)}}{2\alpha + r} + e^{-\alpha t}(q_i(0) + \frac{\alpha\beta a_i^2 e^{-rT}}{\alpha + r} - \frac{\beta^2 a_i^2 (\frac{\beta}{\alpha^2})^{\frac{r}{\alpha}} e^{-\alpha T}}{(2\alpha + r)(\alpha + r)} - \frac{(\alpha^3 a_i^2 + \alpha b_i^2)e^{-(r+\alpha)T}}{(2\alpha + r)})), \\ T + \frac{1}{\alpha}\ln(\frac{\beta}{\alpha^2}) < t \end{cases}$$

(2.1.9)

Substituting t for T in equations (2.1.8) and (2.1.9) we obtain the terminal values of $q_i(t)$ and $n_i(t)$ as functions of T. Finally, substituting optimal controls and terminal values of the state variables in objective function yields the payoff function depending on T. For every set of parameters and T one can easily compute this payoff and use it in the second-stage static game.

2.2 Exchange Strategy Model

This model stands for the situation when both agents make their components at the disposal of each other, but do not cooperate to a full extent as in the Cooperation model described below. According to ES two agents still develop their own systems, but this time they can use components of each other. This exchange is possible as two agents share common design rules - common standard - across their systems. Common design rules make components of two agents basically compatible. The ES problem is a non-standard optimal control problem, as every agent's objective functional and constraints depend on the state of the other agent. However, since no dependence on controls of other agent is present, we resort to the optimal control framework, taking other's state dynamics as given. To obtain a closed-form solution for this problem, we assume symmetric state dynamics for both agents. Thus subsequent objective function (agent's payoff) of agent i:

$$\alpha q_i(T) + \beta(n_i(T) + c_i n_{-i}(T)) - \int_0^T e^{r(T-t)} \frac{1}{2}(u_i(t)^2 + g_i(t)^2)dt$$

(2.2.1)

The payoff of the agent depends not only on the number of his own components, but on the number of components developed by the other agent: $n(T)$ - the terminal number of components in the system is a combination of the own agent's components and of the components produced by another agent. However the agents ensure in an independent manner the quality of their individual systems, $q_i(T)$.

We restrict our attention to the two-agent case to simplify notation. However, the problem is basically the same for any finite number of agents.

Agent i maximises the payoff function subject to the system of dynamic constraints:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}} n_i(t) = a_i u_i(t)$$
$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}} q_i(t) = b_i g_i(t) - \alpha(\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}} n_i(t) + c_i n_{-i}(t) q_i(t))$$

(2.2.2)

Dynamics of $q_i(t)$ depends not only on the dynamics of the own agent's components, but also on the components of the other agent at every moment *t*. Such dynamics of the individual system's quality reproduces the idea of loosely-coupled organization. An agent controls only the number of his own components; and she cannot control the components of another agent. However, the use of the components of another agent in the own agent's system influences the overall dynamics of the own system quality.

This problem may be solved readily through the Pontryagin's maximum principle (Dockner *et al.* 2000). The only formal difference from the SAS case is that dynamics of own state variables now depend on a given function of time, namely, other agent's state variable. We construct Hamiltonians for each agent and derive the first-order conditions, just like in the SAS case. These conditions define optimal controls of each agent as functions of controls of the other agent.

Hamiltonian for each agent i takes the form:

$$H_i = -\frac{1}{2} u_i(t)^2 - \frac{1}{2} g_i(t)^2 + \lambda_i(t) a_i u_i(t) + \mu_i(t)(b_i g_i(t) - \alpha(a_i u_i(t) + c_i n_{-i}(t) + q_i(t)))$$

(2.2.3)

Given that $u_i(t)$ is nonnegative, the first-order conditions are:

$$u_i^*(t) = \begin{cases} a_i(\lambda_i(t) - \alpha\mu_i(t)), & 0 \le \lambda_i(t) - \alpha\mu_i(t) \\ 0, & \lambda_i(t) - \alpha\mu_i(t) < 0 \end{cases}$$
$$g_i^*(t) = b_i \mu_i(t)$$

(2.2.4)

We obtain the similar trajectories of co-state variables and optimal controls as in the SAS model. $n_i(t)$ dynamics also bears a strong resemblance to the previous model:

$$n_i(t)=\begin{cases}\dfrac{a_i^2\beta e^{-rT}}{r}(e^{rt}-1)-\dfrac{a_i^2\alpha^2 e^{-(r+\alpha)T}}{\alpha+r}(e^{(r+\alpha)t}-1)+n_i(0), & t\le T+\dfrac{1}{\alpha}\ln(\dfrac{\beta}{\alpha^2})\\ \dfrac{a_i^2\alpha\beta(\frac{\beta}{\alpha^2})^{\frac{r}{\alpha}}}{r(\alpha+r)}+n_i(0)-\dfrac{a_i^2\beta e^{-rT}}{r}+\dfrac{a_i^2\alpha^2 e^{-(r+\alpha)T}}{\alpha+r}, & T+\dfrac{1}{\alpha}\ln(\dfrac{\beta}{\alpha^2})<t\end{cases}$$

(2.2.5)

What is different in the ES model is the state equation of quality dynamics, $q_i(t)$.

$$q_i(t)=\begin{cases}\dfrac{1}{(2\alpha+r)r(\alpha+r)}(-(((-b_i^2-\alpha^2-a_i^2)r-\alpha^2c_ia_{-i}^2-b_i^2\alpha-\alpha^3a_i^2)e^{(r+\alpha)t}+(b_i^2+\alpha^2a_i^2-\alpha c_ia_{-i}^2)(r+\alpha)e^{-t\alpha}\\ +\alpha c_ia_{-i}^2(2\alpha+r))r\alpha e^{-(r+\alpha)T}+(2\alpha+r)(r(\beta(-c_ia_{-i}^2+\alpha a_i^2)e^{-rT}+(q_i(0)+c_in_{-i}(0)(r+\alpha))e^{-t\alpha}\\ -(\alpha(ra_i^2+c_ia_{-i}^2)e^{rt}-c_ia_{-i}^2(r+\alpha))\beta e^{-rT}-rc_in_{-i}(0)(r+\alpha))),\\ t\le T+\dfrac{1}{\alpha}\ln(\dfrac{\beta}{\alpha^2})\\ \dfrac{1}{(\alpha+r)\alpha r(2\alpha+r)}(-\beta(r\beta e^{T\alpha}(-c_ia_{-i}^2+\alpha a_i^2)e^{-\alpha t}+\alpha^2c_ia_{-i}^2)(r+2\alpha))(\dfrac{\beta}{\alpha^2})^{\frac{r}{\alpha}}\\ +(-r(-b_i^2(r+\alpha)e^{(r+\alpha)t}+(b_i^2-\alpha c_ia_{-i}^2+\alpha^2a_i^2)(r+\alpha)e^{-t\alpha}+\alpha c_ia_{-i}^2(2\alpha+r))\alpha e^{-(r+\alpha)T}\\ +(r(\beta(-c_ia_{-i}^2+\alpha a_i^2)e^{-rT}+(q_i(0)+c_in_{-i}(0))(r+\alpha))e^{-t\alpha}-c_i(r+\alpha)(n_{-i}(0)r-a_{-i}^2e^{-rT}\beta))(2\alpha+r))\alpha),\\ T+\dfrac{1}{\alpha}\ln(\dfrac{\beta}{\alpha^2})<t\end{cases}$$

(2.2.6)

According to ES each agent, when deriving his optimal quality dynamics, perceives number of components of the other agent, $n_{-i}(t)$.

To compute the payoff in the ES case, we substitute *t* by *T* and make run the payoff function for different sets of parameters.

2.3 Cooperation Strategy Model

CS refers to full cooperation of both agents developing together one common system. CS represents an alternative solution. As in ES both agents are independent in the sense that they cannot control the actions of each other. Contrary to ES, in CS the agents collectively work on the system's quality, which is defined as a function of common efforts of both agents directed on this issue. This problem constitutes a pure differential game as both agents share common dynamic constraint on quality growth. However, state variables enter the objective functions of the agents only through the salvage function. It is known (Dockner *et al.*,2000), that for such games the Maximum Principle yields the results similar to the Hamilton-Jacobi-Bellman (HJB) approach. Hence open-loop equilibrium coincides with the closed-loop one.

Given these considerations, objective function of agent i is formulated as follows:

$$\alpha q(T) + \beta(n_i(T) + n_{-i}(T)) - \int_0^T e^{r(T-t)} \frac{1}{2}(u_i(t)^2 + g_i(t)^2)dt$$

(2.3.1)

where $q(T)$ denotes the terminal quality of the united system, and $n_i(T)$ and $n_{-i}(T)$ are the eventual number of components developed by two agents for their common system.

Dynamic constraints for agent i:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}} n_i(t) = a_i u_i(t)$$
$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}} q_i(t) = b(g_i(t) + g_{-i}(t)) - \alpha(\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}} n_i(t) + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}} n_{-i}(t) + q_i(t))$$

(2.3.2)

In comparison to the previous two models in CS quality dynamics depends on the both agents' efforts spent on quality improvement as well as on the dynamics of components of two agents.

Hamiltonian function for agent i is formulated as:

$$H_i = -\frac{1}{2}u_i(t)^2 - \frac{1}{2}g_i(t)^2 + \lambda_i(t)a_i u_i(t) + \mu_i(t)(b_i(g_i(t) + g_{-i}(t)) - \alpha(a_i u_i(t) + a_{-i}u_{-i}(t)) + q(t)))$$

(2.3.3)

Obtaining similar equations for control and co-state variables as in the previous two models, one may derive the dynamics for components' quantity, $n_i(t)$, and the dynamics for the quality of resultant common system.

$$n_i(t) = \begin{cases} \frac{a_i^2\beta e^{-rT}}{r}(e^{rt}-1) - \frac{a_i^2\alpha^2 e^{-(r+\alpha)T}}{\alpha+r}(e^{(r+\alpha)t}-1) + n_i(0), & t \le T + \frac{1}{\alpha}\ln(\frac{\beta}{\alpha^2}) \\ \frac{a_i^2\alpha\beta(\frac{\beta}{\alpha^2})^{\frac{r}{\alpha}}}{r(\alpha+r)} + n_i(0) - \frac{a_i^2\beta e^{-rT}}{r} + \frac{a_i^2\alpha^2 e^{-(r+\alpha)T}}{\alpha+r}, & T + \frac{1}{\alpha}\ln(\frac{\beta}{\alpha^2}) < t \end{cases}$$

(2.3.4)

$$q(t) = \begin{cases} e^{-\alpha t}q(0) - \frac{\alpha\beta}{r+\alpha}(a_i^2 + a_{-i}^2)e^{-rT}(e^{rt} - e^{-\alpha t}) + \frac{(2\alpha b^2 + \alpha^3(a_i^2 + a_{-i}^2))e^{-(r+\alpha)T}}{2\alpha+r}(e^{(r+\alpha)t} - e^{-\alpha t}), \\ t \le T + \frac{1}{\alpha}\ln(\frac{\beta}{\alpha^2}) \\ -\frac{1}{(2\alpha+r)(r+\alpha)}(2(((\frac{1}{2}a_i^2 + \frac{1}{2}a_{-i}^2)\alpha^2 + b^2)\alpha(r+\alpha)e^{(-t-T)\alpha - rT} + \frac{1}{2}\beta^2 e^{\alpha(T-t)}(a_i^2 + a_{-i}^2)(\frac{\beta}{\alpha^2})^{\frac{r}{\alpha}} \\ -b^2\alpha(r+\alpha)e^{-(r+\alpha)(T-t)} - \frac{1}{2}(2\alpha+r)(\beta\alpha(a_i^2 + a_{-i}^2)e^{-\alpha t - rT} + e^{-\alpha t}q(0)(r+\alpha)))), \\ T + \frac{1}{\alpha}\ln(\frac{\beta}{\alpha^2}) < t \end{cases}$$

(2.3.5)

Clearly the dynamics of components quantity in the common system depends on the amount of agents' initial knowledge about components development. At the same time, the system's quality is determined by $q(0)$ - common initial knowledge about the technological interdependencies between own components and between own and other agent's components. The value of this parameter is set as the mean of agents' individual endowments in this field.

3 Static Game

This section formulates a 2-agents static 3x3 coordination game with complete information to analyse the choice of a particular strategy. The static game is designed to demonstrate the interdependence of the agents' strategies irrespective of initial conditions. This is the second stage of the model in terms of formulation, because the model as a whole is solved using backward induction. But we assume that in reality the second stage actually happens before the launch of development.

To formulate a payoff matrix, we need firstly discuss the distribution of payoffs in case of mismatch between strategic choices. There are three possible types of mismatch: (i) one of the agents chooses CS and another - SAS; (ii) one of the agents chooses CS and another chooses ES; (iii) one of the agents chooses ES and another - SAS.

Let us consider all three outcomes:

(i) (CS, SAS). If one of the agents does not grant her components to a common system and does not contribute to quality development, (2.3.1) reduces to the SAS problem (2.1.1) but with smaller initial quality: given the relation between initial quantity and initial quality for CS, $q^{CS}(0)$ for a single agent becomes $q^{CS}(0) = \frac{n_1(0)}{2} < q_1^{SAS}(0) = n_1^{SAS}(0)$. Consequently, the payoff of the single agent for CS is always smaller than the payoff for SAS.

(ii) (CS, ES). Similarly, if one agent chooses CS and another prefers ES to CS, the CS problem reduces to the ES one with the equivalent quality dynamics but with smaller initial quality. As a result the payoff for CS will always be smaller than the payoff for ES.

(iii) (SAS, ES). In one of the agents chooses SAS and another – ES, (2.2.1) reduces to the SAS problem (2.1.1). In these conditions both agents obtain the SAS payoffs independently on their choices.

Three strategies available for the players are subject to commitment that is chosen once at the beginning cannot be changed until completion of the task. We assume agents to possess perfect information about the payoffs of the other agent.

The resulting static game and the corresponding payoff matrix for the case of 2 players are shown in Table 1.

Table 1: Payoff Matrix for Coordination Game

Agent 1/ Agent 2	**SAS**	**CS**	**ES**
SAS	V^1_{SAS} , V^2_{SAS}	V^1_{SAS} ,0	V^1_{SAS} , V^2_{SAS}
CS	0, V^2_{SAS}	V_{CS}, V_{CS}	0, V^2_{ES}
ES	V^1_{SAS} , V^2_{SAS}	V^1_{ES} , 0	V^1_{ES} , V^2_{ES}

Here V's are discounted payoff functions for three dynamic problems associated with static strategies. From this payoff matrix one may observe that strategies SAS and ES always dominate each other, depending on their payoffs. So for every case the game is reduced to the 2x2 games for SAS and CS or for ES and CS. These two reduced games, in turn, have two equilibriums in pure strategies and one equilibrium in mixed strategies. In mixed strategies optimal weights depend on the relation of payoff functions (Osborne, 2004). Form of the payoff matrix is defined from the aforementioned analytical results:

1. If both agents choose SAS, they receive exactly their payoffs defined through the optimal control problem, denoted as stand-alone problem above.

2. Divergence of strategic choices between SAS and ES results in two SAS payoffs because only when both agents agree to follow the ES they may receive the ES payoffs. As appears from the ES objective function (2.2.1), the ES reduces to the SAS one if $c_i = 0$. Therefore the cells ES-SAS are obtained from the formal models for SAS and ES described above in Section 2.

3. Divergence of strategic choices between SAS and CS results in SAS and 0 payoffs respectively: a mismatch between intentions produces the CS payoff smaller than the one of SAS. Similarly the case of divergence of strategies between ES and CS produces ES and 0 outcomes. 0 denotes a payoff worse than any other available strategy. These results for CS-SAS and CS-ES cells follow from our additional supposition about the value of initial quality in CS: $q^{CS}(0) = \frac{n(0)_1 + n(0)_2}{2}$.

4. CS strategy is a viable choice only when both agents play it. This is due to the nature of the cooperative dynamic game.

5. ES yields its 'normal' payoff only when the other agent plays CS or ES.

In this game only SAS is independent from the actions of the other agent, while both other strategies are dependent on it. As it has been noticed, this game has always a strict domination of ES and SAS, depending on the relative payoff. One may consider the resulting two possible outcomes: the SAS-CS game and the ES-CS game.

Comparison of CS and SAS shows that for any parameter set Cooperation Strategy is at least as attractive as the Stand-Alone one. Indeed, difference of the agent's payoffs for CS and SAS is:

$$V_{CS-SAS} = \alpha(q^{CS}(T) - q_1^{SAS}(T)) + \beta(n_1^{CS}(T) + n_2^{CS}(T) - n_1^{SAS}(T)) + \frac{1}{2}\int_0^T e^{-\rho(T-t)}(u_{SAS}(t)^2 + g_{SAS}(t)^2 - u_{CS}(t)^2 - g_{CS}(t)^2)dt$$

(3.1.1)

Taking account that integrated efforts and quantities are equal, (3.1.1) reduces to:

$$V_{CS-SAS} = \alpha(q^{CS}(T) - q_1^{SAS}(T)) + \beta n_2^{CS}$$

(3.1.2)

Evidently this expression is greater than zero; and the payoff for CS is at least not less than the payoff for SAS.

Let's analyze possible outcomes of the CS-SAS game. Given that the CS payoff is always higher than SAS, one may find 3 equilibriums: two Nash-equilibriums in pure strategies (SAS, SAS) and (CS, CS) and one in mixed strategies. Since (SAS,SAS) outcome is less risky than the CS choice, in pure strategies equilibrium selection process rules out (CS,CS) case as a risk-dominant outcome. However, there is also an equilibrium in mixed strategies, which may allow agents to reach possibly higher payoff under (CS,CS) strategies profile. In mixed strategies optimal weights of both strategies for both players depend on the relative payoff of both strategies. Optimal weights are defined as:

$$p^{SAS}{}_{opt} = \frac{V_{CS} - V^2{}_{SAS}}{V_{CS}};$$
$$q^{SAS}{}_{opt} = \frac{V_{CS} - V^1{}_{SAS}}{V_{CS}}.$$

(4.1)

Where p, q are probabilities of playing SAS strategy for players 1,2 respectively.

These probabilities depend positively on the difference between the SAS and CS payoffs and negatively on the CS payoff. One may conclude that the higher is the CS payoff relative to the SAS one, the higher is the likelihood that both agents choose Cooperation Strategy.

Comparison of CS and ES implies:

$$V_{CS-ES} = \alpha(q^{CS}(T) - q_1^{ES}(T)) + \beta(n_1^{CS}(T) + n_2^{CS}(T) - n_1^{ES}(T) - n_2^{ES}(T)) + \frac{1}{2}\int_0^T e^{-\rho(T-t)}(u_{ES}(t)^2 + g_{ES}(t)^2 - u_{CS}(t)^2 - g_{CS}(t)^2)dt$$

(3.2.1)

Applying the same considerations as for (3.1.2) this expression is reduced to the difference of qualities only:

$$V_{CS-ES} = \alpha(q^{CS}(T) - q_1^{ES}(T))$$

(3.2.2)

(3.2.2) can be negative if the initial quality for CS, $q^{CS}(0)$, is smaller than the initial quality for ES, $q_1^{ES}(0)$. Taking into account our assumption about the initial quality in CS, $q^{CS}(0)$ can be smaller only in a very special case: i.e. when the initial endowments in quantity of agents, $n_1^{CS}(0), n_2^{CS}(0)$, differ sufficiently. Otherwise, the agent's payoff for CS is at least as big as the one for ES.

Hence, this time there are two possibilities for the game ES-CS (when ES dominates SAS). The first option if the CS payoff is higher is fully symmetric to the SAS-CS game: there are three equilibriums for such variant - (ES,ES), (CS, CS), and one in mixed strategies:

$$p^{ES}{}_{opt} = \frac{V_{CS} - V^{2}{}_{ES}}{V_{CS}};$$
$$q^{ES}{}_{opt} = \frac{V_{OS} - V^{1}{}_{ES}}{V_{CS}}.$$

(4.2)

This leads to the same relations between optimal weights and payoffs.

The second option is when the ES payoff is higher than the CS one; there is only one equilibrium in pure strategies (ES,ES) in these conditions.

One may conclude that a game designed in such a way, shows possibilities for different outcomes for the players, depending on their payoffs and their relations. This constitutes an evidence of possibility for diverse outcomes on a real market, considering that number of agents in reality is far more than 2 as in this simple case. Another important implication concerns the Cooperation Strategy. It can be far more profitable than other two strategic choices independently on the level of complexity. However, CS is far more risky, than SAS and ES, as it requires similar choices of both agents. CS may be pursued probably most likely only under mixed strategies equilibrium.

In the next section we discuss the results of the model and deal with several sets of parameter values to test the behaviour of the SAS, ES and CS problems.

4 Results

To obtain further characteristics of the model behaviour numeric simulation is performed. Some parameters in the model are considered as accessory; their change does not produce any shift in overall dynamics. Therefore the values of these variables can be temporarily fixed:

- Returns on investments in quantity and quality development for both agents take the value of 1 for all three strategies, $a = b = 1$.

- Discount rate equals 0.02;

- Influence of number of components to the system performance, β, takes the value of 0.5.

- In the Exchange Strategy model the portion of components appropriated by agent i, $c_i = 0.7$.

Assuming that level of complexity of a system, α, is between 0 and 1, we test three different combinations of initial conditions $(n_1(0), n_2(0), q_1(0), q_2(0), q^{OS}(0))$, for different levels of complexity ($\alpha = 0.125$, $\alpha = 0.5$, $\alpha = 1$) and different time horizons ($T = 3, T = 7, T = 15$).

Results of this simulation are summarized in Tables 2, 3 and 4. CS, as it was already mentioned above, generally is not worse than any other strategy. The one exception is when the time horizon is short ($T = 3$), complexity of the system is low or medium ($\alpha = 0.125$, 0.5), and two agents differ significantly in initial conditions ($n_1(0) = 1$, $n_2(0) = 20$). In this special case relative advantage of Exchange Strategy is slightly higher at least for the second, more competent, agent (Table 2). This case implies the only equilibrium in pure strategies, ES-ES. Actually, such result comes as no surprise. Despite that CS proves to be very efficient in many cases, this strategy must be sensible to the time factor as the development of cooperation between heterogeneous individuals is a long complex process. Indeed, one can notice that for each parameter set, the CS payoff increases with time: payoffs for $T = 7 < T = 15$ and $T = 3 < T = 15$. Two important issues follow from this. Firstly, CS is rather a long-run strategy. Secondly, CS provides a benefit more rapidly if the agents possess comparable capabilities, otherwise more time is necessary to arrange development process.

Relative efficiencies of Stand-Alone and Exchange Strategies are very sensitive to the level of system's complexity. For the systems of low and medium complexity ES strategy is more efficient than the SAS one. Thus the agents' choice is between CS and ES. However, ES is absolutely inappropriate for highly complex systems: the payoff for ES can be even negative if *alfa* takes the value of 1. Hence, the lack of coordination in loosely-coupled organization (ES in our model) is disastrous when components in the system are very interdependent. Consequently, if α is very high, an agent chooses between CS and SAS because SAS represents the second-best solution.

Similarly to CS, efficiency of Stand-Alone Strategy increases with time: e.g. for $T=15$ SAS becomes more attractive than ES even for very low complexity. One plausible reason is that SAS implies significant investments in research and development realised individually by each agent. As a result the returns on these investments can be delayed. In contrast efficiency of ES may decrease from $T=7$ to $T=15$ and from $T=3$ to $T=15$. Therefore in some circumstances ES, which does not imply either cooperation development or significant initial costs, can be an efficient short-term strategy. So, the more T is restricted - what is often the case in fierce technological competition – the higher is the likelihood of the ES adoption.

This numeric simulation provides interesting insights about the likelihood of CS-CS equilibrium in mixed strategies. One can see that the probability that both agents choose Cooperation Strategy increases as the time horizon, T, rises, and as the level of complexity, α, grows. The role of the time factor has been already discussed in this section. The results on α are also easy to explain. When the system's complexity is low, the risk of coordination failure is also low. Without investments in cooperation development and in tight-coupling, both agents may gain direct benefits from the open access to the components of each other.

Some surprising results refer to the influence of technological development on the adoption of CS strategy. Clearly the likelihood that both agents choose this strategy is much higher at the initial stages of technological development,

$n_1(0) = n_2(0) = 1$. Therefore when there is no common knowledge about technological structure of a system, i.e. the technology is new, the best strategy for the both agents will be to cooperate with each other. At the mature stages of technological development when the agents possess the same high level of knowledge, and none of them has significant advantage in components development, the knowledge exchange or direct competition will be more beneficial for them. As it has been already mentioned, when the agents differ significantly in their initial endowments, $n_1(0) = 1, n_2(0) = 20$, the likelihood of CS-CS choice depends on time horizon at the agents' disposal (cooperation development is more difficult).

Table 2 Short-Run time horizon: $T = 3$

Alfa / T		3							
		V_{SAS}		V_{ES}		V_{CS}	Nash equilibrium	
							pure	Mixed
	n1(0)=n2(0)=1	0.95		1.74		2.18	ES-ES, CS-CS	p=q=0.2
	n1(0)=n2(0)=20	12.08		19.01		22.8	ES-ES, CS-CS	p=q=0.17
0.13	*n1(0)=1, n2(0)=20*	0.95	12.08	7.87	12.88	12.48	ES-ES	No
	n1(0)=n2(0)=1	0.93		1.19		2.07	ES-ES, CS-CS	p=q=0.43
	n1(0)=n2(0)=20	12.55		14.29		23.19	ES-ES, CS-CS	p=q=0.38
0.5	*n1(0)=1, n2(0)=20*	0.93	12.55	2.68	12.81	12.63	ES-ES	No
	n1(0)=n2(0)=1	0.91		0.43		2.14	SAS-SAS, CS-CS	p=q=0.57
	n1(0)=n2(0)=20	11.36		4.89		22.09	SAS-SAS, CS-CS	p=q=0.49
1	*n1(0)=1, n2(0)=20*	0.91	11.36	-5.55	10.88	12.12	SAS-SAS, CS-CS	p=0.06; q=0.92

Table 3 Mid-Term time horizon: $T = 7$

Alfa / T		7						
		V_{SAS}		V_{ES}		V_{CS}	Nash equilibrium	
							pure	Mixed
	n1(0)=n2(0)=1	1.39		2.72		3.5	ES-ES, CS-CS	p=q=0.22
	n1(0)=n2(0)=20	11.88		18.89		23.5	ES-ES, CS-CS	p=q=0.2
0.13	*n1(0)=1, n2(0)=20*	1.39	11.88	8.4	13.21	13.5	ES-ES, CS-CS	p=0.02; q=0.38
	n1(0)=n2(0)=1	1.28		1.53		3.25	ES-ES, CS-CS	p=q=0.53
	n1(0)=n2(0)=20	11.07		11.52		22.54	ES-ES, CS-CS	p=q=0.49
0.5	*n1(0)=1, n2(0)=20*	1.28	11.07	1.73	11.32	12.89	ES-ES, CS-CS	p=0.12; q=0.87
	n1(0)=n2(0)=1	1.33		0.21		3.42	SAS-SAS, CS-CS	p=q=0.61
	n1(0)=n2(0)=20	10.84		3.09		22.44	SAS-SAS, CS-CS	p=q=0.52
1	*n1(0)=1, n2(0)=20*	1.33	10.84	-6.43	9.72	12.93	SAS-SAS, CS-CS	p=0.16; q=0.90

Table 4 Long-Run time horizon: $T = 15$

Alfa / T		15						
		V_{SAS}		V_{ES}		V_{CS}	Nash equilibrium	
							pure	Mixed
	n1(0)=n2(0)=1	2.29		4.51		6	ES-ES, CS-CS	p=q=0.25
	n1(0)=n2(0)=20	12.16		9.62		25.36	SAS-SAS, CS-CS	p=q=0.62
0.13	*n1(0)=1, n2(0)=20*	2.29	12.16	9.75	14.37	15.68	ES-ES, CS-CS	p=0.08; q=0.38
	n1(0)=n2(0)=1	2.21		2.46		5.77	ES-ES, CS-CS	p=q=0.57
	n1(0)=n2(0)=20	11.71		11.96		24.78	ES-ES, CS-CS	p=q=0.52
0.5	*n1(0)=1, n2(0)=20*	2.21	11.71	2.46	11.96	15.27	ES-ES, CS-CS	p=0.22; q=0.84
	n1(0)=n2(0)=1	2.27		0.03		5.97	SAS-SAS, CS-CS	p=q=0.62
	n1(0)=n2(0)=20	11.77		2.88		24.97	SAS-SAS, CS-CS	p=q=0.53
1	*n1(0)=1, n2(0)=20*	2.27	11.77	-6.61	9.5	15.47	SAS-SAS, CS-CS	p=0.24; q=0.85

Discussion

The paper argues that the analysis of the modularity phenomenon, its potentials and possible failures, should not be limited to the openness-integration dilemma. Extending the discussion towards more subtle strategies, e.g. the one of cooperation, obviously enriches the analysis.

The model has some limitations. The 2-stage approach may be replaced by the unified general differential game, thus allowing for more flexible strategy choices. The assumption of cooperation in the CS model is too rigid and does not provide sufficient information about its nature and degrees: we assume only either full cooperation or complete absence of it. Our numeric experiments reveal some important tendencies. However more extensive analysis of the systems' behaviour under different sets of parameters is necessary. While focusing mainly on the dynamics of system's evolution our model ignores some important theoretical questions, put forward in the literature on modularity: e.g. modularity and problem of appropriability of returns. As well modularity and competition among the agents might be considered in a more explicit manner. Finally, the relevance of our findings needs to be discussed using the empirical evidence from different industries.

Despite these limits the model points some important issues. It highlights that the level of system's complexity determining to an important degree the agents' strategies is not the only criterion. Agents adopt particular strategies by taking into account their own capabilities and abilities of other agents in the industry; also the time factor is of special importance particularly in highly competitive industries; finally, the strategic choices of other agents often influence the individual choice. Consequently, depending on particular conditions both highly modularized and highly integrated forms can be efficient for the complex systems' development.

In accordance to the existent literature on modularity in organization this paper shows that the initial strategic choice really occurs between integrated and open solutions: in the resultant static game the choices SAS and ES always dominate each other. It was also demonstrated that the level of complexity is of particular importance in determining which one of these strategies eventually dominates the agents' choice. Finally, our results confirm that loosely-coupled organization is by no means the final state of any industry as its sphere of application is rather limited.

In addition to the results previously discussed in the economic literature, we demonstrate that the choice of an organizational form is not exhausted by openness-integration dilemma: the final strategic choice occurs between "how to open" and "how to integrate". At least two different "open" forms can be distinguished: one based on open exchange and the second based on cooperation. These two "open" forms provide distinct opportunities when comparing them with each other or with the "closed" form. To take into account the alternative form (called here Cooperation Strategy) induces very important issues on modularity in organization. Firstly, tightly-coupled form is not necessarily the best solution even for the development of highly complex systems. Secondly, the strategic choice of other agents in the industry is of crucial importance in determining the relative efficiency of organization design. Finally, at the initial stages of technological development Cooperation Strategy is much more beneficial compared to the two other strategies. However, to be

advantageous the Cooperation Strategy must be necessarily adopted by both agents what makes it far more risky than any other strategic choice.

DEUXIÈME PARTIE

F/OSS comme exemple de coopération en Réseau : Les modes de gouvernance et leur lien avec le cadre institutionnel formel.

II.1 Introduction de la deuxième partie

La partie précédente montrait, au niveau théorique, que la coopération en Réseau et le développement émergent et flexible - qui évolue avec la formation et la structuration des interactions des agents - peut représenter une approche alternative viable pour gérer la complexité et pour répondre au dilemme ouverture-intégration de la connaissance.

Il est maintenant important de se demander comment la forme Réseau se met en place et quelles sont ses modalités. La littérature abondante sur les Réseaux s'est développée ces dernières années. Cependant, elle est consacrée principalement aux raisons *d'être* de la coopération, plutôt qu'à l'organisation des processus de coopération (Brousseau, 2000). Cette deuxième partie de notre thèse est centrée sur cette question. Aborder cette question nécessite une précision de ce que nous entendons par organisation.

Selon la théorie évolutionniste et les approches cognitives de l'organisation, ces dernières se définissent par les routines, les ressources propres ou encore les compétences qui constituent leur patrimoine. Cependant, la question des modalités de la mise en œuvre des routines et des compétences organisationnelles est peu abordée, et l'approche évolutionniste *stricto sensu* ne permet pas de répondre à la question *comment* émergent les réseaux. A partir de ce constat, nous sommes amenés à introduire dans l'analyse les notions d'« institution » (North, 1990) et d'« organisation institutionnelle » [(Brousseau, 2000) ; (Bessy et Brousseau, 2006)], qui apparaissent plutôt dans le sens de l'économie des institutions que de la théorie évolutionniste. Ce mouvement de prise en compte d'un cadre institutionnel plus large est présent au sein de l'économie évolutionniste elle-même (Nelson, 2002).

Dans la conception que nous adoptons, l'organisation est comprise comme l'articulation entre les règles de deux niveaux : les « règles-contraintes » représentées

par les institutions et les « règles-routines » (Pelikan, 2003). A ce titre les institutions renvoient aux « règles du jeu » (North, 1990) par opposition aux « manières de jouer » des routines évolutionnistes (Pelikan, 2003)[3].

Les règles-contraintes comprennent les institutions diverses - publiques, privées et/ou interindividuelles [*cf.* Bessy et Brousseau (2006)]. La propriété commune de ces règles est leur caractère explicite et leur mise en place préalable au processus de coopération. En d'autres termes, les institutions constituent un cadre plus large de règles qui contraignent et, d'une certaine façon, orientent la variété des règles-routines de nature implicite que les agents emploient au cours de leur collaboration. Le cadre institutionnel – l'ensemble de règles-contraintes - se traduit principalement par la spécification des droits de propriété et de contrôle, d'accès et d'usage conférés aux agents économiques (North, 1990).

Les règles-routines se traduisent par la mise en œuvre des procédures concrètes de coopération et de production. Leur rôle est d'assurer la structure de gouvernance adéquate et les comportements cohérents des agents. Ces règles sont particulières à chaque collectif des agents ; elles sont encastrées à un moment donné dans le contexte social concret. Une des caractéristiques spécifiques du F/OSS consiste dans la distribution des droits du contrôle : par exemple, en l'absence d'une répartition explicite des tâches, la gouvernance se situe non pas du côté des règles-contraintes formelles, mais du côté des règles-routines soumises à l'évolution.

Montrer l'articulation particulière de ces deux niveaux des règles au sein des Réseaux permet d'expliquer la manière originale, par rapports aux organisations

[3] La prise en compte des institutions n'élimine pas le rôle et la place des routines, car en imposant certaines limites sur la variété, les institutions ne réduisent pas les comportements à un seul schème possible. Il s'agit simplement de tenir compte du fait que les règles-routines doivent aussi, en plus de leurs composantes idiosyncrasiques, internaliser les contraintes sociales partagées des institutions. Les institutions et les routines doivent être comprises dans leur co-évolution. Cependant ces règles n'évoluent pas nécessairement de manière simultanée (Pelikan, 2003).

conventionnelles, de résoudre le dilemme ouverture-intégration lié à la nature de la connaissance.

Au niveau théorique, le fait de montrer le lien entre ces deux aspects conduit à contester le caractère purement idiosyncrasique et unique au cas par cas de la forme Réseau. Cela ouvre la voie pour la discussion sur les potentiels de cette forme dans les différents domaines de création de connaissances, et sur les propriétés des arrangements institutionnels en matière de mobilisation des ressources hétérogènes productives et de réalisation du modèle d'innovation collective.

Nous supposons donc que pour l'analyse du Réseau, en tant que forme organisationnelle originale, il soit particulièrement important de mettre l'accent sur le lien entre les institutions, en amont, et la structure relationnelle, en aval. Au sein du F/OSS, les institutions sont représentées par les Licences Libres et par les conventions de participation établies par l'initiateur du projet. Elles jouent alors le rôle de règles-contraintes préalables au développement de la coopération. Au cours du temps, les projets évoluent en attirant des contributeurs externes, et une structure de gouvernance se forme. La gouvernance est alors comprise comme la répartition effective des tâches, - le niveau de décentralisation du développement -, entre les membres des projets.

Nous analyserons le lien entre les institutions et la gouvernance effective à travers une étude empirique des projets de F/OSS développant tous le même type de logiciel – systèmes de gestion du contenu (content management systems, CMS). Nous procédons par le développement et l'étude d'une base de données originale comprenant 69 projets de F/OSS. Cette base de données a été créée en collaboration avec Massimiliano Gambardella, doctorant au laboratoire EconomiX – Université Paris Ouest Nanterre, il a réalisé l'extraction des données à l'aide de la solution logicielle CVSAnalY2 (Robles et *al.*, 2004).

L'échantillon comprenant un nombre limité de projets a été choisi pour deux raisons.

La première raison est méthodologique. Nous constatons un problème méthodologique dans des études existantes sur le F/OSS qui peut provoquer des résultats biaisés. Bien que les études multi-projets soient particulièrement importantes, la taille des échantillons ne conduit pas nécessairement à des résultats solides. Dans le F/OSS, l'on trouve des logiciels très différents quant à leurs structures techniques et à leur niveau de complexité. Vu que les processus organisationnels sont « spécifiques au type de production » (Hodgson, 1998), l'analyse des formes organisationnelles du Libre devrait prendre en compte la nature du produit développé et il semble plus approprié d'étudier les projets du Libre développant tous le même type de produit. Nous avons donc travaillé sur les systèmes de gestion de contenu (CMS) en créant une base de données pour ces projets.

La deuxième raison est purement technique. Les outils de récupération des archives des projets F/OSS sont très peu développés, ce qui conduit souvent à des problèmes d'incompatibilité technique entre ces outils et les formats des projets à récupérer. Ce problème peut être résolu par une simple exclusion des projets « problématiques ». Une telle approche reste possible si on fait abstraction de la nature des logiciels étudiés et si l'échantillon initial inclut un très grand nombre de projets différents. En revanche, si on se focalise sur un groupe particulier de projets développant tous le même produit, une telle exclusion des projets « problématiques » réduit considérablement la base des données. La solution dans ce cas est de corriger, manuellement et au fur et à mesure, les problèmes techniques, ce qui nécessite un travail important de la part des ingénieurs. Tout au long de la réalisation d'extraction des données, nous avons gardé le contact, notamment par le retour des rapports des bogues, avec les ingénieurs de GSyC/LibreSoft group, Universidad Rey Juan Carlos (Madrid), qui sont les développeurs du logiciel CVSAnalY2. En partie grâce à cette collaboration, pendant notre étude, le logiciel a été plusieurs fois mis à jour et a évolué vers une version relativement plus aboutie. Pour nous, l'interaction avec les développeurs a été d'autant plus importante qu'elle nous a permis de nous intégrer, d'une certaine façon, au développement du logiciel libre.

Nous montrons que les droits de propriété définis dans les licences, au moment de lancement du projet, influencent de manière significative la structure de gouvernance que les agents vont probablement développer et adopter dans le processus de production.

II.2 Distribution of property rights and governance in F/OSS

Introduction

The emergence and expansion of a specific mode of production called the Commons-Based Peer Production[4] (CBPP) is a recent phenomenon. The specificity of the CBPP consists in two aspects: the way the products are created and its property rights regime (West and Gallagher, 2006). Despite the rapid expansion of the CBPP to different knowledge-intensive domains such as music and literature, the most well-known case of its application is the development of free and open source software (F/OSS).

First of all, the membership, in CBPP and in particular in F/OSS, is relatively open. As a result, participants with different skills and experiences, geographically dispersed, can exchange their works-in-progress while gaining "extra sets of eyes to catch mistakes, identify problems, and improve quality" (Lee and Cole, 2003). Secondly, the coordination is ensured essentially by the scope of informal norms, without relying on methods of command and control. The formal institutions are represented by means of specific free licences, such as the GNU General Public Licence (GPL), the Creative Commons licence (CC), the BSD licence, etc, and, in some cases, by ancillary participation requirements. The essence of the Licensing agreements consists in the idea that "authors do not renounce their rights but only the monopoly rent such rights would authorise in a copyright regime" (Jullien and Zimmermann, 2006). In practice it means that contents (such as source code or artworks) are publicly available and can be shared among users (Ibid.).

Whereas some projects in CBPP are very small, others connect hundreds of heterogeneous participants. Together they create highly complex products famous for

[4]The concept was firstly defined as "Commons-based peer production" by Y. Benckler in "Coase's Penguin, or Linux and the Nature of the Firm" (Benkler, 2002).

their quality and adequacy to the users' needs [(Lee and Cole, 2003); (Bonaccorsi and Rossi, 2003); (Moon and Sproull, 2002); (Benkler, 2002)]. It comes as no surprise that one of the questions that occupies many researchers is: how do participants coordinate their efforts to achieve coherent and synergic innovation processes while being dispersed across time and space?

The existent literature on governance in CBPP provides two distinct types of explanation: the first one spotlights the role of self-organization [e.g. (Axelrod and Cohen, 1999); (Kuwabara, 2000); (Lanzara and Morner, 2003), (Van Wendel de Joode, 2004)]; and the second one focuses on the role of formal institutions [e.g. (Bonaccorsi and Rossi, 2003); (McGowan, 2001); (O'Mahony, 2003)]. Self-organization is the process "whereby new emergent structures, patterns and properties arise without being externally imposed on the system" (Zimmerman *et al.*, 2001). Thus, according to the first approach efficient innovation in CBPP is mainly due to emergent properties of governance arrangements; and "formal mechanisms have a limited role in solving the issues addressed by the design principles" (Van Wendel de Jood, 2004). The second approach stresses the importance of formal arrangements, i.e. licensing agreements, designated to protect the participants' contributions from proprietary appropriation.

This paper contributes to the discussion on the characteristics of governance structure – i.e. distribution of rights among the participants – employed in CBPP to coordinate participants' contributions. The primary goal of this paper is to make a bridge between the two aforementioned approaches. Using the example of F/OSS, we found out that emergent characteristics of governance in F/OSS are partially determined by the formal institutions specified *ex ante* before the launch of development process. This analysis provides also the following important insights on the organization in CBPP:

(i) there exist diverse governance forms in F/OSS which differ significantly in their internal structure and levels of decentralization;

(ii) contributors to the F/OSS projects do not always maintain and exercise the scope of rights over their work;

(iii) both copyright holder and the "copyleft" provision in the licensing agreements significantly impact the governance structure in F/OSS. These findings allow us to outline a classification of the governance forms employed in F/OSS.

For the purpose of our study an original data base of F/OSS projects has been created. The paper relies on the property rights theory and theoretical framework of common pool resources (Ostrom, 1990).

The remainder of the paper is organized as follows. The first section (1) introduces the research framework and discusses the specificity of the distribution of property rights in F/OSS. Section two (2) explains how the data was collected and how the measures were constructed. Final section (3) presents the model results.

1 Research Framework and Predictions

The paper focuses on the link between *ex ante* formalized institutions and a subsequent governance structure. Under the governance structure we assume particular distribution of control rights among the participants. In general, depending on the distribution of rights in a given organisation, it can shape a market-like form of quasi-independent peers, a firm-like form of participants having a wide disparity in rights, or else a network-like cooperation of *interdependent* agents.

The formal institutions in F/OSS are represented mainly by Free Licenses which are completed, in some cases, by participation requirements. In this respect we mobilise property rights theory and especially the literature on management of

common pool resources (CPR) [(Ostrom, 1990); (Ostrom *et al.*, 1999); (Schlager, 1994)].

The theoretical framework adopted in this study finds its origins in a different setting of management of natural resources. However, results from research on CPR have increasingly been applied for knowledge resources, particularly in a digital environment [(Hess and Ostrom, 2003); (Ostrom and Hess, 2007), (Van Wendel de Jood, 2004)]. This framework views the concept of property rights in the economic perspective: the property rights represent a bundle of rights aimed at the optimization of *ex ante* (search and bargaining) and *ex post* (control for misuse and shirking) transaction costs and sustaining the dynamics of innovation and adaptation. The whole bundle consists of five rights specifying the use rights (access and extraction) and the control rights (management, exclusion and alienation) (Schlanger and Ostrom, 1992):

"Access: The right to enter a defined physical area and enjoy nonsubtractive benefits.

Extraction: The right to obtain resource units or products of a resource system.

Management: The right to regulate internal use patterns and transform the resource by making improvements.

Exclusion: The right to determine who will have access rights and withdrawal rights, and how those rights may be transferred.

Alienation: The right to sell or lease management and exclusion rights."

Each actor in the organization can be classified according to the particular bundle of rights the actor holds. "This bundle determines to which degree the actor has control over access to and use of the resources and to which extent he has control over the property rights of others" (Van de Griendt and Ruys, 2006). The distribution of control rights (management, exclusion and alienation) is of special importance in

determining the (de)centralization of governance (Agrawal and Ostrom, 2001). Decentralization implies that new actors can come to gain new powers of decision-making and new property rights over the resource. When decentralization is far reaching the members of user groups possess an important part of control rights (Agrawal and Ostrom, 2001).

Distribution of Property Rights in F/OSS

In software industry different patterns of governance co-exist. Highly decentralized market governance implies usually a common standard making software components of independent producers basically compatible. As a result all participants possess the same scope of control rights over their products and no one can affect the decisions of others. On the contrary a firm-like governance form implies high centralization rates as one participant – usually the initiator of the development process – often holds in her hands the scope of control rights.

In the case of F/OSS, licensing agreement, specifying alienation rights, and participation requirements, specifying the distribution of exclusion rights, represent the only formal institutions. All the licenses employed in F/OSS grant use (access and extraction rights) and management rights to all users independently on their participation in the project. Such distribution of use and management rights represents the main feature of the F/OSS development. This makes possible the user-centred development: i.e. sharing the development efforts with the product users. Only the owner of the license - the copyright holder possessing the exclusion rights - can re-license the content and deprive others of their rights.

Theorists often emphasize that the F/OSS contributors do not give their work away: i.e. contributors maintain and exercise rights over their work either directly by keeping the scope of rights or by assigning their copyrights to a central authority they trust in, e.g. a non-profit foundation (O'Mahony, 2003). Nevertheless, we found out that this is not necessarily the case. Quite often the participation agreements require

the transfer of rights to the project's initiator. Hence, as to the distribution of exclusion rights in the F/OSS projects, one should consider two possible scenarios:

a) In addition to licensing agreement in the project there is an ancillary participation requirement imposing the transfer of contributors' rights to the project's initiator. In this case the distribution of exclusion rights is *ex ante* specified, and the initiator possesses the scope of exclusion rights.

b) There is no ancillary participation requirement imposing the transfer of rights, and contributors maintain and exercise the scope of rights on their work. Or else, there is an ancillary participation requirement imposing the transfer of contributors' rights to a quasi-independent central copyright holder.

Finally, the right to redistribute the product (alienation right) is closely linked to the licensing terms. This right represents another feature of property regime in F/OSS: alienation right is guaranteed to copyright holder and to all other users. To what extent all the parties hold the alienation right is at the heart of a classification of Free Licenses into the following two classes:

(i) Permissive licenses (e.g. BSD) impose no restriction on software distribution in any form; thus, these licenses permit to sell or lease both management and exclusion rights.

(ii) Restrictive "copylefted" licenses (e.g. GNU GPL, LGPL) require that the modified versions of the program are distributed with the source code. Some of these licenses are considered as highly restrictive (e.g. GNU GPL) as they also restrict modified versions of the program from mingling with other software products published under incompatible licenses ("viral" provision). In any way, these licenses grant only limited distribution rights in a sense that they permit only to sell or lease management right and not exclusion right.

To summarize, in comparison to other governance forms – centralized firm-like and decentralized market-like structures - one can discover the following specific features of distribution of rights in F/OSS:

1. A part of rights, namely management right and in some cases exclusion right, is not entirely specified by the project's initiator;

2. Contributors are rarely, if ever, independent;

3. Contributors to the project are never deprived of their authorship[5];

4. Contributors to the development process always obtain some rights over the resource (e.g. use and alienation rights).

Agrawal and Ostrom (2001) argue that to produce impact, decentralization should allow new actors - members of the user groups - "make decisions about resource use and the exclusion of others from the use of resources". In the absence of employment contracts or any other formal task assignment routine, to gain powers in decision-making refers to the realization of direct contributions to the resource. In these conditions characteristics of governance are often thought in terms of development (de)centralization (Crowston and Howison, 2006) - i.e. execution of management right. Despite that the contributions to the F/OSS can be of different nature (e.g. bug-fixes, bug-reports, translation, etc.) in this paper the focus is made on the decentralization of the code contribution. In accordance with these considerations the paper analyses the factors affecting the eventual distribution of the management right between the projects' initiators and new contributors joining the F/OSS projects later on. We raise two predictions:

[5] Licensing agreement and other official documentation specify only the distribution of rights inside the project. However outside the project contributors always keep the whole bundle of property rights on the piece of code they contributed.

1. Governance structure in the F/OSS projects exhibits higher levels of decentralization if contributors are not deprived of the exclusion rights in the project;

2. “Copyleft” principle positively impacts the decentralization rates in the projects as they protect the future stream of benefits: i.e. contributors are in no case deprived of the use and management rights even on the modified versions of their program.

2 Data Collection and Measures

2.1 Data Collection

The sample of F/OSS projects was chosen from the projects hosted on SourceForge.net. Since 1999 this repository has offered the project hosting and administration tools for the F/OSS projects. Despite that SourceForge is not the only repository hosting the F/OSS projects – e.g. Savannah is often referred as the SourceForge leading competitor – it still contains the biggest base of the projects. Moreover, even the projects hosted elsewhere are often listed on SourceForge. Due to the abundance of public data on F/OSS, SourceForge repository has been used for many empirical studies [e.g. (Lerner and Tirole, 2005)].

The sample we analyse was drawn from the projects developing content management systems (CMS). “A content management system is a distributed software system which treats information in a granular way, enabling the access, versioning, and dynamic assembly of pieces of information, named contents, such as diagrams, tables, images, or pieces of text.” (Canfora *et al.*, 2002)

The CMS projects were chosen for two reasons. Firstly, to provide an accurate analysis of existent forms of governance and compare their characteristics, the projects in the sample should be comparable in terms of their technical characteristics (e.g. technical complexity). To satisfy this requirement we looked for a software product

developed by an important number of projects. Secondly, open source CMSs have been getting a lot of attention due to their high quality, no license cost, transparency and availably of the code. At the same time the lack of coordination in open source CMSs is often mentioned as an important risk on professional forums.

SourceForge support more than 3000 CMS projects. 2800 of the projects were dropped for the purpose of this study as they do not provide detailed information on contributions and/or they are individual projects with only one or two developers. Despite that one developer can use several nicknames or that multiple individuals can share one name, we believe that such cases are rare because of the reputation effects. Indeed, self-reports, published on the projects' web pages, listing the most active developers are usually compliant with the list of developers on SourceForge. Then, we dropped the projects containing some bugs in contribution reports and provoking the problems of data processing. At the final stage we removed the projects with a life span of several days as the time factor is very important for the venue of newcomers (Von Krogh *et al.*, 2003).

This selection has resulted in a sample of 69 projects. To collect data on the distribution of rights among participants and the resultant governance form, we analysed the archives of Concurrent Versions System (CVS) and/or Subversion (SVN) of each project. CVS and SVN are the version control systems which are used extensively in the F/OSS projects (Koch and Schneider, 2000). They keep all the work and all changes in the files uploaded by the project's contributors. Usually they contain a number of documentation files explaining the terms of licensing and participation requirements to contributors. To extract and analyse statistical information on contributions out of CVS and Subversion we used CVSAnalY2 tool (Robles *et al.*, 2004). This tool logs and transforms statistical information on contributions in database SQL formats so that the results can be analyzed in an easy way. CVSAnalY2 was initially used by scientists in software engineering. However, its scope of application goes beyond the study of technical characteristics of development process

and embraces social and economic aspects of F/OSS [*cf.* (Lopez-Fernandez *et al.*, 2006)].

2.2 Measures

We distinguish between the project's initiator and other contributors. In the projects initiated by physical persons, initiators are identified on the basis of time criteria: initiators are individuals or groups starting the project. It was noticed that the influx of newcomers takes place on average the 170th day of the project functioning. However, in some projects in our sample, there was also an additional influx of newcomers in the very beginning - between the first and the sixteenth days of the project's lifespan – and then during a certain period there was no change in the participating staff. These results are not surprising as the F/OSS projects are often initiated by several persons. Therefore, we considered the participants joining the project during the "first period", when the project is still unknown, as taking part in the project's initiation.

Some projects in our sample were initiated by juridical persons. To distinguish the initiators from other contributors we checked for each participant her affiliation to the firm-initiator. This was possible because such projects usually publish the list of the official developers on the project's web page.

Dependant variable

Decentralization. This variable reflects to what extant new actors gain powers of decision-making and control over the resource. Decentralization is represented by the scope of the management rights possessed by the new contributors in the project. The management right is thought in terms of contribution of code: i.e. addition of new lines of code and removal of previously written lines. For the newcomers this variable is calculated as the weight of their contributions in the total number of lines added and removed (*management rights of newcomers* = 1-*mananagement rights of initiator*). Decentralization, hence, belongs to [0;1].

Independent variables

Our focus is made on the role of formal institutions in orienting subsequent self-organization processes in F/OSS. Thus, the independent variables in the study are represented by the rights formalized *ex ante*.

1) *Alienation Rights*. We code the alienation right as a dummy variable where 1 indicates that alienation rights are restricted by the "copyleft" provision - the rights of contributors are protected. As was mentioned above in the section Research Framework the specificity of F/OSS property regime makes this variable equal for the project's initiator and all other users.

2) *Exclusion rights*. This predictor is also coded as a 0/1 variable indicating whether newcomers get some rights in the project. Therefore, 0 indicates that the initiator assigns herself the role of copyright owner and newcomers are completely deprived of their exclusion rights. Otherwise, if the contributors keep their rights (directly or through the mediation of an independent central copyright holder), the variable takes the value of 1.

3) *Project Age (t)*. We include the projects' life span as a control variable. This variable represents the number of days since the beginning of the project. A body of earlier research on F/OSS substantiates the crucial role of the time factor for the integration of new participants. Probably the best known model about the structure of the F/OSS projects is the "onion model" [(Moon and Sproull, 2002); (Crowston and Howison, 2005)]. At the centre of the onion are the core developers, contributing the code and overseeing the design and evolution of the project. In the next layer are the co-developers who submit bug fixes, which are reviewed by the core developers. Further out are the active users providing bug reports and testing new releases. In the last layer are the passive users (Crowston *et al.*, 2006). Newcomers usually spend much time participating at the "periphery" before moving on to more important tasks in the core [(Von Krogh *et al.*, 2003); (Sack *et al.*, 2006)]. In this way the governance structure of the F/OSS projects evolves over time.

The goal of this study is to show that the formal distribution of rights has significant impact on further self-organization processes and on eventual characteristics of governance structure in F/OSS. We hypothesise that:

- Decentralization is higher when the licenses are more restrictive; otherwise the control of the initiator will be more important, and the activity of newcomers in the project - lower.

- Decentralization increases with the scope of exclusion rights possessed by the contributors: the more exclusion rights are maintained by the contributors, the higher will be the rate of participation, and the lower control from the initiator will be needed.

3 Results

3.1 Descriptive Results

11 projects (15.94%) in the sample are published under the permissive (BSD-like) licenses and 58 projects (84.06%). Among the projects with restrictive licenses 73.91% of the projects have highly restrictive licenses, GPL-like, license. Actually such a distribution is not surprising: the dominant role of the GPL (78% of all the projects on SourceForge) has been already discussed in the many-projects F/OSS studies [e.g. (Lerner and Tirole, 2005)]

In 41 projects (59.42%) the initiator is the copyright owner; 11 of these projects are published under the permissive license. In other words, in all the projects using the permissive licences the initiator owns the copyright.

Table 1 demonstrates the descriptive statistics for the variables.

Table 1: Descriptive statistics

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Decentralization	69	0.259791	0.349297	0	1
Exclusion	69	0.405797	0.494643	0	1
Alienation	69	0.84058	0.368749	0	1
t	69	791.0217	744.6905	28.1	3112

Table 2 lists the correlation coefficients significant at the 10% level or better. It shows that decentralization is positively correlated with time, t (*pwcorr* = 0.5021, p < 0.1). As we predicted decentralization positively correlates with both exclusion rights of newcomers (*pwcorr = 0.2181*, p < 0.1), and with licenses' restrictiveness (p = 0.2218, p < 0.1).

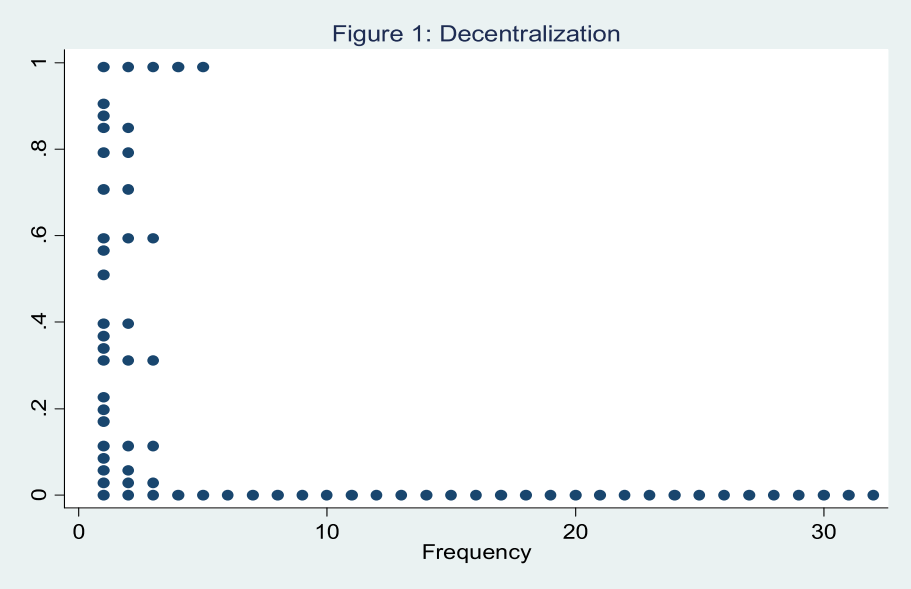
Alienation right also positively correlates with exclusion right (*pwcorr* = 0.3599, p < 0.1). It means that publication of the project under a certain license can impact the choice of the copyright holder. This is not surprising: in our sample all the 11 projects published under the permissive licenses have a very similar structure - i.e. the copyright holder is represented by the project's initiator. Under other two licenses different forms of distribution of the exclusion right were presented. In general, these results confirm our assumptions.

Table2: Pairwise Correlations

	decentralization	exclusion	alienation	T
decentralization	1			
Exclusion	0.2181*	1		
Alienation	0.2218*	0.3599*	1	
t	0.5021*	0.0665	0.1235	1

Significance level: * 0.1

The distribution of the dependant variable is highly skewed. Almost 45% of the projects in the sample are very centralized in a sense that the initiator entirely or almost entirely controls contribution of the code.



To correct skew, we realized supplementary data processing before undertaking the regression analysis. Firstly, the cluster analysis for the dependant variable was conducted to cluster the projects with a similar level of decentralization. Non-hierarchical clustering approach was applied. Three levels of governance decentralization were explored: (1) zero decentralization (*decentralization*=0); (2) intermediate decentralization (0<*decentralization*<0.5); and (3) high decentralization ($0.5 \leq$ *decentralization* ≤ 1). Table 3 summarizes these results.

Table 3: Cluster Analysis, Decentralization

decentralization	Range	Freq.	Percent	Cum.
1	0	31	44.93	44.93
2	0.003 - 0.4	20	28.99	73.91
3	0.5 - 1	18	26.09	100
Total		69	100	

After these supplementary steps, our data set has the three level outcome variable indicating the level of decentralization and three predictors: dummy *exclusion* indicating whether the contributors obtain some exclusion rights in the project; dummy *alienation* indicating whether the contributors keep the rights over the modified versions of their product; and *t*, which is the project's age.

Table 4: Summary of Variables

Variable	Definition
DEPENDANT VARIABLE	
Decentralization 1 2 3	Scope of management rights possessed by the newcomers; belongs to [0;1]: *decentralization* = 0 $0.003 \leq decentralization \leq 0.4$ $0.5 \leq decentralization \leq 1$
INDEPENDENT VARIABLES	
Alienation	Distribution of alienation rights
0	Permissive licences (e.g. BSD)
1	Restrictive licences (e.g. LGPL) and Highly restrictive licences (e.g. GPL)
Exclusion	Distribution of exclusion rights
0	Contributors transfer their rights to the initiator
1	Contributors keep their rights
t	Project age

3.2 Regression Results

To explore the impact of alienation and exclusion rights on decentralization, ordered logit model was conducted [(McKelvey and Zavoina, 1975); (McCullagh, 1980)]. Ordered logit is the appropriate model when the dependent variable consists of more than two categories which can be ordered. In our case, the increasing levels of decentralization have a progressive characteristic. The underlying assumption of ordered logit regression is the proportional odds assumption. A likelihood ration test shows that we have not violated the proportional odds assumption: chi-square value of 2.87 (p = 0.2379) for *exclusion* and chi-square value of 1.83 (p = 0.40) for *alienation*. To be sure that our model does not exhibit multicollinearity problem (Hair *et al.*, 1995) ordered logit was conducted separately for the alienation and exclusion predictors. The following two regressions were estimated:

$$Logit(p_1 + p_2) = \log \frac{p_1 + p_2}{1 - p_1 - p_2} = \alpha_2 + \beta_1 exclusion + \beta_2 t$$

$$Logit(p_1 + p_2) = \log \frac{p_1 + p_2}{1 - p_1 - p_2} = \alpha_2 + \beta_1 alienation + \beta_2 t$$

$$\text{and } p_1 + p_2 + p_3 = 1$$

The results of the regressions for the governance characteristics in F/OSS are showed in Table 5. In both regressions we examine the robust type of standard error reported.

The Wald Chi-Square statistic of 28.65 and 37.6 with a p-value of 0.0000 means that our model, as a whole, is statistically significant; *alienation* and *exclusion* are both the predictors in the model. The estimates in the output are given in the ordered logarithm of the odds (the log odds). One can see that for a one unit increase in contributors' exclusion rights (i.e. going from 0 to 1) we expect a 1.064 increase in the decentralization log odds, given other variables in the model are held constant.

Table 5: Ordered Logit Regression Results

variables	decentralization	Cut1	Cut2	decentralization	cut1	cut2
exclusion	1.064*					
	(0.578)					
t	0.00212***			0.00204***		
	(0.000396)			(0.000385)		
alienation				1.297***		
				(0.498)		
Constant		1.657***	3.565***		2.305***	4.170***
		(0.451)	(0.647)		(0.478)	(0.588)
Wald chi2(2)	28.65			37.6		
Prob > chi2	0			0		
Log pseudo likelihood	-56.32			-56.79		
Pseudo R2	0.24			0.23		
Obs	69	69	69	69	69	69

Robust standard errors in parentheses *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

For *alienation*, under the "copyleft" provision, we expect a 1.297 increase in the expected value of decentralization in the log odds scale, given all of the other variables in the model are held constant. The time factor, *t*, has significant positive impact on decentralization. However its influence is less appreciable, than the impact of other two variables.

Table 6 displays the results as proportional odds ratios. Going from 0 to 1 for the exclusion right, the odds of the combined intermediate and high decentralization versus low are 2.897 times greater. Likewise, for a one unit increase in *alienation*, the odds of the intermediate and high decentralization versus low decentralization are 3.659 times greater given that the other variables are held constant.

Finally we computed the predicted probabilities for the variables *exclusion* and *alienation*. These results are summarized in Table 7. The predicted probability of the lowest level of decentralization is 0.665 and 0.495 if alienation rights are not restricted and projects' initiators posses the scope of exclusion right over the code. Otherwise, the predicted probability is much lower - 0.35 and 0.25 for *alienation* and *exclusion* respectively.

Table 6: Results as Proportional Odds Ratios

variables	decentralization	Cut1	Cut2	decentralization	cut1	cut2
exclusion	2.897*					
	(1.674)					
t	1.002***			1.002***		
	(0.0004)			(0.000386)		
alienation				3.659***		
				(1.82)		
Constant		1.657***	3.565***		2.305***	4.170***
		(0.451)	(0.647)		(0.478)	(0.588)
Observations	69	69	69	69	69	69

Robust standard errors in parentheses *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

For the intermediate and high levels of decentralization the predicted probabilities are higher when contributors keep the rights over the modified versions (i.e. alienation right is restricted by "copyleft") and exclusion right over the product. For instance, for the highest level of decentralization, predicted probabilities are 0.2217 and 0.3045 versus 0.07 and 0.13.

Table 7: Predicted probabilities for *Decentralization*

Predicted probability of *Decentralization* = 0			
Alienation	Prediction	*Exclusion*	Prediction
0	0.665	0	0.4953
1	0.3523	1	0.2531
Predicted probability of 0.003 ≤ *Decentralization* ≤ 0.4			
Alienation	Prediction	*Exclusion*	Prediction
0	0.2621	0	0.3734
1	0.4259	1	0.4424
Predicted probability of 0.5 ≤ *Decentralization* ≤ 1			
Alienation	Prediction	*Exclusion*	Prediction
0	0.0722	0	0.1313
1	0.2217	1	0.3045
alienation	*t*	*exclusion*	*t*
x= .84057971	791.02174	X= .4057971	791.02174

These results provide some important insights. Firstly, the decentralization of development is very sensible to the terms of licensing agreements. Particularly, under the permissive licenses, which do not restrict the alienation right, the level of decentralization is generally low. We interpret this result as strong support to our hypothesis: the scope of rights over the resource, including the modified versions of the program, is necessary for the decentralization of the governance structure. To be sure that all the interdependencies were captured in the model, we additionally checked for some possible differences between the restrictive and highly restrictive licenses (with "viral" provision). We found out that these licenses have the same impact on the decentralization rates. Therefore, the "viral" provision of the highly restrictive licenses, prohibiting the mingling of the program with products under incompatible licenses, is not as important as the "copyleft" provision.

Secondly, the decentralization of the development process is impacted by the distribution of exclusion right – the rights specifying the copyright owner in F/OSS. When the copyright holder is represented by the initiator, which has exclusive right to determine who has access and withdrawal rights in the project, the decentralization

goes down. Interestingly, no significant difference in the decentralization rates was found between the projects with a central independent copyright holder (e.g. foundation) and the projects where contributors directly exercise the scope of rights. This means, that the volume of the exclusion rights in the contributors' disposition is of less importance than the fact, that these rights are well protected and the contributors as well as other users will not be deprived of their rights once upon a time.

Finally, our data indicate that alienation right can also affect the distribution of the exclusion right: in all the projects published under the permissive licenses, the copyright holder is represented by the initiator. Deeper research on the influence of alienation right on the distribution of exclusion right is absolutely necessary in the future.

Conclusion

An important question which occupies many researchers is how heterogeneous contributors in F/OSS coordinate their efforts to achieve coherent and synergistic innovation processes? The importance of various informal mechanisms, emerging alongside the projects' evolution and the structuring of social network, was pointed in the literature [e.g. (O'Mahoney and Ferraro, 2007), (Van Wendel de Jood, 2004; 2005)]. However, the role of formal institutions preceding members' interaction, e.g. licenses and participation requirements, is often underestimated. In this paper, we have analysed the impact of the formal institutions on the decentralization of governance in the F/OSS projects.

Our empirical study substantiates that formal institutions, specifying the distribution of alienation and exclusion rights, pre-determine the level of governance decentralization in the F/OSS projects. Our results are consistent with the findings from the researches on common pool resources. According to the CPR perspective

successful decentralization necessitates that the members of the user groups possess the power over the resource. In these conditions actors are capable of cooperating with each other and of establishing norms encouraging and reinforcing cooperative behaviour (Schlager, 1994).

F/OSS while being joint in supply (i.e. it is not subtractable) is, however, vulnerable to usage that would threaten the resource availability: "use of the software will not diminish in the present, but the future stream of benefits is at risk." (O'Mahony, 2003) Consequently, to what extent contributors of the code control their work and future stream of benefits is of crucial importance for the governance decentralization. Under very permissive licences, which do not restrict alienation right, future benefits are at risk and the project's initiator extensively controls the development process. Similarly, when the initiator of the project possesses the scope of exclusion right on the contributions, even if the alienation right is restricted, involvement from outside the initial developer is lower.

To summarize our results, we suggest that the F/OSS projects may be classified into three groups according to the formal institutions and resultant levels of decentralization. Regarding the alienation right we distinguish between restrictive and permissive licenses. Within the group of projects published under the "copylefted" restrictive licenses we single out the projects with the initiator-copyright owner. The identified three groups are presented in Table 8.

Table 8: Classification of the F/OSS Projects

GROUP 1	**GROUP 2**	**GROUP 3**
Permissive License	Restrictive License	Restrictive License
Initiator = Copyright Owner	Initiator = Copyright Owner	No Central owner or Independent authority
Mean *decentralization* 0.08	Mean *decentralization* 0.24	Mean *decentralization* 0.35
Silverstripe, Cacms, Exponent…	Silex, Mediomanager, Nucleus…	Plume, Vbdrupal, Codice…

A number of previous academic studies examining F/OSS point out that the projects' development is not always as decentralized and distributed as the F/OSS practitioners claim [e.g. (Gacek and Arief, 2004); (Mockus *et al.*, 2000; 2002); (Moon and Sproull, 2002)]. Our study confirms these finding. Indeed, often in the F/OSS projects the initial developer handles the important part of the development process; and the development is quite centralized and elitist.

TROISIÈME PARTIE

Les modalités de gouvernance et l'efficience de Réseau.

III.1 Introduction de la troisième partie

L'incertitude radicale et la complexité élevée liées au processus de l'innovation se traduisent par la mise en œuvre de la problématique économique spécifique, que nous désignons ici par le dilemme « ouverture-intégration ». Trouver une solution efficace implique, dans ces conditions, d'identifier une forme organisationnelle au sein de laquelle les agents hétérogènes et multiples pourraient interagir de manière efficace et réaliser l'innovation collective.

Comme la montre la première partie théorique de notre thèse, cette problématique constitue un dilemme difficilement soluble lorsqu'on réduit le champ des formes organisationnelles au choix entre la forme faiblement couplée du Marché et la forme fortement couplée de la Firme.

Dans le cas de la forme faiblement couplée, l'approche par la modularisation a comme base la délibération préalable au processus de développement qui implique, en particulier, la stabilité des heuristiques de représentation du problème et la mise en place des règles de communication plus ou moins standardisées. Les agents agissent de manière indépendante, leurs interactions sont réduites au minimum et ils ne partagent pas la représentation globale du problème à résoudre. Cela peut empêcher l'intégration de leurs actions. D'un côté, cette forme de développement ne nécessite pas des investissements spécifiques (par exemple, en terme de temps) et, de ce fait, est assez facilement réalisable. D'un autre côté, ses capacités à répondre au dit dilemme semblent être limitées : le développement bénéficie, dans une certaine mesure, de la diversité des connaissances et de la division du travail cognitif, mais en absence de l'intégration des actions des agents et de la « culture commune » de leurs interactions, ces bénéfices sont limitées.

A son tour, l'organisation fortement couplée avec la coordination étroite des actions des agents permet d'éliminer le problème d'intégration, mais entraîne des coûts de recherche élevés en termes de temps et d'efforts. Toutefois, elle ne garantit

pas un résultat favorable à cause des erreurs d'interprétation et de représentation du problème. Ainsi, le problème intrinsèque de cette forme face au dilemme ouverture-intégration correspond au manque de diversité des connaissances et au manque de la division du travail cognitif.

L'ensemble de ces considérations explique l'intérêt du monde académique pour l'étude de la coopération en Réseau en tant que forme organisationnelle originale, qui n'est ni fortement ni faiblement couplée à strictement parler, mais « emprunte » des éléments pertinents des deux formes. De ce fait, elle semble être la plus adaptée pour la création des connaissances.

Tout comme l'organisation faiblement couplée, le Réseau a pour base une divergence des représentations. Cependant, contrairement à la structure modulaire, les règles de communication entre les composantes (l'interface) ne sont pas imposées aux participants. En l'absence, en amont de la production, d'une représentation partagée du problème et de règles de communication formalisées, la logique de développement du système repose sur la mise en relation des connaissances hétérogènes et *a priori* indépendantes. En d'autres termes, elle repose sur la création des nouvelles complémentarités, qui émergent au cours des interactions, et dont l'efficacité est imprévisible *ex ante*.

Au fur et à mesure que les normes de comportement se forment au cours du développement du système, elles procurent des facultés de création et d'innovation intégrée grâce à la mise en place d'une « connaissance collective » : «un ensemble de connaissances individuelles complémentaires qui ne peuvent prendre sens (répondre à une question) qu'associées aux autres connaissances individuelles » (Dibiaggio, 1999). En fin de compte, cette connaissance collective conduit à une représentation partagée du problème et donc à une mise en place des comportements cohérents des participants, comme dans le cas de l'organisation fortement couplée.

De ce point de vue, la coopération en Réseau peut permettre de pallier à la fois les défaillances de la Firme, grâce à la circulation de connaissances et à la division du travail cognitif, et celles du Marché, grâce à une intégration du développement.

La deuxième partie de la thèse a mis en lumière le fait que dans les projets réels du Libre, les règles de comportement qui se forment au sein du Réseau peuvent avoir des structures d'autorité différentes. Souvent dans les projets de F/OSS le processus du développement, tout en étant toujours émergent, implique de faibles degrés d'engagement des contributeurs externes. De ce fait, nous constatons que le Réseau conçu comme une forme flexible et ouverte aux contributions externes, ce qui constitue d'ailleurs la source principale de son efficacité, correspond aux modalités diverses de l'organisation.

Nous nous demandons maintenant si toutes ces formes de Réseau ont les mêmes capacités productives face à la spécificité des connaissances et au dilemme ouverture-intégration qui en résulte. Pour évaluer les capacités productives des réseaux au sein du F/OSS nous utilisons la métrique « Rank » comme mesure de performance des projets. Cette métrique prend en compte la popularité des projets auprès des utilisateurs et l'activité productive dans les projets.

Qui plus est, analyser cette question est indispensable pour pouvoir positionner le Réseau, en tant qu'alternative productive, par rapport aux autres formes organisationnelles.

Si par exemple, tous les types de réseaux, indépendamment de leurs structures relationnelles, répondaient de la même manière aux problématiques de l'intégration du processus de développement et de la circulation des connaissances, nous devrions constater qu'ils constituent en soi un continuum de formes organisationnelles *parallèle* au continuum Marché-Firme (ce dernier se caractérise par des degrés différents de modularisation et de standardisation).

En revanche, si certains réseaux avaient des traits qui ressembleraient à ceux des formes faiblement ou fortement couplées, il serait légitime de représenter l'ensemble des formes organisationnelles en tant qu'un continuum entre trois extrêmes, telles que le Marché, la Firme et le Réseau.

Selon les éléments déjà exposés, ces traits communs entre les réseaux et les formes alternatives devraient s'exprimer de manières suivantes :

Si le mode de gouvernance adopté dans un réseau a comme résultat des interactions plutôt occasionnelles ; si la performance est facilement réalisable indépendamment du temps imparti ; et si les bénéfices de la diversité des connaissances, quoique présents, sont relativement faibles – un tel réseau aurait évidemment certaines propriétés d'une forme organisationnelle faiblement couplée avec ses problèmes intrinsèques liés au manque de l'intégration du développement. Un tel type de réseau représenterait alors une forme « hybride » ou « impure » entre le Réseau et le Marché.

Si la performance d'un réseau ne dépend pas directement du nombre des participants engagés et sa réalisation nécessite du temps et des efforts importants, on pourrait dire qu'une telle forme se rapproche en quelque sorte du développement propriétaire de type Firme. Un tel type de réseau représenterait une forme « impure » entre le Réseau et la Firme.

En fin de compte, si nous avions constaté que la performance dépend positivement de l'hétérogénéité de connaissances des participants et de leurs efforts collectifs, ainsi que du temps imparti pendant lequel la représentation partagée se forme, nous pourrions le considérer comme la forme du Réseau « pur ». Si de plus sa performance avait été la plus élevée, nous pourrions soutenir que cette forme « pure » est particulièrement adaptée pour l'innovation et la création de connaissances.

Dans cette perspective, dans la dernière partie de notre thèse nous analyserons la performance et les capacités des différents types de Réseaux face au dilemme ouverture - intégration. Dans ce but nous comparerons, du point de vue de leur efficacité et des conditions qui déterminent cette efficacité, trois groupes de projets de F/OSS, développant tous les CMS, mais adoptant des modes de gouvernance différents.

Nous mobilisons la même base de données que dans la partie précédente en y ajoutant les données sur le succès de chaque projet (Rank). Quatre observations aberrantes ont été rejetées, et l'échantillon final comprend alors 65 projets. Cette étude empirique met en lumière la distinction entre les types différents de réseaux : le réseau « pur », avec une instance de décision très décentralisée, le réseau « impur » ayants les caractéristiques d'une forme faiblement couplée, et le réseau « impur » avec les caractéristiques d'une forme fortement couplée. Nous montrons que, face au dilemme ouverture-intégration, l'avantage principal des Réseaux « impurs » par opposition à la forme « pure », est qu'ils sont plus stables et que leurs résultats sont plus faciles à prédire. Cependant, en général, le Réseau pur manifeste des performances plus élevées.

III.2 Governance and Problem-Solving Efficiency in F/OSS

1 An Evolutionary Approach to Problem-Solving

Alongside the innovation process (where the production is knowledge-intensive, the tasks are inherently complex, the environment is uncertain, and the acts are non-routine in nature) the question arises of how the problem-solving knowledge co-evolves with the governance arrangements established as part of the problem-solving activities in the organizations. This question constitutes the central problematic of the evolutionary theory of problem-solving behaviour in organizations (Marengo *et al.*, 2005; Dosi *et al.*, 2000; Marengo *et al*, 2000; Dosi *et al.*, 2006).

Within this realm, the term "problem-solving" refers to "all the acts undertaken by individuals and groups within economic organisations…to resolve organisational and technological problems and to conceptualise, design, test and build products and processes" (Dosi *et al.*, 2000). The focus is made on an important class of economic activity – the complex system design, which includes the design of artefacts and the design of the organizational structures adopted for their development. The term "complexity" introduces the idea that all these activities involve the search in large combinatorial spaces of "components" – elementary physical and cognitive acts – which are interdependent and which functional relations are only partly understood by problem-solvers. Additionally, such activities deal with the emergent properties which arise during the production process.

In tune with Herbert Simon's perspective (1962) on problem-solving, the authors assume that to resolve complex problems, problem-solvers must necessarily precede by the problem decomposition: the identification inside a large complex and intractable problem of smaller tasks and sub-problems which can be designed separately. At the level of organization this is equivalent to a division of problem-solving labour. Importantly, the division of problem-solving labour is limited by the

components' interdependencies. Also in line with Simonian theory, the authors point that the construction of the problem's representation, i.e. how the problem-solver re-frames the problem and delimits the possibility space, plays a crucial role in determining not only the structure of the problem-solving labour, but also the problem complexity.

However, unlike Simon, the evolutionary approach on problem-solving argues that the construction of the problem representation does not necessarily precede the problem-solving activity: "structuring" activities may occur, and often do (Visser, 2006), throughout the design process. This aspect is peripheral to the classical Simonian approach. Following this latter approach, many problems are "ill-structured", however by applying certain decomposition schemes, these problems rapidly acquire the structure. In other words, following Simon solving such "ill-structured" problems does not significantly differ from a "well-structured" problem. It "just" requires a preliminary step – one first re-frames the problem and then solves it (Foss and Foss, 2005).

The evolutionary approach argues that the *ex ante* problem framing has some advantages but also has important drawbacks. On the one hand, as it is discussed in Egidi and Marengo (2004), a well-structured problem representation preserves coherence of problem-solving and, in this way, permits to reduce the problem complexity. This proposition is illustrated by the discussion of the chance that a group of monkeys endowed with different elements to arrange are able to produce a verse of Shakespeare. "If monkeys are simply given a piece of paper and a pencil they will probably draw signs which are no way similar to anything understandable, but…if we give them tiles with English words and let them arrange them in sequences we might even from time to time get a short meaningful sentence". Therefore, more structured representations (tiles with English words in this case) limit the search space, impose constraints upon variability which safeguard some kind of coherent structure and, finally, significantly reduce complexity.

On the other hand, any problem framing delimiting *ex ante* the search space will be *a priori* inadequate. Moreover, the subsequent re-framing of the problem alongside the problem-solving activity, while being path-dependant, risks suffering recurrent drawbacks. The formal model presented by Marengo *et al.* (2000) confirms this intuition showing that the construction of shared representation, which evolves throughout the agents' interactions, offers a more powerful problem-solving strategy than the optimisation of any particular given representation. However, as argued in Dosi *et al.* (2000) "the looser the structure is the more difficult it is … to codify past learning achievements into some organizational memory".

In sum, the evolutionary approach sees economic organizations as specific problem-solving arrangements which map into diverse a) problem representations, b) problem decompositions, c) task assignment, d) heuristics for and boundaries to exploration and learning, e) mechanisms for conflict resolution over interests and over alternative cognitive frames (Marengo *et al.*, 2000). By means of governance and search heuristics, organizations determine the solutions to be considered as possibilities and to be ultimately selected. Therefore, the design of suitable organizational arrangements becomes even more important than the product design itself (Marengo *et al*., 2000).

With respect to these dimensions the organizational hierarchy may be seen as corresponding to complete *ex ante* representations, precise task assignment, and tight boundaries to exploration and learning. Together these characteristics make the overall configuration of the problem-solving behaviour and of the governance in the firm. The opposite form corresponds to a market-like organization with a number of representations as high as the number of agents in the industry, decentralized loose decompositions, no task assignment, and the conflict resolution through negotiation. Finally, one may designate a third form, which is neither tightly- nor loosely-coupled. The underlying principle of this organisation is flexible and emergent problem representation and problem decomposition, which evolve, by means of routines and norms, into collectively shared representation.

This last form is of special interest for the discussion of the problem-solving efficiency at least for two reasons.

Firstly, in complex design activity the "interactions between the elements of the system can only be partly expressed by general models and have to be tested through simulation, prototype building, and trial-and-error moves where learning and tacit knowledge play an important part" (Dosi *et al.*, 2000). In this view, "top-down assignments of sub-problems and formal tasks rarely match perfectly the actual decompositions achieved via "horizontal" self-organising adjustments…, the mismatches between "formal" representations and decompositions and actual (emergent) ones, are … a major drawback on organisational performances" (Ibid.). In the absence of explicit task assignment and delimitation of heuristics for exploration and learning, this type of organisation would ensure the diversity of knowledge and skills.

Secondly, the elements of the complex system have to be closely co-ordinated as the "contribution of each of the component to the overall solution depends, to various degrees, on the state assumed by other components" (Marengo *et al.*, 2000). Due to commonly shared problem representation, such an organization would preserve certain coherence of acts and would exhibit increasing returns to scale and scope.

The purpose of this paper is to analyse empirically whether and in which circumstances the emergent *bottom-up* distributions of knowledge have problem-solving advantages over market-like and hierarchical forms of organization.

This paper relies on the empirical study of Free and Open Source Software projects (F/OSS). We use F/OSS as one of the most well-known examples of the bottom-up development with flexible and emergent problem representation. For our purpose an original data base has been developed. The sample includes 65 projects all developing the Content Management Systems (CMS). Despite that all these projects work on the same task, we found out different structures of governance adopted inside

the projects. These structures are distinguished according to the role of the project's initiator in code development.

We show that the characteristics of governance structure are of crucial importance for the organisation to exhibit increasing returns to scale and scope as well as to provide high and stable performance. In particular, the paper demonstrates that only in the presence of highly decentralized governance structure, where newcomers are involved in the innovation process to the same extent as the initial designer, the organization with flexible problem representation exhibits increasing returns to scale and scope (in terms of project performance). However, it implies also high rates of risk of failure, as an important number of factors should be met to preserve the integration of development (i.e. time, productivity and important crew size). The higher the dominance of the initiator is, the more important is the "process loss" (Steiner, 1972) from the problem decomposition: organization does not exhibit important returns to scale and scope, and its performance is poorer. Notwithstanding these inherent problems, the organizations with flexible representation but more centralised governance are, however, more stable than the one with the decentralised governance.

The rest of the paper proceeds as follows: the next section (2) briefly introduces the F/OSS mode of development and specifies the research hypotheses; the third section (3) presents the empirical data on organizational forms in F/OSS; the fourth section (4) explains how the measures were operationalized; the final section (5) discusses the results of the analysis.

2 Software Development in F/OSS

Both researchers and practitioners realize that developing software is a complex process: "[software development] is not just a matter of creating effective programming languages and tools … [it] is a collective, complex, and creative effort" (Fuggetta, 2000). To consider the software development process one needs to outline

the software lifecycle, i.e. the different stages in the lifetime of a software product. The following main stages are typically distinguished: requirements analysis, specification, design, development, test, integration, maintenance [*cf.* (Royce, 1970)]. Depending on how these stages are carried out, the researches on software process distinguish different models of development: e.g. “waterfall model”, “spiral model”, etc.

The development of F/OSS represents a new original model of software development [(Scacchi, 2001); (Fogel 1999)]. In F/OSS software systems are “incrementally enhanced, released, experienced, and debugged in an overall iterative and cyclic manner” (Scacchi, 2001)

An important feature of the F/OSS development is that the Internet is the main knowledge-creation platform “with which users conveniently and cost-effectively transmit digitized information such as software code, text, picture/image, voice, and video” (Lee and Cole, 2003). The use of such a platform enables the visibility of the whole creation process. This opens the heuristics and boundaries of exploration and learning. RERO – Release early, release open - is the underlying principle of the development process: the initiator of a project creates a piece of source code and diffuses it on the Internet with a general description of his (her) ideas; this information serves as a base for the future collective work. As a result, participants with different skills and experiences, geographically dispersed can exchange their works-in-progress and gain “extra sets of eyes to catch mistakes, identify problems, and improve quality” (Ibid.). Without relying on methods of command and formal task assignment, the coordination in F/OSS is ensured by means of specific licences (e.g. GNU GPL, BSD, etc.) and by the scope of informal norms, completed in some cases by the ancillary participation agreements. The sum of these features characterising the development process in F/OSS makes evident that, in contrast to proprietary tightly-coupled or market-like modular organisations, F/OSS implies flexible and emergent problem representation which evolves alongside the development process (and not prior to it).

The practitioners of F/OSS praise the bottom-up software development in the F/OSS projects. They argue that the involvement from outside the initial developer "produces a self-correcting spontaneous order more elaborate and efficient than any amount of central planning could have achieved" (Raymond, 1998). At the same time, important number of academic studies examining the F/OSS development model substantiate that the governance structure in contribution of code is quite centralized and elitist [(Cox, 1998); (Gacek and Arief, 2004); (Mockus *et al.*, 2000; 2002); (Moon and Sproull, 2002)]. The authors point out that in many F/OSS projects the initial developer handles the important part of the development process, thus limiting the cognitive labour division.

The question arises why some projects do not fully benefit from the advantages of heterogeneous skills and opinions, which represent the main strength of the F/OSS? To discuss this question the recourse to the insights from the literature on group creativity and to the evolutionary theoretical framework is helpful.

The literature on group creativity points that only the groups with "functional, informational, or cognitive diversity" have creative potential and stimulate the dynamic and radical innovation (Paulus and Nijstad, 2003). According to the evolutionary approach to organization, to create collectively a product goes far beyond the sharing of distinct ideas, but implies complex and time-consuming processes of individual and collective learning, which gradually evolves into the shared bodies of knowledge – "sets of facts, notions, "models of the world", organizational routines" (Cohendet and Llerena, 2001). In addition, to carry into effect the coherent and synergistic cooperation of individual agents, these processes require some sufficient level of the participants' efforts (Nonaka and Takeuchi, 1995). This means that the lack of time and/or participants' efforts might entail important instabilities and hinder the integration of the development. In its turn, when the number of participants is small and/or their "cognitive distance" is not very important, the problem of integration is eliminated, but at the cost of the loss of innovation efficiency.

In accordance with these arguments we substantiate the following aspects:

1) For a task of given complexity, the flexible problem representation combined with a more decentralized governance structure – i.e. newcomers are involved in the development to the same extent as the initiator – exhibits high organization performance, but requires, in addition to the quantity of participants, important time and effort investments; otherwise, it fails. This means that such a form is potentially more risky, because the flexible problem representation implies no formal task assignments or other types of explicit control over the participants' actions.

2) For a task of given complexity, the flexible problem representation combined with a more centralized governance structure, is inherently more stable, as it is less dependant on the actions of newcomers. However its general performance is poorer, because of the lack of diversity of participants and contributions.

3 Governance Structures in F/OSS

The sample of the F/OSS projects was chosen from the projects hosted on SourceForge.net. Since 1999 this repository has offered the project hosting and administration tools for the F/OSS projects. Despite that SourceForge is not the only repository hosting the F/OSS projects – e.g. Savannah is often referred to as the SourceForge leading competitor – it still contains the biggest base of the projects. Moreover, even the projects hosted elsewhere are often listed on SourceForge. Due to the abundance of public data on F/OSS, SourceForge repository has been used for many empirical studies [e.g. (Lerner and Tirole, 2005)].

The sample we analyzed was drawn from the projects developing content management systems (CMS). “A content management system is a distributed software system which treats information in a granular way, enabling the access, versioning, and dynamic assembly of pieces of information, named contents, such as diagrams, tables, images, or pieces of text.” (Canfora *et al.*, 2002)

The CMS projects were chosen for two reasons. Firstly, to provide an accurate analysis of existent forms of governance and compare their characteristics, the projects in the sample should be comparable in terms of their technical characteristics (e.g. technical complexity). To satisfy this requirement we looked for a type of software product developed by an important number of projects. Secondly, open source CMSs have been getting a lot of attention recently due to their high quality, no license cost, transparency and availably of the code. At the same time the lack of coordination in open source CMSs is often mentioned as an important risk on professional forums.

SourceForge support more than 3000 CMS projects. 2800 of the projects were dropped for the purpose of this study as they do not provide detailed information on contributions and/or they are the individual projects with only one or two developers. Despite that one developer can use several nicknames or that multiple individuals share one name, we believe that such cases are rare because of the reputation effects. Indeed, self-reports, published on the projects’ web pages, listing the most active developers are usually compliant with the list of developers on SourceForge. Then, we dropped the projects containing some bugs in contribution reports and provoking the problems of data processing. At the final stage we removed the projects with a life span of several days as the time factor is very important for the venue of newcomers (Von Krogh *et al.*, 2003).

This selection has resulted in a sample of 65 projects. The next step was to gather the data on the patterns of cognitive labour division, i.e. governance structures, in the F/OSS projects. In this paper the level of (de)centralization of governance is thought in terms of who contributes the code. Writing the code refers to addition of

new lines of code and removal of previously written lines. We analysed the archives of Concurrent Versions System (CVS) and/or Subversion (SVN) of each project. CVS and SVN are version control systems which are being used extensively in the F/OSS projects (Koch and Schneider, 2000). They keep all the contributions and all changes in the files uploaded by the project's developers. To extract and analyse statistical information on contributions out of CVS and Subversion we used CVSAnalY2 tool (Robles *et al.*, 2004).

We distinguish between the project's initiator and other contributors. In the projects initiated by physical persons, initiators are identified on the basis of time criteria: initiators are individuals or groups starting the project. It was noticed that the influx of newcomers takes place on average the 170th day of the project functioning. However, in some projects in our sample, there was also an additional influx of newcomers in the very beginning of the project functioning (between the first and the sixteenth days of the project's lifespan). These results are not surprising as the F/OSS projects are often initiated by several persons. Therefore, we considered the participants joining the project during the "first period" (from the 1st to the 16th day), when the project is still unknown, as taking part in the project's initiation. A part of projects in our sample was initiated by juridical persons. To distinguish initiators from other contributors we checked for each participant her affiliation to the firm-initiator. This was possible because such projects usually publish the list of the official developers on the project's web page.

To evaluate how (de)centralized the instance of decision-making is, we evaluated for each project the weight of the initiators' and the newcomers' contributions in total lines added and removed. Therefore, the (de)centralization of governance belongs to [0;1]. 1 refers to a highly decentralized governance structure, where the project's initiator exercise no exclusive control over the development process, and the system's design evolves along the participants' interactions. 0 means that all the contributions are provided by the project's initiator, who entirely controls the system's design; the governance structure is centralized.

Further, we conducted the cluster analysis to cluster the projects with similar types of the development governance. Non-hierarchical clustering approach was applied. The findings are in line with the previous studies on F/OSS indicating that there is a scope of coordination forms in F/OSS. In our sample, the governance forms map into three distinct groups according to the role played by the projects' initiators and newcomers:

1. In the first group there are the projects with very centralized governance, i.e. the initiator of the project entirely controls the system's development (contribution of code). Actually, the software life-cycle value chain is somewhat decomposed, but only for the supplementary tasks (e.g. testing, bug-reporting, etc.), whereas newcomers do not participate in the code development.

2. The second group is represented by the projects with low decentralization of governance as the newcomers participate in the code development, but the initiator contributes more than 50 per cent of code.

3. In the third group the control of the project's initiator over the system's design is limited (less than 50 per cent of code), and the governance structure is highly decentralized.

Table 1 shows the three types of governance structure adopted in the F/OSS CMS projects.

Table 1: Governance structures in F/OSS

Groups	Mean	Std. Dev.	Freq.
1	0	0	29
2	0.175609	0.13610805	18
3	0.79796	0.17068318	18
Total	0.269606	0.35580299	65

For the goal of our analysis we test the following hypotheses:

H1: The mean projects' performance in the first and the second groups is poorer, but is more stable than in the third group.

H2: The time factor significantly impacts the overall performance in the third group.

H3: The participants' efforts and the crew size are very important for the performance in the third group: this organization is subject to strong increasing returns to scale and scope.

4 Measures

This section explains how the measures were operationalized.

Organization Performance (*Rank*). "The information systems success is one of the most widely used dependant variables in information systems (IS) research" (Crowston *et al.*, 2006). That's why in this paper, we use the projects' success as a measure of the organization performance and problem-solving efficiency in the F/OSS CMS projects. A number of studies discuss how the success can be operationalized for the F/OSS projects: e.g. SourceForge activity level in submitting code and bug reports (Crowston *et al.*, 2004), project popularity assessed from the number of downloads and page views (Krishnamurthy, 2002), etc.. For our purpose we use the Ranking metric of projects which is the combination of the aforementioned indices. This metric is automatically computed and reported for all the projects hosted on SourceForge.

Ranking = f(downloads) + g(page views) + h(development activity)

The first and the second components evaluate the projects' popularity including the number of posts in the mailing lists and forums of the project. The last element evaluates the activity of the bug tracking system, the age of the latest released files and the frequency of logins of the project's administrators.

The project success is in inverse relationship with ranking: “low ranking values are an index of high success, and conversely” (Rossi, 2009).

Project Age (*T*). To be efficient the organization with the flexible problem representation and decentralized governance structure necessitates “routinization” (Dosi *et al.*, 2000) of development (the construction of shared bodies of knowledge). This process takes time. Additionally, a body of earlier research on F/OSS substantiates the crucial role of the time factor for the integration of new participants [(Moon and Sproull, 2002); (Crowston and Howison, 2005); (Von Krogh *et al.*, 2003)].

Number of developers (*N*). This measure refers to the size of development team (Krishnamurthy, 2002). The number of participants involved in the development process can be measured in two ways (Crowston *et al.*, 2006): (i) by the list of developers formally associated with each project reported on SourceForge; (ii) by the examination of CVS and SVN logs where the developers contributing the code are listed. We mobilised the former approach at the stage of the selection of projects for the final sample. The latter metric evaluates the actual number of developers in the “active” development team. It was used in the paper to evaluate whether the organization is the subject to increasing returns to scale. As it was argued above, an efficient form of organization is the one which permits the efficient collaboration of high number of heterogeneous agents. Therefore, this variable is very important for our study.

Productivity. Since the F/OSS projects are usually dependant on the volunteer developers, the efforts that the developers invest in the product development can be even more significant than the sheer number of participants. The indicator of the effort is productivity – i.e. the amount of work per unit of time (Samoladas *et al.*, 2003). Some previous studies use the F/OSS projects’ productivity measured as number of code changes (lines of code (LOC) added and removed) per time as a determinant of a project’s success [*cf.* (Koch and Schneider, 2000)]. However, as it was argued in Von

Krogh *et al.* (2003) the validity of such productivity construct as the indicator of the project's success is not necessarily a good proxy, because it does not inform about the quality of contributed code. Therefore, it seems to be necessary to implement the project's productivity – i.e. mean number of changes made per day (*Total number of LOC added and removed* / *Project's lifespan in days*) - as the independent variable, which can be an important, but not a sufficient condition of the projects' success, and which completes the number of developers (*N*) in signalising the nature of returns to scope.

Pair-wise Scatterplot (Figure 1) of the variables and three governance forms is shown below.

One can see that in the third organization with very flexible problem representation and high decentralization of decision making the projects' rank is, in general, better in comparison to other two forms. The projects' lifespan, number of developers and productivity are also more important, than under more centralized governance.

The box plot on projects' rank (Figure 2) provides more detailed information about the relative riskiness and efficiency of three types of governance. One can see that the interquartile range (IQR) in the third, the most decentralized, form is the most important.

These findings support our hypothesis about the relative efficiency but high riskiness of a decentralized governance structure. Regarding other two groups, the first and the second forms imply analogous risk of failure. However, the first form exhibits the lowest performance. We conclude that for the development of content management system the first, centralized, form of governance is the less powerful problem-solving strategy. The choice of a type of governance is obviously between the second and third forms.

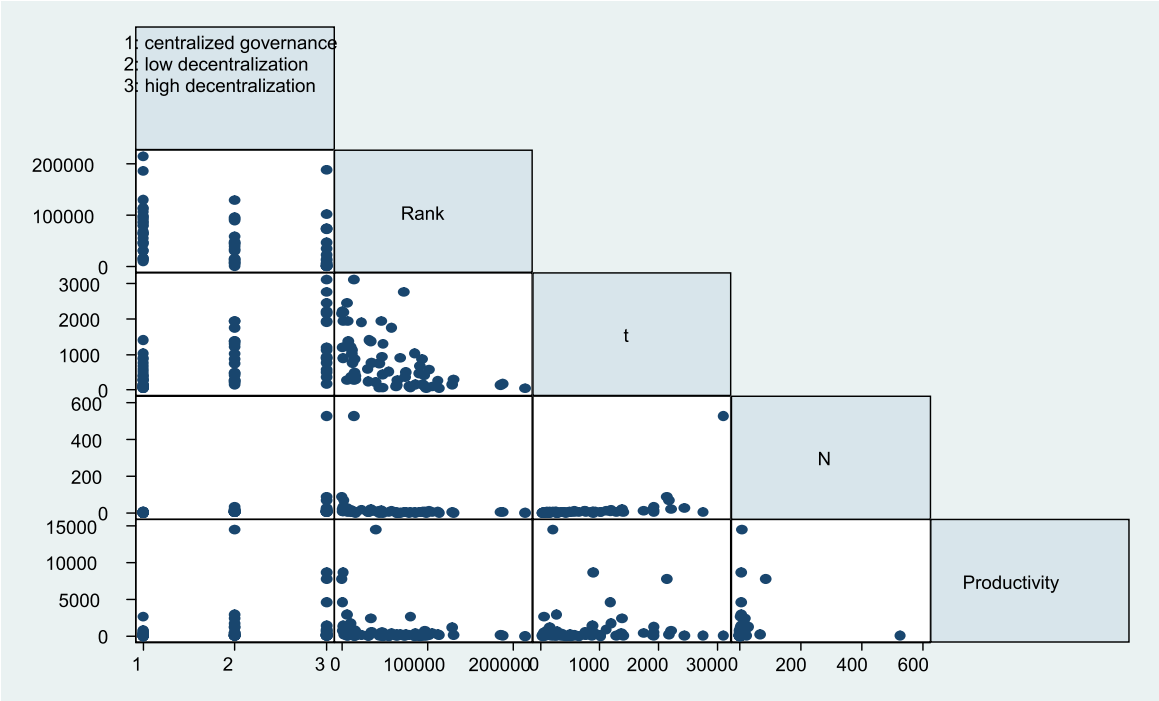


Figure 1: Pair-wise Scatterplot of the variables and three patterns of governance in F/OSS

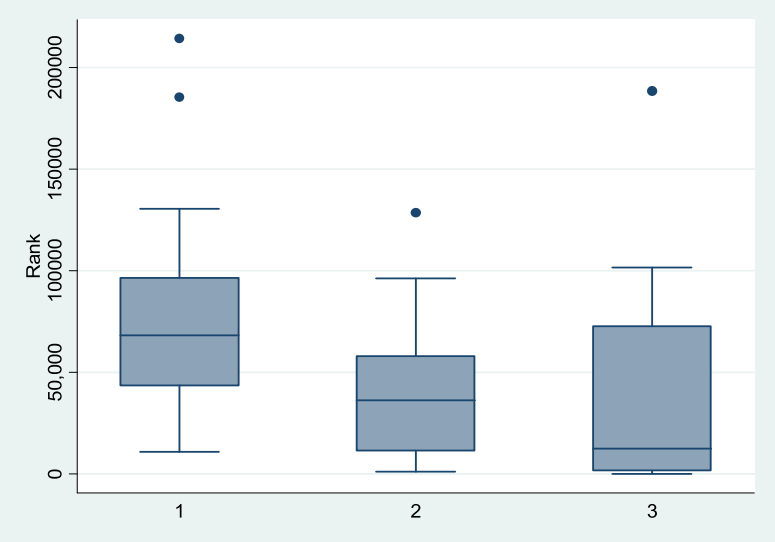


Figure 2: Box plot on rank

Table 2 shows the pair-wise correlations between the variables. Only the projects' age correlates with Rank (pwcorr = - 0.5026, $p < 0.1$). Neither the amount of contributions, nor the number of developers, positively correlates with the projects'

performance. This means that the flexible problem representation in F/OSS does not always exhibit increasing returns to scale and scope.

Table 2: Pairwise Correlations

	Rank	t	N	Productivity
Rank	1			
t	-0.5026*	1		
N	-0.1764	0.4835*	1	
Productivity	-0.1672	-0.1497	-0.0699	1

Next section deals with each of the three groups independently; it presents the results of our empirical study.

5 Regression Results

This section comprises three parts each analysing one of the governance structures identified in the sample. Form 1 corresponds to the flexible problem representation with centralized governance: the initial developer entirely controls the development process. Form 2 implies flexibility of the problem representation combined with intermediate (de)centralization of the decision-making instance: the initial developer controls more than 50 per cent of the code production, but lets some small parts of the system development to the external contributors. Form 3 refers to the flexible problem representation with no exclusive control at the initiator side, i.e. highly decentralized governance.

To test our hypotheses we estimate the following simple linear regressions:

$$Rank = \beta_1 + \beta_2 T + \beta_3 Productivity + \varepsilon$$
$$Rank = \beta_1 + \beta_2 N + \beta_3 Productivity + \varepsilon$$

Since our initial variables are highly skewed and not close enough to normal distribution we use the log transformation on *T*, *N* and *Productivity*. For the third

decentralized form we also implement the log transformation on *Rank* to retain the hypothesis of normality. In order to control for possible heteroskedasticity in the sample we conduct the linear regression models with robust variance estimates.

5.1 Form 1: Centralized Governance

When the governance structure is centralized, and the system's development is fully realized by the initiator, the projects' rank negatively correlates with time (*pwcorr* = -0.4949, $p < 0.1$) and with productivity (*pwcorr* = -0.3281, $p < 0.1$). Number of developers (*N*) does not correlate with the performance. Moreover, there is no significant correlation between the number of contributors and the project's productivity.

Table 3.1: Pairwise correlations, Form 1

	rank	logN	logT	LogProductivity
rank	1			
logN	-0.056	1		
logT	-0.4949*	0.1914	1	
LogProductivity	-0.3281*	0.2406	-0.1355	1

Significance level: * 0.1

Table 3.2: Summary statistics, Form 1

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
rank	29	74464.3	48679.2	10900	214263
logN	29	0.66928	0.63892	0	1.79176
logT	29	5.32014	1.12248	3.33577	7.2485
LogProductivity	29	4.26137	2.24623	-2.302585	7.85605

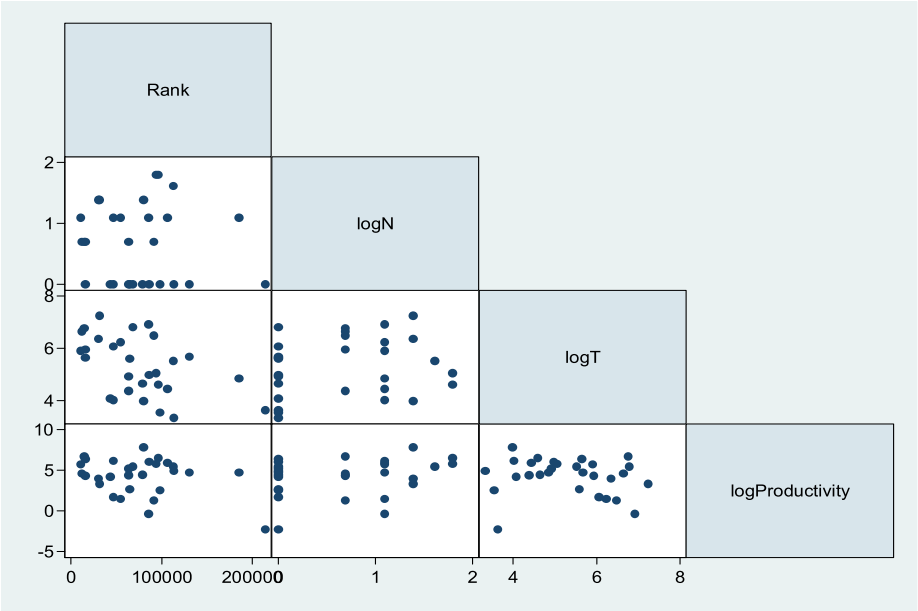


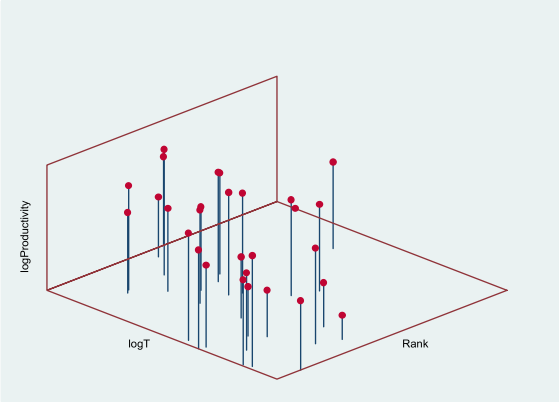
Figure 3: Pair-wise scatter plot, Form 1

The regression results are shown in Table 4 and Figure 4.

Table 4: Regression Results, Form 1

	(1)	(2)
VARIABLES	rank	rank
logN	1854	
	-0.0243	
logT		-23829***
		(-0.549)
logProjProd	-7237	-8723***
	(-0.334)	(-0.403)
Observations	29	29
R-squared	0.108	0.404

Robust normalized beta coefficients in parentheses
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1



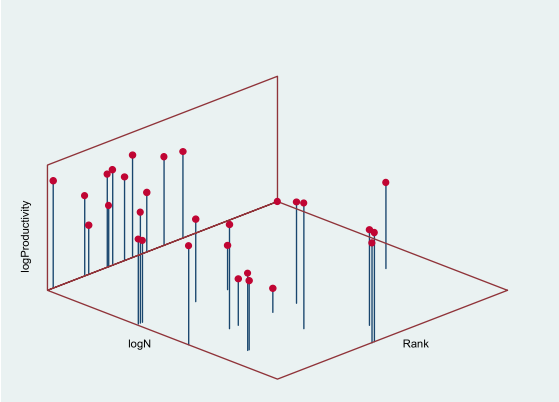


Figure 4: Regression Results, Form 1

The model exhibits good level of fit. To be sure that our model does not exhibit major multicollinearity problem (Hair *et al.*, 1995) it was checked for variance inflation factors (VIF) showing all the VIFs are within acceptable ranges (Neter *et al.*, 1996):

Table 5: Analysis of Multicollinearity

	(1)			(2)	
Variable	VIF	1/VIF	Variable	VIF	1/VIF
logN	1.06	0.9421	logProductivity	1.02	0.98164
logProductivity	1.06	0.9421	logT	1.02	0.98164
Mean VIF	1.06		Mean VIF	1.02	

The Shapiro-Wilk W test for normality indicates that the residuals in the model are close to a normal distribution ($p = 0.09$ and 0.173 respectively for two regressions). Therefore our data meet the assumption of normality underlying the linear regression models.

Only the project's lifespan and the amount of code (productivity) are important for the project performance. The number of developers is not significant. This result supports our hypothesis about the role of diversity of contributors. Indeed, in our sample the project's initiator is represented by several individuals in two cases: (i) if the project was initiated by a firm; (ii) if the project was initiated by a group of

persons. In both situations people brought together to collectively develop the system have more or less the same approach to a problem.

Interestingly, projects' productivity has a significant positive impact on the project performance only in combination with the project's lifespan. We interpret this result as follows. Because of the lack of external contributions in such projects, the essential stages of the software lifecycle – i.e. requirements analysis, specification, design, development – might require much time. Consequently, the problem-solving efficiency primary depends on the time horizon at the manufacturer's disposal. For the same reason, at the initial stages of the product development the quality of contributions may be low. However, as the project matures with time, the quality of the contributions increases. That is why productivity has significant positive impact on the organization performance only in long-run perspective.

Therefore, similarly to the proprietary projects (Dolado, 2001), the F/OSS development projects with the centralized instance of decision-making are not really subject to increasing returns to scale. Actually, the comparison with the proprietary development is not casual. Despite that the problem representation is flexible and emergent (the *RERO* principle, no formal task assignment, visibility of the step-by-step development process) the problem-solving activity resembles a lot an outsourcing in proprietary software development: the project's initiator entirely controls the contribution of code and has recourse to external sources of knowledge only for supplementary tasks (e.g. bug reporting).

5.2 Form 2: Intermediate (De)centalization of Governance

The second group of projects identified in F/OSS is the one where the project's initiator controls more than 50 per cent of code contribution. In comparison to the first form, the level of decentralization is higher as the developers from outside the initiator intervene, though poorly, in the system development.

Table 6.1: Pairwise correlations, Form 2

	Rank	logT	logN	logProductivity
Rank	1			
logT	-0.2976	1		
logN	-0.4996*	0.6231*	1	
logProductivity	-0.2656	-0.0343	0.6052*	1

Significance level: * 0.1

Table 6.2: Summary Statistics, Form 2

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Rank	18	42972.6	37246.3	1293	128574
logT	18	6.49414	0.84481	5.023222	7.56528
logN	18	1.79247	0.76403	0.6931472	3.43399
logProductivity	18	5.56708	1.97426	2.379546	9.57696

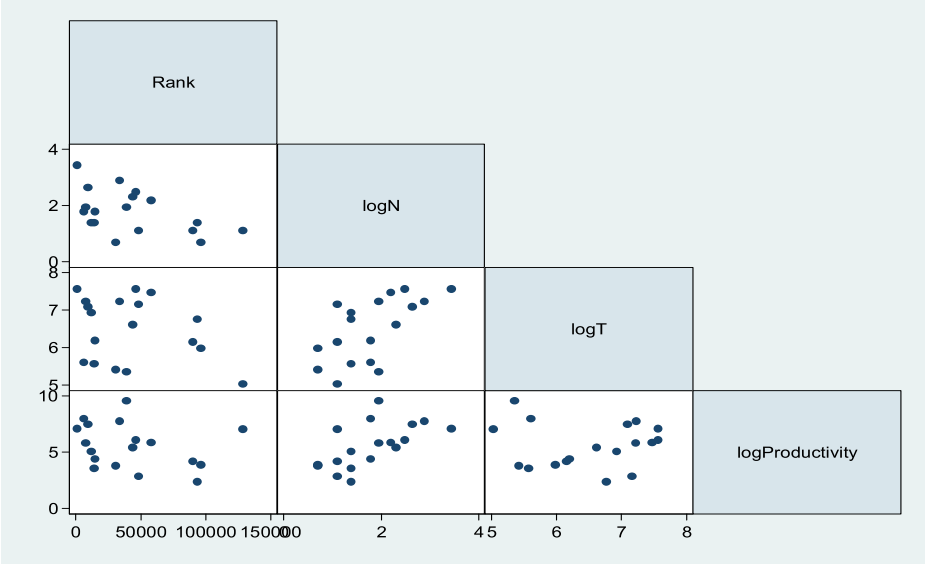


Figure 5: Pair-wise scatter plot, Form 2

Projects' rank has significant negative correlation only with number of developers (*pwcorr* = -0.4996, $p < 0.1$). Number of contributors significantly and positively correlates with projects' productivity (*pwcorr* = 0.6052, $p < 0.1$) and with time (*pwcorr* = 0.6231, $p < 0.1$). Productivity has no significant correlation with the organization performance. In other words, project's productivity is a simple accumulation of individual efforts of participants: the higher the number of developers is the more important is the productivity.

The regression results with robust variance estimates are presented in Table 7 and Figure 6.

Table 7: Regression Results, Form 2

	(1)	(2)
VARIABLES	rank	rank
logT	-13536	
	(-0.307)	
logProductivity	-5209	1095
	(-0.276)	-0.058
logN		-26066*
		(-0.535)
Observations	18	18
R-squared	0.165	0.252

Robust normalized beta coefficients in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

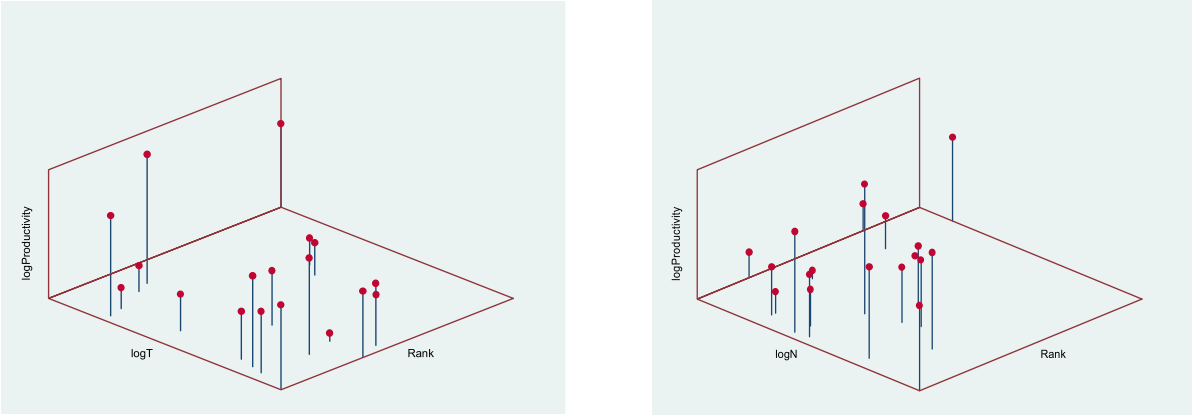


Figure 6: Regression Results, Form 2

The W test shows that residuals are normally distributed (p = 0.55 and p = 0.27). VIF indicates that multicollinearity is not a significant concern in our model:

Table 8: Analysis of Multicollinearity

(1)			(2)		
Variable	VIF	1/VIF	Variable	VIF	1/VIF
logN	1.58	0.63373	logProductivity	1	0.99883
logProductivity	1.58	0.63373	logT	1	0.99883
Mean VIF	1.58	0.63373	Mean VIF	1	

The projects with the intermediate (de)centralization of the governance structure have some interesting features.

First of all, due to the diversity of contributors, this group of projects exhibits increasing returns to scale. The project's initiator has recourse to external sources of knowledge; however, no cooperation between the contributors is needed, because the overall system's design is still under the control of the initiator. Consequently, the system benefits from the contributions of newcomers, the development time can be significantly reduced (the final performance does not depend on time) and the realization of the essential development stages advances faster.

Secondly, the organization performance does not depend on the project's productivity, what means that the development is not subject to the increasing returns to scope. As pointed in Brooks (1978) this feature can be attributed to the rising coordination costs. The initiator introduces to the system some components proposed by external developers. However, the initiator can not control the quality of these external contributions. As a result, the sheer amount of code, which is the simple accumulation of the individual contributions, does not necessarily result in higher performance.

In sum, these characteristics permit us to compare such F/OSS projects to a market-like software development with a common standard: an individual producer decides the overall design of her system and occasionally introduces to the system some external components, which are basically compatible. Similarly to a market-like organization, each introduction of external components, in spite of compatibility, necessitates some supplementary investments from the main designer to sustain the

overall performance of her system, because the contribution of each component to the system depends on the state assumed by other components. As a result, the projects' productivity does not directly influence the projects' performance.

Nevertheless, the second form of governance seems to be more suitable for the CMS development, in comparing it with the first form, for three reasons. Firstly, due to the diversity of knowledge and skills in the projects, the second form performs on average better: the mean projects' rank in the second form is lower than in the first form (42972.6 and 74464.3 respectively). Secondly, the realization of this form does not require any special conditions to be satisfied. For instance, good performance of the projects can be attained in short-run perspective (Rank does not depend on time). Finally, the inherent risk of failure of the first and the second forms are very similar.

5.3 Form 3: Decentralized Governance

The last form of the problem-solving identified in F/OSS CMS is the one with flexible problem representation and high decentralization of decision-making: the projects' initiators exercise no exclusive control over the systems' design, which evolves in an emergent manner along with the venue of new contributors and their interactions. This mode of production is often considered as the emblematic F/OSS form.

Table 9.1: Pairwise Correlations, Form 3

	logRank	logN	logT	logProductivity
logRank	1			
logN	-0.4493*	1		
logT	-0.5108*	0.6460*	1	
logProductivity	-0.7131*	-0.0043	0.0705	1

Significance level: * 0.1

Table 9.2: Summary Statistics, Form 3

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
rank	18	36651.2	49875.1	24	188382
logRank	18	9.07554	2.32387	3.17805	12.1462
logN	18	2.31844	1.46449	0.69315	6.2691
logT	18	7.03615	0.7905	5.1625	8.04302
logProductivity	18	5.62865	1.92137	2.60269	9.06431

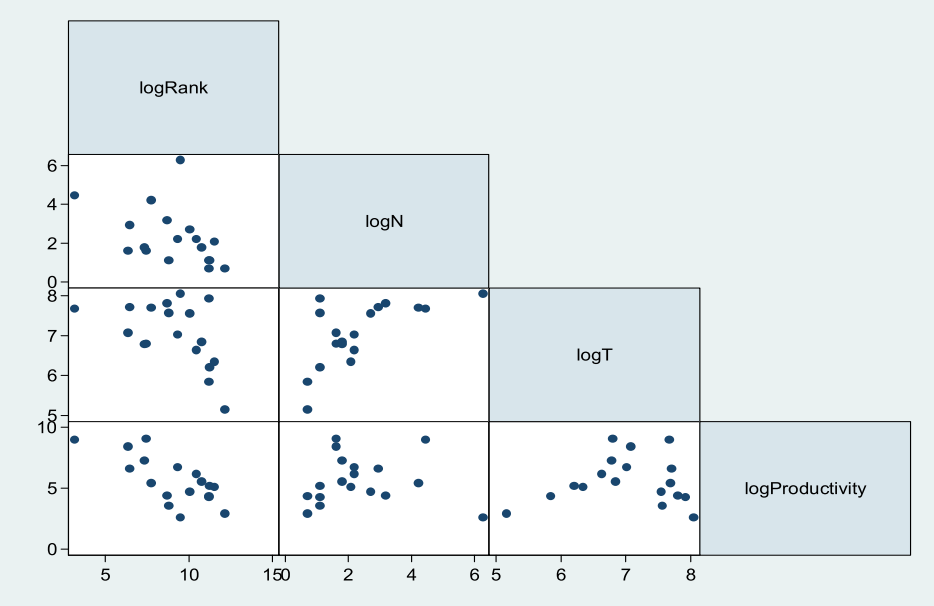


Figure 7: Pair-wise scatter plot, Form 3

In the third organization, the projects' performance correlates with the number of contributors (*pwcorr* = - 0.45, $p < 0.1$) indicating that the increasing returns to scale and scope are the feature of this form. It also significantly correlates with projects' lifespan (*pwcorr* = - 0.51, $p < 0.1$) and productivity (*pwcorr* = - 0.71, $p < 0.1$). Interestingly, projects' productivity correlates neither with number of developers nor with project lifespan, suggesting that productivity in this organization is not the simple accumulation of events and individual efforts. Table 10 and Figure 8 show the regression results.

Table 10: Regression Results, Form 3

VARIABLES	(1) logRank	(2) logRank
logN	-0.718***	
	(-0.452)	
logProductivity	-0.865***	-0.823***
	(-0.715)	(-0.680)
logT		-1.360***
		(-0.463)
Observations	18	18
R-squared	0.713	0.722

Robust normalized beta coefficients in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

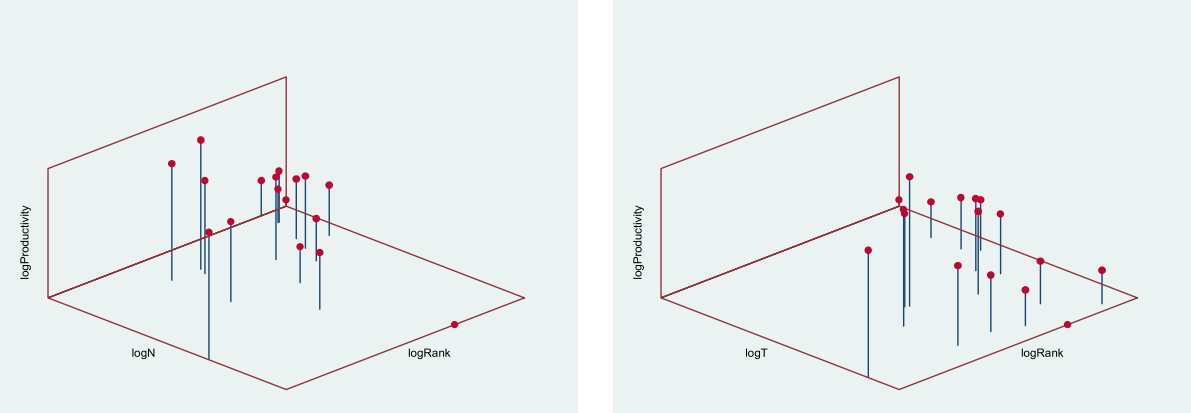


Figure 8: Regression results, Form 3

The W test indicates that the residuals are normally distributed in both regressions (p = 0.70 and p = 0.52). In both cases, the model exhibits good level of fit. VIFs are within acceptable ranges.

Table 11: Analysis of Multicollinearity

(1)			(2)		
Variable	VIF	1/VIF	Variable	VIF	1/VIF
logN	1	0.99998	logProductivity	1	0.995029
logProductivity	1	0.99998	logT	1	0.995029
Mean VIF	1		Mean VIF	1	

These results strongly support the hypothesis raised in the paper that the flexible problem representation combined with the decentralized governance structure

is, at the same time, very powerful but very risky problem-solving strategy. This organization exhibits the best average rank in comparison to two other forms: 36651.2 versus 42972.6 and 74464.3. However, the standard deviation of the projects' performance and the IQR are significantly higher in the third form. This indicates that in some extreme cases this decentralized form can perform very poorly.

To be efficient, the decentralized development requires a number of factors to be satisfied. Firstly, the projects' lifespan is of crucial importance for the efficient problem-solving. This is not surprising taking into account that the routinization of the process and the construction of shared problem representations take time. Secondly, this form requires important effort investments of contributors; otherwise its performance goes down. Actually, in the third organizational form, productivity has the biggest normalized beta coefficient which indicates that this variable is the most influential predictor of the organization performance. This suggests that under the decentralized governance structure the quality of contributions is generally higher than in other organizations, given other factors are held constant. Finally, this form implies increasing returns to scale, as its performance increases with the number of contributors and cognitive labour division.

The pair-wise scatter plots below compare the sensibility of the projects' rank to each factor – time, number of developers, and productivity - across the three groups of projects.

Two aspects are worth spotlighting. Firstly, whereas both, the first centralized form and the third decentralized form, depend on time and productivity, the third form is more sensitive to these factors than the first one (Figures 9 and 10). This provides supplementary arguments that, in the presence of the decentralized governance, the organization demands more factors to be met; otherwise it is inefficient problem-solving strategy.

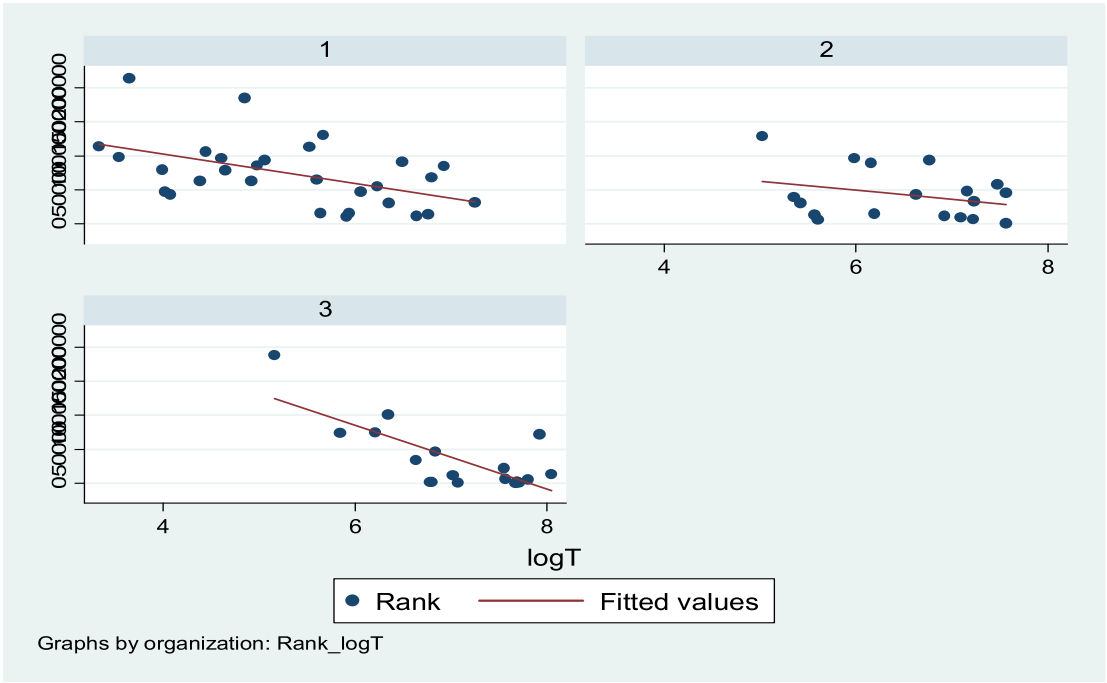


Figure 9: Scatter plots and linear fit: Rank by Time

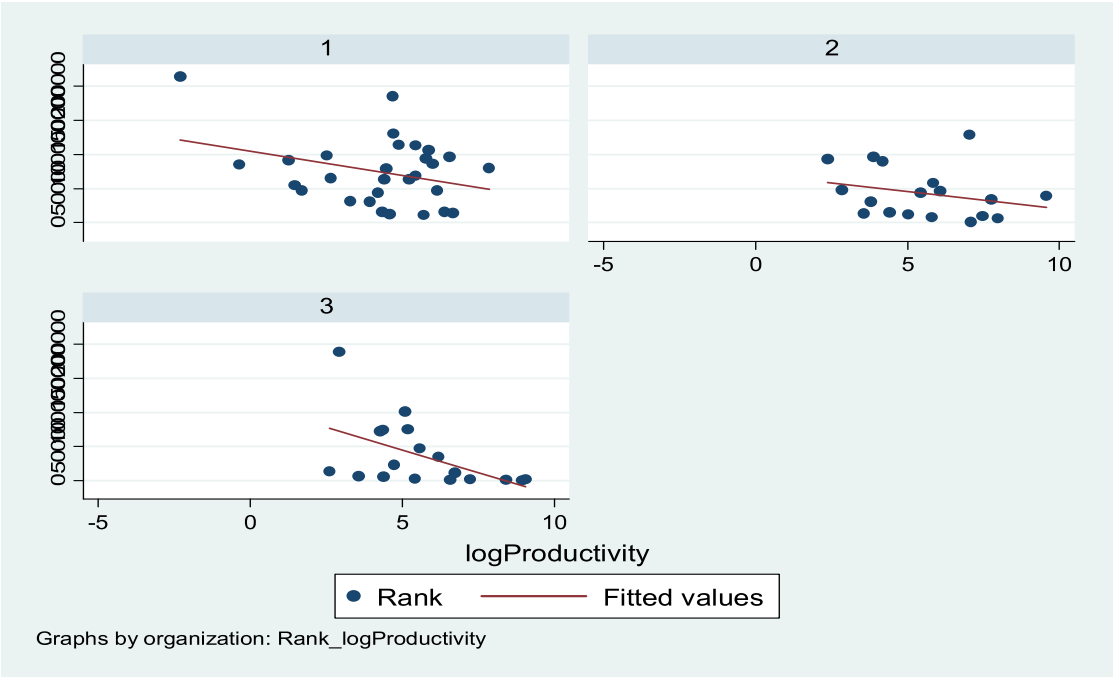


Figure 10: Scatter plots and linear fit: Rank by Productivity

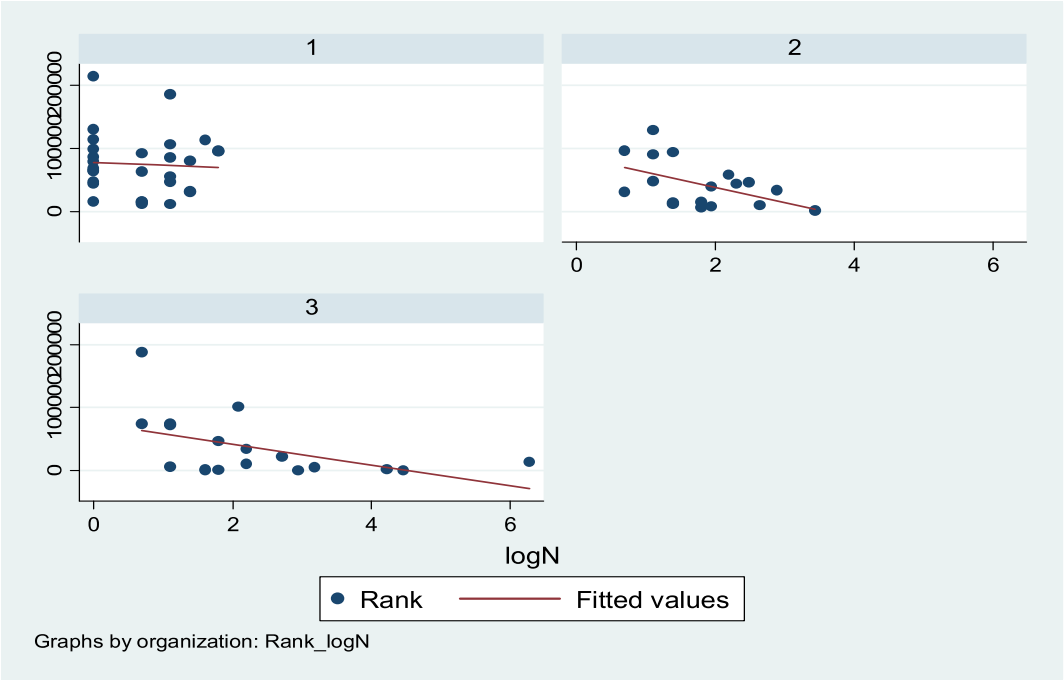


Figure 11: Scatter plots and linear fit: Rank by Number of developers

Secondly, one can note that the degree of returns to scale under the second and the third forms of governance are very similar (Figure 11). Indeed, the sensibility of Rank to number of developers does not depend on the level of decentralization of the governance in these two groups. The question arises of why then only the third form exhibits the returns to scope. To interpret this finding we additionally examine the relationship between the number of developers and *individual* developers' productivity in these two organizations (Figure 12). The latter metric is calculated as *LOC changes per day per developer* (Mockus *et al.*, 2000).

One can see that in the third organization individual developers' productivity decreases with the venue of newcomers, while under the intermediate (de)centralization (the second group of projects) the opposite situation takes place. In addition, as it has been previously discussed, in the second organization the amount of code has significant positive correlation with number of developers (see Tables 6.1 and 9.1). These findings reveal an important difference between these organizations in their approaches to problem decomposition and cognitive labour division. In the presence of highly decentralized governance, the venue of new contributors results in

higher specialization in the project; and this is, obviously, not the case when the (de)centralization is intermediate.

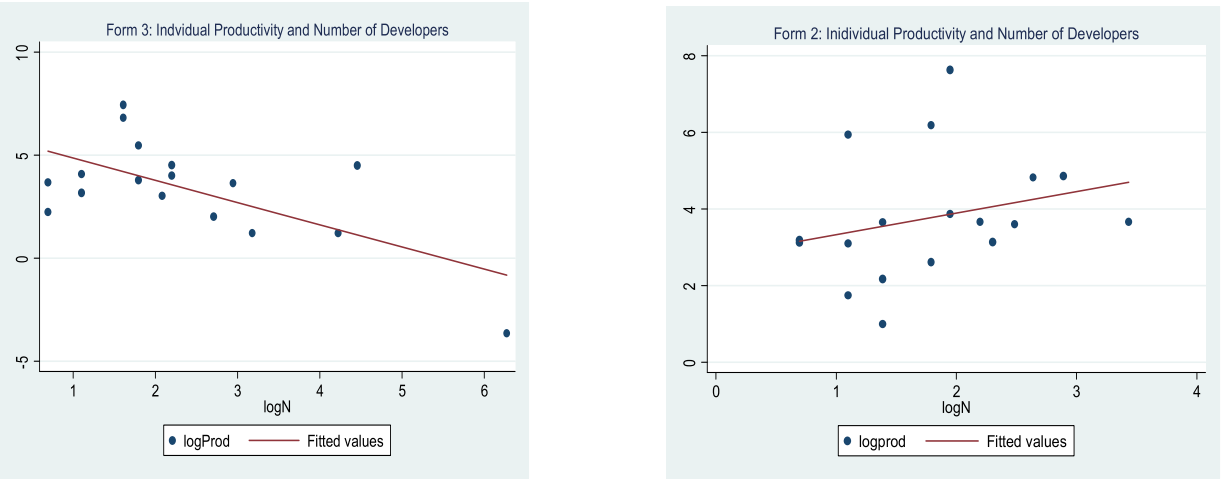


Figure 12: Scatter plots and linear fit: *Individual* Developers' Productivity by Number of developers

We assume that the adoption of the flexible problem representation with the intermediate (de)centralization of governance, serves mainly as a tool to save time and to realize fast results, and not as a tool for search and learning. Consequently, there is less space for emergence of new decompositions and adaptation of the design to the changing environment. This provokes important "process loss" (Steiner, 1972) impeding the full realization of all the potential of problem decomposition. This feature refers to an inherent drawback of the organization with intermediate (de)centralization of governance, and explains why the second form performs worse than the third one.

The results are summarized in Table 12.

Table 12: Results

			Groups		
			1 Centralized Governance	**2 Low (De)centralization**	**3 Decentralized Governance**
Hypotheses	**H1**	**Performance/Risk**	*Low / Low*	*Low / Low*	*High / High*
	H2	**Dependence on T**	*Low*	*No*	*High*
	H3	Returns to scale and scope **Productivity / N**	*Yes / No*	*No / Yes*	*Yes / Yes*

Discussion

Since the term open source was created in 1998, it has attracted researchers for its ability to remain a loose organic form without loss of efficiency. Our analysis indicates that the governance structures in F/OSS vary significantly in terms of their (de)centralization characteristics. The question arises why some F/OSS projects do not fully benefit from the advantages of heterogeneous skills and knowledge? Some authors point too high diversity of contributors as the main reason (O'Mahoney and Ferraro, 2007). Our empirical study reveals that this statement should be diversified: the impact of the contributors' diversity on the projects' performance may be positive or negative depending on the structure of decision-making and involvement of the newcomers in the development activity.

One of the most important limitations of our analysis concerns the sample size. Among the currently published researches on the F/OSS organization the number of the many-projects studies is relatively limited. Quite often, these studies consider a very big number of projects without paying attention to the nature of the product under development. However, the relative efficiency of different organizational forms is production-specific (Hodgson, 1998). Therefore, comparing the projects working on different software systems might be inconclusive, especially for the organization

studies. Despite that the development of an important data base for a given type of software product is technically a more complex task, to take into account the product characteristics is very important for an accurate analysis.

In this paper, we have analysed the F/OSS development projects working on the particular task - content management systems. All the F/OSS CMS projects are open in terms of software code and visibility of the development process. However, the development "openness" is not identical in these projects.

In the first form with the centralized governance, the problem-solver opens to external contributions only the supplementary tasks, and keeps the control over all the essential stages of the system's design. This type of collaboration resembles the "make-or-buy" decision in proprietary development, where the systems' designers outsource some stages along the system's lifecycle value chain.

In the second group of projects the decision-making is more decentralized, as the project's initiator accepts some contributions to the code from the outside. Therefore, the newcomers directly influence the system's design; however their scope of influence is extremely limited. This time, there is no cooperation in the strict sense between the initiator and newcomers: the project's initiator only introduces to her system some external contributions which she considers beneficial for the system's design. One can compare this kind of open organization to a market-like form of software development where quasi-independent agents use the components of each other due to a common standard.

Finally, the last organization is based on the flexible problem representation and the decentralized governance structure. In this form, the initiator and new contributors decide all together the system's design. In the absence of conformity pressure, the systems emerge and gradually evolve with the venue and contributions of new participants.

We have demonstrated that, given that the problem representation is flexible, the eventual structure of the decision making instance is of crucial importance in determining the problem complexity, as well as in determining how risky the organization is. On the one hand, when the project's initiator does not control the overall system's design, the problem complexity can be significantly reduced via the problem decomposition. On the other hand, the performance of this organization is extremely sensitive to the time factor, the project's productivity and the crew size. To fully realize the potential of this organization and to cope with the coordination problem, all these factors should be combined. As a result, the inherent risk of failure of the organization with decentralized governance is more important than in less decentralized forms. This aspect should not be ignored especially in the case of complex products and systems made up of many interdependent components.

Evidently, for the CMS development, the organization with intermediate level of governance decentralization represents the second-best solution. Despite that the performance of this organization is lower, this organization does not require any special conditions (e.g. time and important productivity). Therefore, for the task of given complexity, this type of governance seems to be more secure and easier to forecast than the completely decentralized one.

We assume, however, that for a more complex product (e.g. operating system) the situation will be different, and the choice will be rather between the centralized and the decentralized forms (the first and the third forms), because they do not imply the "process loss". The process loss stems form the fact that the initiator of the project has to individually align her own and external contributions. The more complex the system is the higher is the process loss in the project. We suppose that beyond a certain level of the product complexity, this loss will be important to an extent, that the second form of governance (intermediate (de)centralization) will be absolutely inefficient. In this case, the choice of a suitable organization may be subject to the same logic: more efficient but more risky decentralized governance versus more secure but less efficient centralized decision-making.

CONCLUSION GÉNÉRALE

La connaissance, en tant que facteur de production, a des traits spécifiques qui ne permettent pas de l'assimiler aux facteurs « classiques ». Etant intimement liés aux processus cognitifs d'interprétation, les savoirs n'existent pas indépendamment de leurs créateurs ou utilisateurs. La circulation / transmission des connaissances fait partie intégrante de la création des savoirs. Par ailleurs, en étant encastrée dans la structure sociale, la transmission des connaissances ne se déroule pas automatiquement, mais elle nécessite la mise en place d'un collectif ayant une « culture commune » (langage partagé, certaine proximité cognitive, etc…). L'ensemble de ces propriétés met en évidence l'incertitude et la complexité élevée comme caractéristiques principales du contexte de l'innovation. Le contexte est radicalement incertain car il est impossible d'associer *ex ante* des actions efficaces à une situation spécifique, et les conséquences de ces actions ne peuvent pas être anticipées avant leur réalisation. Le contexte est extrêmement complexe car les actions des agents sont complémentaires et interdépendantes.

Dans cette perspective, la forme organisationnelle la plus adéquate au sein de laquelle l'ensemble de ces critères peut être satisfait semble être la coopération en Réseau. Ainsi, cette thèse a posé la question de l'analyse des potentiels et des défaillances éventuelles pour la création de connaissances qu'une telle forme organisationnelle représente. Comme exemple de la coopération en réseau, nous avons utilisé le cas du Logiciel Libre (F/OSS).

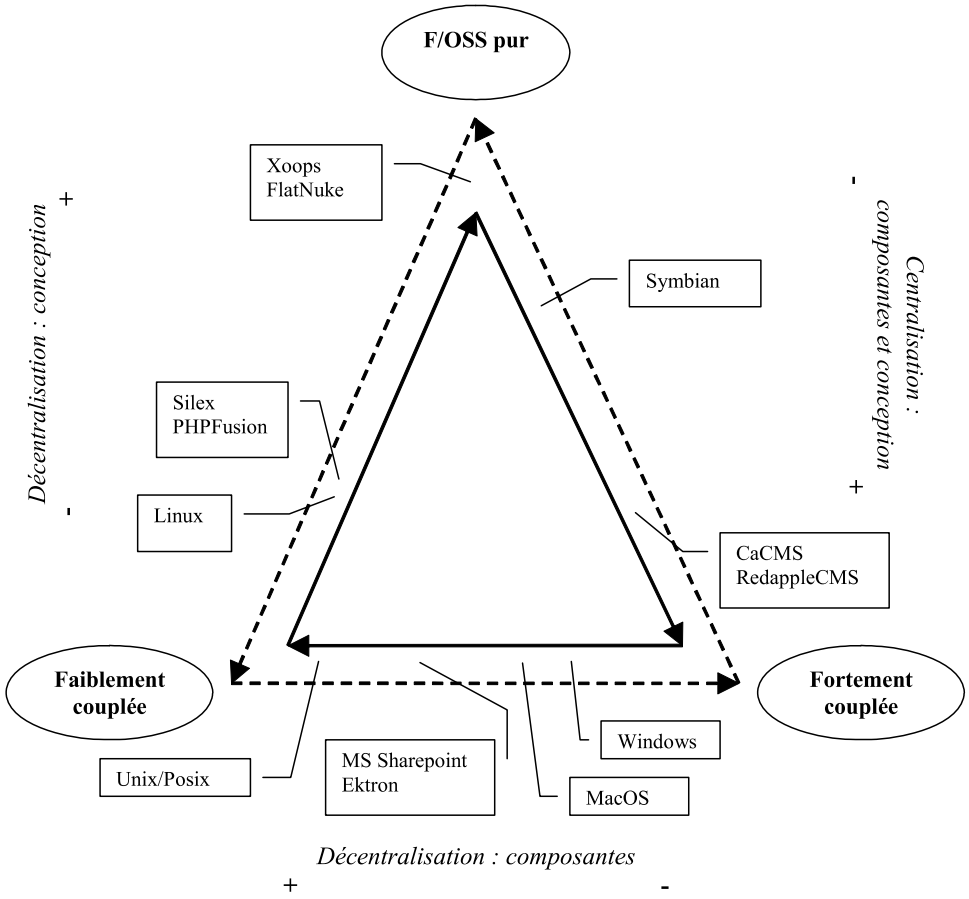
1 Triangle des formes organisationnelles.

Continuum des formes organisationnelles dans l'industrie logicielle.

L'ensemble de nos résultats montre que dans l'industrie logicielle, la forme de type Logiciel Libre représente une alternative productive indépendante, qui n'est pas une forme hybride entre le Marché et la Firme. Ces considérations nous amènent à proposer une représentation du continuum des formes organisationnelles en triangle

(Figure 1)[6]. Les sommets représentent les formes « pures» telles que la forme fortement couplée (de type Firme) ; la forme faiblement couplée (de type Marché) ; et le Logiciel Libre « pur », qui est la forme ni fortement couplée (car l'instance de décision est décentralisée), ni faiblement couplée (car le développement se base sur la coopération des agents). Notons dès le début qu'il s'agit de formes idéales que l'on ne rencontre pas telles quelles : les formes et agencements réelles sont à chaque fois mixtes, tout comme par ailleurs, dans la perspective conventionnelle, la Firme et le Marché sont des abstractions.

Figure 1 Triangle des formes organisationnelles dans l'industrie logicielle



[6] Notre représentation des formes organisationnelles en triangle est partiellement inspirée par (Elsner *et al.*, 2009); elle comporte cependant un certain nombre de différences de fond.

Ceci étant dit, nous pouvons décrire le continuum en question, en plaçant les formes réelles « hybrides » ou « impures » sur les côtés, et en décrivant le « passage » d'une forme à l'autre selon un certain nombre de traits distinctifs.

Le passage de la forme fortement couplée à la forme faiblement couplée correspond à la modularisation et à la standardisation des règles de communication. Soit une industrie représentée par les firmes individuelles développant entièrement en interne la conception générale de leurs systèmes et l'ensemble des composantes. Au fur et à mesure en avançant vers le Marché, ces firmes individuelles se spécialisent sur le développement des composantes particulières et utilisent, pour le reste, les composantes produites par les partenaires. A l'extrême, les producteurs des systèmes dans l'industrie ne développent qu'un nombre minimum des composantes ; et les systèmes finaux, spécifiques aux concepteurs, correspondent à des configurations des composantes. En d'autres termes, le « passage » entre la Firme et le Marché se réalise par la décentralisation du développement des composantes du système et non pas au niveau de sa conception globale. Partager le standard commun n'implique pas ici de partager la représentation du problème à résoudre et la conception générale du système à développer : les agents dans l'industrie peuvent échanger leurs composantes standardisées mais produisent toujours des systèmes individuels.

En partant de la forme faiblement couplée du Marché ainsi décrite, l'organisation tend vers l'ouverture du développement du système au niveau de sa conception, et non pas seulement au niveau des composantes. Un pas vers une telle ouverture pourrait être représenté, par exemple, par des produits logiciels issus d'un certain type de clusters locaux ou de pôles de compétitivité « idéaux ». Dans ce cas, les agents créent leurs propres systèmes, mais le processus du développement est visible par tous les membres. Ils peuvent ainsi utiliser réciproquement des idées et des composantes d'autres membres sur la base de relations réitérées, ce qui favorise une certaine convergence de leurs représentations des problèmes à résoudre. Un pas suivant supposerait que le concepteur initial du système permette aux agents externes d'intervenir directement dans la conception du système et de proposer leurs

composantes, mais sans éliminer son rôle d'intégrateur du système. Plus les initiateurs des systèmes cèdent leurs rôles aux agents externes, plus la forme se rapproche du Logiciel Libre « pur ». A l'extrême, il n'y a pas d'intégrateur principal en tant que tel et les contributeurs hétérogènes décident ensemble le développement du système commun : la structure de la prise de décision est décentralisée tant au niveau des composantes qu'à celui de la conception.

Finalement, le dernier passage entre le Logiciel Libre « pur » et l'organisation fortement couplée se traduit par une délimitation successive du « cœur » et de la « périphérie » du développement, c'est-à-dire la hiérarchisation des tâches et des rôles au sein des projets. Plus le nombre des tâches que le cœur du développement englobe est élevé, plus les nouveaux contributeurs sont repoussés à la périphérie. On aboutit ainsi progressivement à la forme fortement intégrée, où les agents individuels développent chacun leur propre système en interne avec leurs propres composantes.

Cette logique de transformation des organisations peut être développée dans le sens opposé. Commençant de nouveau par l'organisation fortement couplée l'organisation se transforme en F/OSS « pur » à travers l'ouverture de la conception du système et l'émergence d'un standard évolutif. Ensuite, lorsque les contributeurs externes deviennent de moins en moins engagés dans la formulation de la conception générale du système, l'organisation s'éloigne du Logiciel Libre « pur » et se transforme en organisation faiblement couplée du Marché, avec un standard figé. En fin de compte, par la réintégration du développement, l'organisation se retrouve de nouveau attirée vers le sommet de la Firme « pure ». Ainsi, une telle représentation en triangle décrit le continuum des formes organisationnelles.

Les exemples dans l'industrie logicielle.

Sur notre schéma nous présentons quelques exemples réels qui justifient la logique proposée.

En effet, aujourd'hui il est difficile de trouver un exemple d'organisation fortement couplée « pure » dans l'industrie logicielle : même les firmes, qui produisaient auparavant leurs systèmes principalement en interne, « modularisent » de plus en plus leurs organisations. A titre d'exemple, on peut citer les cas connus de Microsoft avec le système d'exploitation MS-DOS et ensuite Windows, ou Apple avec MacOS. Le contrôle est possible grâce à l'intégration des interfaces de communication au produit (Coris, 2005) : le standard qui définit l'API est associé au système logiciel particulier en le différenciant des autres systèmes. Le producteur en tant que détenteur de la propriété intellectuelle sur le produit peut alors céder son produit moyennant une licence aux producteurs des biens associés. Il s'agit alors d'un standard " ouvert mais propriétaire " (Morris and Ferguson, 1993).

Dans le domaine des systèmes de gestion de contenu l'on peut citer Microsoft SharePoint basé sur le standard ASP.NET partiellement ouvert, ou le système Ektron, développé sur la base de ce standard. Dans ces deux cas, les produits sont au moins partiellement compatibles (pas entièrement, car la spécification du standard n'est pas complète), mais constituent deux systèmes propriétaires différents.

Les exemples d'organisation faiblement intégrée « pure » sont aussi rares dans l'industrie logicielle. Cette fois, le processus de développement implique la mise en place d'un standard commun complètement ouvert, qui peut être de deux types différents.

Le standard *de jure*, qui correspond à l'intervention publique et à la standardisation des APIs, est alors obligatoirement respecté par tous les producteurs. Ce standard permettrait aux producteurs de différencier leurs produits au niveau des applications et des services, de protéger leurs produits par les DPI et de recouvrir les coûts fixes, mais en même temps garantirait l'interopérabilité entre les produits et protégerait l'industrie du verrouillage (Coris, 2005). Cependant, une telle approche est difficilement imaginable étant donné la complexité de la technologie et sa dynamique de développement. Pour établir un standard *de jure* dans l'industrie, les autorités

publiques devraient au préalable posséder les informations sur les avantages relatifs des technologies existantes, ce qui n'est possible que lorsque les technologies sont déjà suffisamment matures (Coris, 2005).

Le deuxième type de standard commun est le standard non-propriétaire ouvert. Il correspond au cas où des acteurs privés et des organismes nationaux ou internationaux, comme l'ISO, le W3C ou l'IEEE, développent ensemble les standards techniques. Dans ce cas, le développement de l'interface technique est contrôlé par un acteur indépendant (un organisme ou un comité). De même que pour le standard *de jure*, le standard non-propriétaire ouvert suppose l'ouverture des spécifications. Cependant, la différence essentielle consiste dans le fait que l'adoption de ce dernier est volontaire et que les producteurs sont libres d'accepter ou non le standard proposé. D'un côté, en adoptant le standard commun, ces derniers peuvent tirer les bénéfices de la complémentarité accrue de leurs produits, d'externalités de réseau, de la mutualisation des efforts du développement et de la mise au point des produits. D'un autre côté, le bénéfice maximum de l'adoption de ce standard est atteint si tous les producteurs principaux l'acceptent, ce qui est difficile car chaque agent a tendance à poursuivre ses propres intérêts. Une des rares tentatives pour mettre en place un standard non-propriétaire ouvert s'est soldée par un échec relatif. En 1988, pour surmonter les inconvénients liés à l'incompatibilité forte entre les versions d'Unix (Unix System III ; Unix BSD ; Xenix ; etc.), un groupe des acteurs a initié le standard POSIX qui a été spécifié par l'IEEE. Guidés par leurs propres intérêts et en allant contre ces premiers efforts de standardisation, d'autres groupes ont proposé des spécifications alternatives. Unix existe aujourd'hui dans plusieurs versions, propriétaires et libres.

Le Logiciel Libre, de son côté, n'implique pas un standard préalable à la production, car la modularisation et la standardisation se forment et évoluent au cours du processus de développement et des interactions des agents prenant part à l'innovation. La forme « pure » correspond à la mise en place d'une structure de gouvernance décentralisée où les nouveaux participants sont engagés dans l'activité au

même titre que l'initiateur et possèdent le pouvoir de la prise de décision. Les projets des CMS libres, tels que Xoops, Codice ou FlatNuke en sont des illustrations.

Au sein du F/OSS on peut imaginer différents degrés d'intégration des contributeurs externes dans le développement du système commun. Deux types d'hybridation qui correspondent aux formes « impures » peuvent être distingués.

Le premier cas correspond à des situations où les nouveaux participants contribuent au développement du système, mais ces contributions sont de caractère occasionnel. L'initiateur du projet joue le rôle de l'intégrateur du système, et il n'y a pas de vraie intégration des contributeurs « externes » dans le développement. Cette forme « impure » ressemble, dans une certaine mesure, à l'organisation faiblement couplée avec les échanges impersonnels entre les agents. De ce point de vue, les projets CMS comme Silex, b2Evolution ou PHP Fusion prennent une place entre la forme marchande faiblement couplée et le F/OSS « pur ». Un exemple très connu de ce type de développement est le projet développant le *kernel* du système d'exploitation Linux. Comme dans le cas des CMS cités ci-dessus, l'initiateur du projet, Linus Torvalds, est également le développeur principal du code source, qui accepte néanmoins les contributions externes, pour peu qu'elles satisfassent, selon lui, aux critères de qualité et de pertinence.

Le deuxième cas que l'on peut distinguer au sein du F/OSS correspond à des situations dans lesquelles les tâches au sein des projets sont hiérarchisées et où le domaine de contribution des nouveaux participants est délimité. Ces formes intermédiaires ressemblent, en quelque sorte, au « Hub and Spoke » mais se distinguent des standards « ouverts mais propriétaires » : tout le processus du développement pas à pas est visible aux participants à la périphérie. Ces derniers peuvent donc aussi faire des propositions au niveau de la conception. Il s'agit, par exemple, des CMS comme SilverStripe, CaCMS et RedappleCMS. Un autre exemple est fourni par le système d'exploitation Symbian pour les téléphones portables, qui est le résultat d'une coopération entre les différents constructeurs, Psion, Nokia, Motorola,

Ericsson et Panasonic, et qui est publié sous la licence libre EPL. De ce fait, quoique le cœur et la périphérie du développement soient délimités et que les nouveaux participants ne puissent pas influencer directement la conception générale du système, ils ont néanmoins accès à la connaissance systémique.

2 Sphère d'application de Réseau.

Le modèle du F/OSS est-il applicable dans un autre contexte ?

Il est communément admis que la capacité de l'organisation à innover dépend de la circulation des connaissances et de l'apprentissage individuel et collectif dans cette organisation [*cf.* Nonaka et Takeuchi (1995)]. Selon ces auteurs, la création de connaissances organisationnelles est conçue comme un processus d'amplification et de cristallisation des connaissances individuelles. Cohendet *et al.* (2003) approfondissent l'interaction entre les niveaux individuel et organisationnel en postulant que « ces interactions sont formées et déterminées à un niveau intermédiaire, celui de communauté ». Ainsi, l'organisation est conçue comme composée des communautés multiples – groupes de travail, équipes de projets, communautés de pratique et épistémiques, etc. – qui interagissent entre elles et se transforment en permanence donnant lieu à des mutations profondes de l'organisation. Dans cette perspective, les communautés se caractérisent principalement par leur nature locale et temporaire. En d'autres termes, elles représentent des structures relationnelles encastrées à un moment donné dans le contexte social concret, qui se forment d'une manière idiosyncrasique et, de ce fait, irréplicables dans un autre contexte ou à autre moment du temps.

Un tel concept de communauté comme structure purement locale est souvent utilisé pour aborder le Logiciel Libre, à cause de son caractère auto-organisé et évolutif. A l'encontre d'une telle compréhension, nous avons défini le cadre institutionnel dans lequel les projets se forment et évoluent. Nous avons montré que, malgré le rôle important de l'auto-organisation, les schémas de développement de cette

forme organisationnelle ne sont pas entièrement idiosyncrasiques et imprévisibles au cas par cas et que l'aspect institutionnel y joue aussi un rôle important.

A partir de là, nous avançons que le terme de « communauté » ne correspond pas de manière exhaustive au phénomène du F/OSS. Pour justifier cette idée nous nous proposons, à la fin de notre propos, de discuter tout d'abord la sphère de l'application du mode de développement du Libre en dehors de l'industrie logicielle et ensuite, le rôle que jouent les technologies de l'information et de la communication (TIC) pour l'émergence et la diffusion des Réseaux.

Notre première question est de discuter dans quelle mesure le modèle du F/OSS peut être utilisé dans des domaines autres que le logiciel. L'histoire du F/OSS révèle qu'un des facteurs explicatifs de son succès pouvait être l'appartenance des développeurs à une culture commune, celle des *hackers*. De ce point de vue, l'engagement dans une activité et la compréhension collective peuvent être vues comme un simple héritage des valeurs, des connaissances et du langage déjà partagés. Dans le même esprit, on ferait valoir le fait que le logiciel fait partie des produits particuliers facilement manipulables *via* Internet. Selon cette logique, par exemple, l'existence des projets F/OSS qui n'aboutissent pas à des résultats pertinents serait due au simple fait que ces projets ne seraient pas perçus comme étant intéressants et utiles aux personnes à qui ils sont proposés.

Néanmoins, un tel raisonnement n'explique pas le phénomène récent de diffusion de l'approche du Libre dans des domaines autres que les logiciels, où des formes organisationnelles bien différentes dominaient historiquement et où n'existait donc aucune culture commune « préalable ». Le plus intéressant est que ces domaines comprennent non seulement les produits immatériels, facilement manipulables *via* Internet, mais aussi la production tangible. A titre d'exemple, nous voulons citer trois cas différents : le domaine musical, l'encyclopédie, et le matériel. Ces projets de collaboration non seulement se forment dans un cadre institutionnel similaire à celui

du Logiciel Libre mais ont également des structures relationnelles semblables à celles identifiées dans les projets du F/OSS.

Notre premier exemple est le domaine musical dans lequel les créations de ce type se multiplient. Pour ne prendre qu'un exemple concret, le projet musical Take the Bus Project, initié en 2005, réunit aujourd'hui environ trente musiciens de différents pays. Les compositions musicales issues de cette collaboration sont disponibles sur des différentes plates-formes musicales. La création d'une composition comprend les étapes suivantes. D'abord, l'initiateur du projet publie sur Internet une information générale sur le tempo et les paroles qui servent de base pour la future création. Ensuite, les contributeurs intéressés envoient à l'initiateur leurs morceaux musicaux. A l'étape finale, l'initiateur choisit les morceaux qu'il considère comme intéressants et les arrange pour créer une composition unique. Les autres participants y ajoutent une couverture et des tags. Le projet est publié sous une licence Creative Commons qui impose le respect du droit de paternité et interdit la modification du contenu. D'un côté, l'initiateur du projet a visiblement des droits exclusifs au sein du projet : il est le seul autorisé à sélectionner et à arranger les morceaux musicaux et donc toute modification est impossible sans son accord. Ainsi les autres contributeurs, dont l'engagement est moindre, contribuent néanmoins directement au cœur du projet et pas seulement à la périphérie. De la sorte, l'organisation de Take the Bus Project ressemble beaucoup aux projets du F/OSS où l'initiateur contribue majoritairement lui-même (plus de cinquante pour-cents du code source), mais permet certaines contributions externes qu'il trouve intéressantes.

Notre deuxième exemple est très connu : l'encyclopédie universelle Wikipédia écrite de manière collaborative. Ce projet initié en 2001 est devenu aujourd'hui un des sites web les plus consultés au monde. Le projet est aussi publié sous la licence Creative Commons, mais cette fois la clause de non modification est absente. En plus, la licence comprend la clause de « share-alike » qui agit de la même façon que les licences restrictives « copyleft » du Logiciel Libre : dans les grandes lignes, la licence de Wikipédia est une analogie de la licence GNU GPL. Jimmy Wales et Larry Sanger,

les fondateurs du projet, n'exercent pas de droits exclusifs dans le processus de développement. Ainsi, ce projet ressemble aux projets du F/OSS avec une instance de décision très décentralisée, qui représentent le Logiciel Libre « pur » [7].

Le dernier exemple que nous voudrions citer ici est celui de l'« open source hardware ». Il s'agit des projets comme Arduino (électronique, arduino.cc) OpenSPARC (microprocesseur, Sun Microsystems), OpenCores (les contrôleurs divers, microprosesseurs et mémoire, OpenCores.org) et c,mm,n (à prononcer « common » ; projet d'automobile en open source, initiative de la Société néerlandaise pour la nature et l'environnement et des universités scientifiques de Delft, Twente et Eindhoven). Tous ces projets visent à prolonger le concept du Logiciel Libre dans la sphère du matériel. Ils sont organisés plus au moins de la même manière. Les initiateurs publient leurs projets sous une des Licences Libres, ce qui assure la visibilité de tout le processus du développement opération par opération. Cela ouvre la voie à des contributions externes tant au niveau des améliorations des composantes qu'au niveau de la conception générale. Par exemple, au sein du projet c,mm,n la voiture n'a pas été imaginée par un bureau d'étude classique mais directement auprès du grand public sous la forme d'un wiki : les contributeurs intéressés décident ensemble le développement de l'intérieur du véhicule, de son châssis, de son système de navigation, etc.. Par ailleurs, les prototypes (trois pour le moment) sont présentés aux salons automobiles et aux « c,mm,n garage » où tous les participants actuels et potentiels peuvent voir l'état d'avancement du travail. Aujourd'hui, 800 personnes sont impliquées dans le projet, dont 80 font des recommandations, une partie importante des participants soutient le projet financièrement et seulement un petit groupe réalise le développement proprement dit. Ainsi, bien que le projet soit conçu

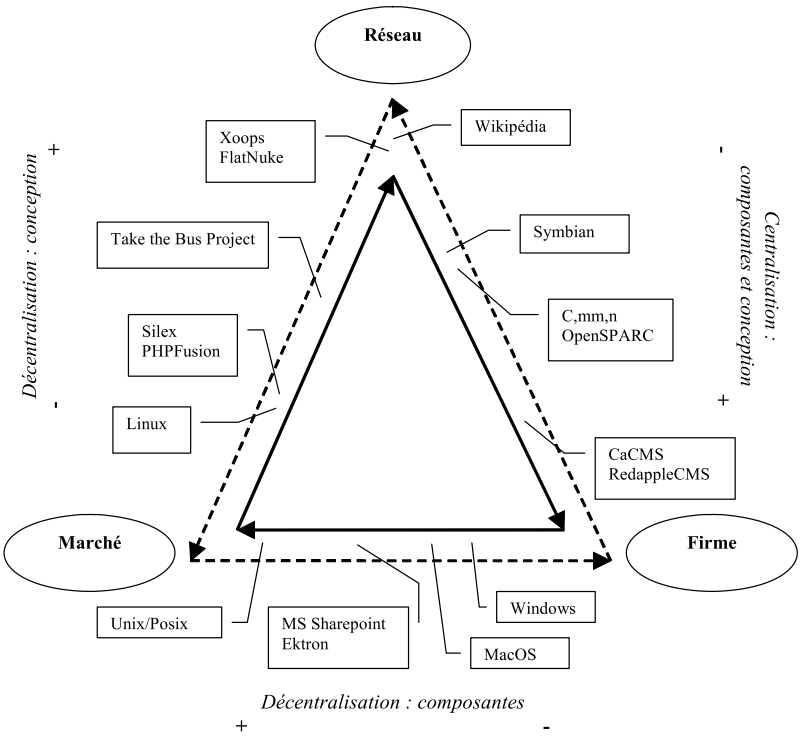
[7] L'article de Cardon et Levrel (2009) discute en détail l'organisation de Wikipédia. Il montre qu'en réalité l'écriture de Wiki est le produit d'une articulation judicieuse entre écriture et discussions critiques et entre ouverture et surveillance à des niveaux différents. L'exemple de Wikipédia peut être néanmoins classé comme le Réseau « pur » car la coordination des contributions est aussi ouverte et participative. Par ailleurs, l'article met en lumière que pour une compréhension plus profonde de la coordination d'un projet participatif, il est nécessaire de prendre en compte non seulement le cœur du développement (la contribution du code pour le F/OSS ou l'écriture des articles pour le Wikipédia) mais aussi la périphérie (listes des discussions, forums, etc.).

comme potentiellement très inclusif, au moins à son stade actuel de développement, son cœur est plutôt séparé de la périphérie. De ce fait, le « open source hardware » ressemble aux projets du F/OSS avec un mode de gouvernance centralisé où l'initiateur réalise tout le développement, mais les contributions à la périphérie sont bienvenues.

Les tentatives d'application des principes de développement du F/OSS dans d'autres domaines sont récentes et, de ce fait, il est difficile de faire des conclusions concernant leurs capacités productives et leurs avantages et désavantages en comparaison avec les modes de production traditionnels. Cependant, le fait même que la sphère d'application du modèle de F/OSS se diffuse et que les projets non-logiciels aboutissent à certains résultats, montre que la culture des *hackers* n'est pas le seul critère déterminant du succès du Logiciel Libre.

Ainsi, il semble légitime de généraliser notre représentation des formes organisationnelles en triangle en y incluant les systèmes non logiciels, décrits ci-dessus, et en remplaçant le titre « Logiciel Libre » au sommet par un nom plus général « Réseau », couvrant ici des domaines autres que celui du logiciel (Figure 2).

Figure 2 Triangle des formes organisationnelles



Le rôle des TIC dans la formation des Réseaux.

Enfin, la dernière question qui se pose est celle du rôle joué par les TIC dans la mise en place des Réseaux. En effet, dans tous les exemples évoqués jusqu'à présent, une partie importante des interactions se réalise *via* l'Internet. La question est de savoir dans quelles mesures les technologies déterminent la formation et la prolifération des Réseaux. La discussion approfondie de cette question renvoie à des perspectives épistémologiques et philosophiques [(Leroi-Gourhan, 1964) ; (Bachimont, 1996)] sur le rôle et la place de la technique dans la création de connaissances et les actions humaines. Sans entrer dans le détail, car cette question déborde largement du cadre économique que nous étudions ici, nous résumons très rapidement les arguments principaux.

Nous avons dit dans l'introduction que (la construction de) la connaissance est inséparable des processus collectifs de son appropriation. Un pas supplémentaire du raisonnement consiste dans le fait que le support de cette connaissance détermine largement les modalités de l'accès, et structure donc l'appropriation et l'action qui la suit éventuellement. Il est en effet de plus en plus communément admis que par exemple le « même » document imprimé ou numérique n'offre pas à proprement parler le même potentiel de connaissance : le document numérique impose d'autres stratégies d'appropriation. Les techniques, comme l'écriture, l'imprimerie ou l'ordinateur, modifient les pratiques de transmission et de création des savoirs en modifiant, par conséquent, la connaissance elle-même. L'histoire des techniques en fournit des exemples.

Ainsi comprises, les techniques en tant que support de connaissance, ne sont jamais « neutres » et influencent dans une large mesure la structuration des connaissances et de l'action humaine par les possibilités d'action qu'elles offrent. C'est précisément le cas des TIC dont les fonctionnalités de la communication, de l'écriture, de l'accès aux ressources diverses de nature hétérogène, du traitement et de la mise à jour, invitent les utilisateurs à construire des formes de dialogue et d'interaction du type « many-to-many », (par opposition à « one-to-one », comme le téléphone, ou

« few-to-many », comme l'imprimerie ou la radio). La distribution de l'accès aux connaissances, qui se fait avec diverses machines et, au moyen de machines, avec divers partenaires, permet l'échange d'observations et la participation à la construction d'un corps partagé de connaissances.

En d'autres termes, les TIC, par leur nature, participent à la construction de la connaissance et des actions des utilisateurs, mais aussi favorisent l'organisation sociale en Réseau. Le niveau croissant de pénétration des TIC dans les sphères professionnelles comme dans le quotidien, fait que l'adaptation des Réseaux en tant que structure sociale d'interaction entre les producteurs, entre les utilisateurs et entre les producteurs et les utilisateurs, c'est-à-dire en tant que forme organisationnelle, est amenée à se développer. Cela est vrai surtout pour tous les domaines intensifs en connaissances où l'utilisation des TIC fait partie intégrante du processus de l'innovation.

Il nous semble important de souligner que, dans cette perspective, les TIC échappent à deux interprétations extrêmes qui sous-estiment ou surestiment leur rôle. Il nous semble que, d'une part, l'importance des TIC déborde largement la vision les confinant à un simple facteur de baisse des coûts de transmission et de stockage des connaissances, vision à l'intérieur de laquelle les TIC n'ont aucune spécificité propre. D'autre part, cette perspective n'entraîne pas le déterminisme technologique visant à attribuer aux seules TIC les performances économiques en ignorant, par exemple, le rôle des interactions en face-à-face. En ce sens, l'importance largement sous-estimée (Gensollen, 2003) des interactions personnelles face-à-face dans le Libre en fournit un exemple. La perspective que nous adoptons permet d'expliquer le lien entre l'utilisation des technologies d'information et de communication, et l'émergence et la diffusion des Réseaux, - numériques *et* territoriaux, formels *et* informels -, comme une alternative productive, au sein de laquelle s'articulent les avantages de l'organisation descendante, à savoir le contrôle et l'ordre, et ceux de l'organisation ascendante, à savoir la flexibilité, l'adaptabilité, le caractère participatif.

3 Recherches futures.

Pour conclure, il nous reste à discuter les limites de l'analyse que nous avons effectuée dans cette thèse et de proposer des pistes pour les recherches futures.

1) Une des extensions les plus évidentes de notre analyse serait l'augmentation de l'échantillon de projets F/OSS utilisé pour l'analyse empirique. En plus, il serait utile de comparer les différents groupes de projets développant des systèmes logiciels de complexité variée. Une telle analyse comparative, quoique techniquement assez lourde (*cf. Introduction* de la *Partie II*) permettrait néanmoins de tirer des conclusions plus profondes sur les schémas de gouvernance et la performance des projets du Libre.

2) Un certain nombre des traitements supplémentaires des données seraient utiles pour approfondir notre étude. En particulier, nous utilisons uniquement les modalités de gouvernance comme caractéristique des structures relationnelles des projets. Cependant, cet indice n'explicite pas de manière exhaustive la structure sociale effective : on peut penser au type de centralité, ainsi qu'aux degrés de cohésion et de densité du réseau. Une analyse en termes de réseaux sociaux pourrait enrichir considérablement la discussion. Pour l'effectuer, une étape supplémentaire du traitement des données sur les contributions - la construction d'une matrice d'adjacence (matrice symétrique de type sommet-sommet) - serait nécessaire. La construction d'une telle matrice à partir de la base de données des contributions est une tâche complexe et n'a pas pu être réalisée dans les limites de ce travail.

3) Par ailleurs, compléter nos données par un questionnaire pour établir les identités des développeurs - leurs compétences professionnelles, leurs participations à d'autres projets F/OSS, les motivations qui les poussent à contribuer à ces projets, etc. – permettrait de décrire les équipes et d'analyser le lien éventuel des ces caractéristiques avec la structure relationnelle et la performance du projet.

Dans le même esprit, l'analyse des interactions en termes de code source n'est pas exhaustive car elle ne prend en compte que le cœur du développement proprement dit. Il serait intéressant de compléter cette analyse par celle des autres manifestations du mode de gouvernance adopté dans les projets (listes de discussion, forums, rapports de bogues, etc.).

4) Dans cette thèse nous nous focalisons principalement sur la dynamique de l'évolution des systèmes complexes et de leurs performances comme critères de l'efficacité organisationnelle. Les problématiques de l'appropriation des profits et de la structure industrielle ne sont pas abordées dans notre analyse. Cependant, la manière dont la forme organisationnelle permet de vaincre dans la concurrence sur les marchés finaux conditionne, au même titre que l'efficacité « pure » et les capacités intrinsèques de l'organisation, l'(in)efficacité de son choix. De ce fait, la mise en place de règles du jeu dans les industries peut favoriser certains modes de production qui s'imposent par la suite au titre de modèle dominant. Ainsi, une des extensions importantes de notre analyse serait d'expliciter le lien entre le mode de production adopté pour l'innovation et la concurrence dans l'industrie.

5) Finalement, la comparaison de l'organisation « emblématique » du Logiciel Libre et des initiatives non-logicielles, que nous avons abordée très rapidement dans cette conclusion, constitue une piste de recherche très importante et peu abordée dans la littérature économique (à notre connaissance l'article récent de Zirpoli *et al.* (2009) constitue une des contributions remarquables dans ce domaine). Une telle recherche est indispensable pour comprendre l'innovation distribuée et émergente et sa sphère réelle d'application.

BIBLIOGRAPHIE

Abramowitz M., 1989. *Thinking about Growth.* Cambridge University Press.

Agrawal A., Ostrom E., 2001. Collective action, property rights, and decentralization in resource use in India and Nepal. *Politics & Society*. 29(4), pp. 485–514.

Alchian A., Demsetz H., 1972. Production, Information Costs and Economic Organization. *American Economic Review,* Vol.62, Décembre, pp.777-795.

Almeida P., Kogut B., 1999, Localization of Knowledge and the Mobility of Engineers in regional networks. *Management Science*, 45(7), pp.905-918.

Aoki M., Takizawa H., 2002. Modularity: Its Relevance to Industrial Architecture. *The Saint-Gobain Centre for Economic Research: 5th Conference Organizational Innovation Within Firms,* 7th-8th November 2002, Paris.

Arora A., Gambardella A., Rullani A., 1997. Division of labour and the locus of inventive activity. *Journal of Management and Governance.* 1(1), pp. 123–140.

Arrow K., 1962. Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention, in *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*, Princeton University Press, pp. 609–625.

Auray N., Vicente M., 2005. Empirical study on the Open Source Software. Realized in July 2005. ENST, Paris.

Axelrod R., Cohen M.D., 1999. *Harnessing Complexity: Organizational Implications of a Scientific Frontier*. New York: Free Press.

Bachimont B., 1996. Herméneutique matérielle et Artéfacture : des machines qui pensent aux machines qui donnent à penser. Critique du formalisme en intelligence artificielle. Thèse : Epistémologie : Ecole Polytechnique.

Baldwin C. Y., Clark K. B., 1997. Managing in an Age of Modularity. *Harvard Business Review*, 75 (5), pp. 84-93.

Baldwin C.W., Clark K.B., 2000. *Design Rules: The Power of Modularity*. MIT Press: Cambridge.

Benkler Y., 2002. Coase's Penguin, or Linux and The Nature of the Firm. *Yale Law Journal*. 112, pp. 369-446.

Bessy C., Brousseau E., 2006. Public and Private Institutions in the Governance of Intellectual Property Rights. Andersen B. (eds.) *Intellectual Property Rights: Innovation, Governance and the Institutional Environment*. Londres, E. Elgar.

Bonaccorsi A., Rossi C., 2003. Why Open Source can succeed. *Research Policy*. 32(7), pp.1243-1258.

Bresnahan T.F., Greenstein S., 1999. Technological Competition and the Structure of the Computer Industry. *Journal of Industrial Economics* 47(1); 1-40.

Brooks F., 1978. *The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. Boston, MA, USA.

Brousseau E., 1999. Néo-institutionnalisme et évolutionnisme: quelles convergences? *Economies et sociétés*, HS n°35, janvier, pp. 189-215.

Brousseau E., 2000. La gouvernance des processus de cooperation. Bellon B., Voisin C., Plunket A (eds.) *La coopération industrielle*. Economica. Paris, pp. 29-43.

Brusoni S., Prencipe A., 1999. Modularity in complex Product systems: Managing the Knowledge dimension. Working Paper, CoPS Publication n°57. SPRU – Science and Technology Policy Research, University of Sussex.

Brusoni S., Prencipe A., 2001. Unpacking the Black Box of Modularity: Technologies, Products and Organizations. *Industrial and Corporate Change*, vol. 10(1), pages 179-205.

Bulirsch R., Miele A., Stoer J., Well K., 1993. *Optimal control: calculus of variations, optimal control theory and numerical methods*. Birkhäuser, Basel.

Buttard A., Gadreau M., 2008. D'une rationalité instrumentale à une rationalité interprétative de l'agent. L'hypothèse de rationalité en débat. Les documents de travail du LEG, 31p.

Calcagno, M., 2002 Dynamics of modularity. A critical approach. *Stockholm Working paper, 2nd EURAM Conference*.

Canfora G., Manzo S., Rollo V.F., Villani M.L., 2002. ContentP2P: a peer-to-peer content management system. *IEEE Computer Society 26th International Computer Software and Applications Conference (COMPSAC 2002): Prolonging Software Life: Development and Redevelopment.* 26-29 August, Oxford, England.

Cardon D., Levrel J., 2009. La vigilance participative. Une interprétation de la gouvernance de Wikipédia. *Réseaux*, n°154, pp. 51-89.

Chesbrough H.W., 2003a. *Open Innovation. The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*. Harvard Business School Press.

Chesbrough H.W., 2003b. Towards a dynamics of modularity. A cyclical model of technical advance. In: Prencipe A., Davies A., Hobday M. (Eds), *The Business of Systems Integration*. Oxford University Press; p. 174-198

Christensen J.F., 2002. Corporate strategy and the management of innovation and technology. *Industrial and Corporate Change,* 11(2); 263-288.

Cohen W. M., Levinthal D. A., 1990. Absorptive Capacity: A New Perspective On Learning And Innovation. *Administrative Science Quarterly, 35*(1), pp. 128-152.

Cohendet P., Creplet F., Dupouet O., 2003. Innovation organisationnelle, communautés de pratique et communautés épistémiques: le cas de Linux. *Revue Française de Gestion*. Vol.29, N°146, pp. 99-121.

Cohendet P., Llerena P., 1999. La conception de la firme comme processeur de connaissances. *Revue d'Economie Industrielle, n°88,* pp.211-236.

Cohendet P., Llerena P., 2001. Routines and the Theory of the Firm: the Role of Communities. *DRUID Conference*, Aalborg, June 2001.

Coris M., 2005. La coopération firmes-communautés, un nouveau processus de standardisation des logiciels. *Cahiers du GRES*, n°05. Disponible au cahiersdugres.u-bordeaux4.fr/2005/2005-09.pdf

Cowan R., David P.A., Foray D., 2000. The explicit economics of knowledge codification and tacitness. *Industrial and Corporate Change* 9(2), pp. 211-253.

Cox A., 1998. Cathedrals, Bazaars and the Town Council. Slashdot, 13 October 1998, http://slashdot.org/features/98/10/13/1423253.shtml [consulté en décembre 2009].

Crowston K., Annabi H., Howison J., Masango C., 2004. Effective work practices for Software Engineering: Free/Libre Open Source Software Development. *WISER Workshop on Interdisciplinary Software Engineering Research (SIGSOFT FSE-12)*, Newport Beach, CA, USA, ACM Press, pp.18-26.

Crowston K., Howison J., 2005. The social structure of open source software development teams. *First Monday*. 10(2).
http://firstmonday.org/htbin/cgiwrap/bin/ojs/index.php/fm/article/view/1478/1393

Crowston K., Howison J., 2006. Hierarchy and centralization in free and open source software team communications. *Knowledge, Technology and Policy*. 18(4), pp.65-85.

Crowston K., Wei K., Li Q., Howison J., 2006. Core and Periphery in Free/Libre and Open Source Software Team Communications. *IEEE Computer Society The 39th Annual Hawaii international Conference on System Sciences HICSS.* Volume 06 (January 04 - 07, 2006), Washington, DC.

Daft R., Weick K., 1984. Toward a model of organizations as interpretation systems. *Academy of Management Review.* 9(2), pp. 284-295.

Depeyre C., Dumez H., 2006. L'intégration de systèmes, *Le Libellio d'Aegis,* n° 3, pp. 14-18. http://crg.polytechnique.fr/v2/fic/libellio3.pdf

Dibiaggio L. 1999. Apprentissage, coordination et organisation de l'industrie. Une perspective cognitive. *Revue d'économie industrielle*. 88, pp. 111-136.

Dockner E.J., Jorgensen S., Long N.V., Sorger G., 2000. *Differential games in economics and management science.* Cambridge University Press: Cambridge.

Dolado J., 2001. On the Problem of the Software Cost Function. *Information and Software Technology*, 43(1):61-72, 2001

Dosi G., Fagiolo G., Marengo L., 2005. Learning in Evolutionary Environments. in Dopfer K., (Ed.). *The Evolutionary Foundations of Economics*. Cambridge University Press.

Dosi G., Faillo M., Marengo L., 2006. Towards Formal Representations of Search Processes and Routines in Organizational Problem Solving. An Assessment of the State of the Art. LEM working paper, St. Anna School of Advanced Studies, Pisa.

Dosi G., Hobday M., Marengo L., 2000. Problem-Solving Behaviours, Organisational Forms and the Complexity of Tasks. LEM working paper, St. Anna School of Advanced Studies, Pisa.

Dosi G., Marengo L., 1994. Toward a Theory of Organizational Competencies. in England R.W. (eds.) *Evolutionary Concepts in Contemporary Economics*. Ann Arbor, Michigan University Press.

Egidi M., Marengo L., 2004. Cognition, institutions, near decomposability: rethinking Herbert Simon's contribution. in Augier M., March J. J., (eds), *Models of A Man: Essays in Memory of Herbert A. Simon*, Part III: Modeling Systems, MIT Press.

Elsner W., Hocker G., Schwardt H., 2009. Simplistic vs. Complex Organization: Markets, Hierarchies, and Networks in an 'Organizational Triangle'. MPRA Paper 14315, University Library of Munich, Germany. http://ideas.repec.org/p/pra/mprapa/14315.html

Ernst D., 2005. Limits to Modularity: Reflections on Recent Developments in Chip Design. *Industry and Innovation.* 12(3); 303-335.

Favereau O., 2003. La pièce manquante de la sociologie du choix rationnel. *Revue Française de Sociologie*, vol. 44, n°2, pp. 275-295.

Ferguson A., 1767 [1995]. *An Essay on the History of Civil Society*. Oz-Salzberger F. (eds.), Cambridge, Cambridge University Press.

Fogel K., 1999. *Open Source Development with CVS*, Coriolis Press, Scottsdale, AZ.

Foray D., 2000. *L'économie de la connaissance.* Paris, La Découverte

Foss K., Foss N.J., 2005. Simon on Problem-Solving: Implications for New Organizational Forms. Center for Strategic Management and Globalization, Copenhagen Business School. SMG WP 8/2005.
www.uk.cbs.dk/content/download/33471/468107/file/SMG-WP-8-2005.pdf

Fuggetta A., 2000. Software Process: A Roadmap. Proceedings of *The Future of Software Engineering, ICSE'2000*, Limerick, Ireland.

Gacek C., Arief B., 2004. The many meanings of open source. *IEEE Software,* 21(1), 34–40.

Garzarelli G., 2004. Open Source Software and the Economics of Organization. in Birner J. and Garrouste P., (Eds.) *Markets, Information and Communication*. London and New York, Routledge, pp. 47-62.

Gensollen M., 2003. Biens informationnels et communautés médiatées. *Revue d'économie politique*. Vol. 113.

Griliches Z., 1994. Productivity, R&D, and the Data Constraint. *The American Economic Review*. Vol.84, N°1, pp. 1-23.

Hair J.F., Anderson R.E., Tatham R.L., Black W.C., 1995. *Multivariate Data Analysis with Readings*, (4th ed.) Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ

Hess C., Ostrom E., 2003. Ideas, Artifacts, and Facilities: Information as a Common-Pool Resource. *Law and Contemporary Problems*. 66(1-2), pp. 111-46.

Hodgson G.M., 1998. Competence and contract in the theory of the firm. *Journal of Economic Behavior & Organization*, Vol. 35, pp.179-201.

Horn F., 2004. *L'Economie des logiciels.* La Découverte. Coll. Repères. Paris

Jacobides MG., Billinger S., 2006. Designing the Boundaries of the Firm: From "Make, Buy, or Ally" to the Dynamic Benefits of Vertical Architecture. *Organization Science* 17(2); 249-261.

Johnson B., 1992. Institutional learning. in Lundvall B.A. (ed.) *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning.* Pinter, London, pp. 23-44.

Jullien N., Zimmermann J-B., 2006. New approaches to Intellectual Property: from Open Software to Knowledge-based Industrial Activities. DIME Working Papers on Intellectual Property Rights, N°5.

Kirman A.P., 1992. What or whom does the representative individual represent? *Journal of Economic Perspectives* , vol. 6, n°2, pp. 117-36.

Knight K., 1921. *Risk, uncertainty and profit*, Houghton Mifflin.

Koch S., Schneider G., 2000. Results from software engineering research into open source development projects using public data. in Hansen H.R., Janko W.H. (eds.) *Diskussionspapiere zum Tätigkeitsfeld Informationsverarbeitung und Informationswirtschaft,* number 22. Wien: Wirtschaftsuniversität Wien.

Kogut B., Zander U., 1992, Knowledge of the firm, combinative capabilities, and the replication of technology. *Organization Science*, n°3, pp. 383-397.

Kogut B., Zander U., 1996, What Firms Do? Coordination, Identity and Learning. *Organization Science*, vol. 7(5), pp. 502-518.

Krishnamurthy S., 2002. Cave or Community? An Empirical Examination of 100 Mature Open Source Projects. *First Monday*. ssrn.com/abstract=667402 et www.firstmonday.org/issue7_6/krishnamurthy

Kuwabara, K. 2000. Linux: A Bazaar at the Edge of Chaos. *First Monday*. 5(3).

Langlois R.N., 2002. Modularity in technology and organization. *Journal of Economic Behaviour & Organization* 49(1); 19-37.

Langlois R.N., Robertson P., 1992. Networks and Innovation in a Modular System: Lessons from Microcomputer and Stereo Components Industries. *Research Policy* 21 (4); 297-313.

Lanzara G.F., Morner M., 2003. The Knowledge Ecology of Open-Source Software Projects. *19th EGOS Colloquium,* Copenhagen.

Lee G.K., Cole R.E., 2003. From a Firm-Based to a Community-Based Model of Knowledge Creation: The Case of the Linux Kernel Development. *Organization Science,* 14; 633-649.

Lerner J., Tirole J., 2005. The Scope of Open Source Licensing, *Journal of Law Economics & Organization*. 21(1), pp. 20-56

Leroi-Gourhan A., 1964. *Le geste et la parole.* Paris, Albin Michel.

Libecap G. D., 1989. *Contracting for Property Rights*. New York: Cambridge University Press.

López-Fernández L., Robles G., Gonzalez-Barahona J.M., Herraiz I., 2006. Applying Social Network Analysis Techniques to Community-Driven Libre Software Projects. *International Journal of Information Technology and Web Engineering.* Vol. 1, Issue 3, pp. 27-48.

Machlup F., 1962. *The Production and Distribution of Knowledge in the United States.* Princeton University Press.

Marengo L., Dosi G., Legrenzi P., Pasquali C., 2000. The structure of problem-solving knowledge and the structure of organizations. *Industrial and Corporate Change*. Vol. 9 nº 4, pp. 757-788.

Marengo L., Pasquali C., Valente M., 2005. Decomposability and Modularity of Economic Interactions. in Callebaut W., Rasskin-Gutman D. (eds), *Modularity: Understanding the Development and Evolution of Complex Natural Systems*, The Vienna Series in Theoretical Biology , Cambridge MA, MIT Press, pp. 835-897.

McCullagh P., 1980. Regression Models for Ordinal Data. *Journal of the Royal Statistical Society*. 42. Series B. (Methodological).

McGowan D. 2001. Legal Implications of Open-Source Software. *University of Illinois Review*. 241(1), pp. 241-304.

McKelvey R.D., Zavoina W., 1975. A Statistical Model for the Analysis of Ordinal Level Dependent Variables. *Journal of Mathematis and Sociology*. 4(1), pp. 103-119.

Mockus A., Fielding R.T., Herbsleb J.D., 2000. A case study of open source software development: The apache server. *International Conference on Software Engineering (ICSE 2000)*, Limerick, Ireland, June.

Mockus A., Fielding R.T., Herbsleb J.D., 2002. Two case studies of open source software development: Apache and mozilla. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology.* 11(3), pp. 309–346.

Moon J.Y., Sproull L., 2002. Essence of Distributed Work: The Case of the Linux Kernel. in Hinds P., Kiesler S. (eds.), *Distributed Work.* Cambridge, MA: MIT Press, pp. 381-404.

Morris C. R., Ferguson C. H., 1993. How Architecture Wins Technology Wars**,** *Harvard Business Review,* 71/2, pp. 86-96.

Nelson R., 2002. Bringing Institutions into Evolutionary Growth Theory, *Journal of Evolutionary Economics.* 12, pp. 17- 28.

Nelson R., Winter S., 1982. *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Harvard University Press, Cambridge, MA.

Neter J., Kutner M.H., Nachtsheim C.J., Wasserman W., 1996. *Applied Linear Statistical Models.* 4th ed. Boston, MA: Irwin

Nevins J.L., Whitney D.E., 1989. *Concurrent Design of Products and Processes: A Strategy for the Next Generation in Manufacturing.* McGraw-Hill, New York.

Nonaka I., Takeuchi H., 1995. *The Knowledge-Creating Company: How the Japanese Companies Create the Dynamic of Innovation.* New York, Oxford University Press.

North D. C., 1990. *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. New York Cambridge University Press.

OCDE, 2001. *Tableau de bord de l'OCDE de la science, de la technologie et de l'industrie:Vers une économie fondée sur le savoir.* Paris.

O'Mahony S.C., 2003. Guarding the Commons: How Community Managed Software Projects Protect Their Work. *Research Policy*.32(7), pp. 1179-98.

O'Mahony S.C., Ferraro F., 2007. The emergence of governance in an open source community. *Academy of Management Journal*. 50(5), pp. 1079-1106.

Osborne M.J., 2004. *An introduction to game theory*. Oxford: Oxford University Press.

Ostrom E., 1990. *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action.* New York: Cambridge University Press.

Ostrom E., Burger J., Field C., Norgaard R.B., Policansky D., 1999. Revisiting the Commons: Local Lessons, Global Challenges. *Science,* 284(5412), pp.278-82.

Ostrom E., Hess C., 2007. A Framework for Analyzing the Knowledge Commons. in Ostrom E., Hess C. (eds.), *Understanding Knowledge as Common: From Theory to Practice*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 41-79.

Paulus P.B., Nijstad B.A., 2003. *Group Creativity. Innovation Through Collaboration*. Oxford University Press.

Pelikan P., 2003. Bringing Institutions Into Evolutionary Economics: Another View with Links to Changes in Physical and Social Technologies. *Journal of Evolutionary Economics*. Vol. 13(3), pp. 237-258.

Penrose E., 1959. *The Theory of the Growth of the Firm*. John Wiley&Sons, New York.

Polanyi M., 1966. *The Tacit Dimension*. London: Routledge & Kegan Paul.

Powell W.W., 1990, Neither market nor hierarchy: Network forms of organization, *Res. Organ. Behavior*, 12, pp. 295-336.

Powell W.W., Koput K.W., Laurel S.-D., 1996. Interorganizational Collaboration and the Locus of Innovation: Networks of Learning in Biotechnology. *Administrative Science Quarterly*, Vol.41, N° 1, 116-145.

Rallet A., Torre A., 2001. Proximité Géographique ou Proximité Organisationnelle ? Une analyse spatiale des coopérations technologiques dans les réseaux localisés d'innovation, *Economie Appliquée*, LIV, 1, 147-171.

Raymond E., 1998. The Cathedral and the Bazaar. *FirstMonday.* Vol.3 N.3 - March 2nd. 1998, on line at http://www.tuxedo.org/~esr/writings/cathedral-bazaar/

Reynaud B., 2001.'Suivre des règles' dans les organisations. *Revue d'Économie Industrielle*, 97, pp. 53-68.

Robles G., Koch S., Gonzalez-Barahona J.M., 2004. Remote analysis and measurement of libre software systems by means of the {CVSA}nal{Y} tool. *2nd*

ICSE Workshop on Remote Analysis and Measurement of Software Systems (RAMSS). Edinburg, Scotland, UK.

Rossi C., 2009. Firms' Participation in Open Source Projects: Which Impact on Software Quality and Success. *DRUID Summer Conference*, Denmark, June 17-19.

Royce W.W., 1970. Managing the Development of Large Software Systems: Concepts and Techniques. *WESCON Technical Papers*, Vol. 14. Also available in: *Proceedings of the 9th International Conference on Software Engineering,* 1987.

Sack W., Détienne F., Ducheneaut N., Burkhardt J-M., Mahendran D., Barcellini F., 2006. A methodological framework for socio-cognitive analyses of collaborative design of Open Source Software. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW). the Journal of Collaborative Computing*, 15 (2-3), pp. 229-50.

Samoladas I., Bibi S., Stamelos I., Bleris G.L., 2003. Exploring the Quality of Free/Open Source Software: a Case Study on an ERP/CRM System, *9th Panhellenic Conference in Informatics*, Thessaloniki.

Sanchez R., 1995. Strategic Flexibility in Product Competition. *Strategic Management Journal*. Special Issue: Technological Transformation and the New Competitive Landscape 16; 35-159.

Sanchez R., Mahoney J.T., 1996. Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design. *Strategic Management Journal* 17; 63-76.

Scacchi W., 2001. Process Models in Software Engineering. in Marciniak J., (ed.) *Encyclopedia of Software Engineering*, 2nd. Edition, Wiley and sons. Inc., pp. 1-24.

Schilling M. A., 2000. Toward a General Modular Systems Theory and Its Application to Inter-firm Product Modularity. *Academy of Management Review*, 25 (2), pp. 312-334.

Schilling M.A., Steensma H.K., 2001. The Use of Modular Organizational Forms: An Industry-Level Analysis. *The Academy of Management Journal,* 44(6); 1149-1168.

Schlager E., 1994. Fishers' Institutional Responses to Common-Pool Resource Dilemmas. in Ostrom E., Gardner R., Walker J. M. (eds.), *Rules, Games, and Common-Pool Resources.* Ann Arbor: University of Michigan Press, 247-65.

Schlager E., Ostrom E., 1992. Property-Rights Regimes and Natural Resources: A Conceptual Analysis. *Land Economics*. 68(3), pp. 249-62.

Scotchmer S., 1991. Standing on the Shoulders of Giants: Cumulative Research and the Patent Law. *Journal of Economic Perspectives*, American Economic Association, vol. 5(1), pages 29-41.

Simon H., 1962. The Architecture of Complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society* 106(6); 467–482.

Simon H., 1976. From substantive to procedural rationality. in Latsis S.J. (Ed.) *Method and appraisal in economics*. Cambridge University Press, pp. 129-148.

Smith A. 1776 [1981]. *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. Volumes I and II., Campbell R. H., Skinner A. S.(eds.). Liberty Fund: Indianopolis.

Starr M.K., 1965. Modular Production, a New Concept. *Harvard Business Review* 43(6); 131-42.

Steiner I.D., 1972. *Group process and productivity.* New York: Academic Press.

Sturgeon T., 2002. Modular production networks: a new American model of industrial organization. *Industrial and Corporate Change,* 11(3); 451–496.

Ulrich K.T., Eppinger S.D., 2000. *Product design and development*. Boston: McGraw-Hill.

Van de Griendt W.E., Ruys T.C., 2006. New Approach and Tools for Comparative Institutional Analysis of Legal Regimes Used for Integrated Resources Management. in Survival of the Commons: Mounting Challenges and New Realities, *The 11th Conference of the International Association for the Study of Common Property (IASCP)*, 19-23 June, Bali, Indonesia. Disponible au eprints.eemcs.utwente.nl/9274/

Van Wendel de Joode R., 2004. Explaining the organization of open source communities with the CPR framework. in The Commons in an Age of Global Transition: Challenges, Risks and Opportunities, *The 10th Conference of the International Association for the Study of Common Property*, Oaxaca, Mexico, August 9-13.

Van Wendel de Joode, R., 2005. *Understanding open source communities. An organizational perspective*. Doctoral dissertation, Delft University of Technology, the Netherlands.

Vanhée N., 2008. *La coordination des savoirs au sein de partenariats d'innovation.* Thèse : Gestion : Strasbourg I Louis Pasteur.

Vignier P., 2003. *La France dans l'économie du savoir: pour une dynamique collective*. Rapport au Commissariat Général du Plan. Paris.

Visser W., 2006. Designing as Construction of Representations: A Dynamic Viewpoint in Cognitive Design Research. *Human-Computer Interaction*, Special Issue Foundations of Design in HCI, 21(1), pp. 103-152.

Von Hippel E., 1990. Task partitioning: an innovation process variable. *Research policy*, 19(5), pp. 407-418

Von Hippel E., 1994. "Sticky information" and the Locus of Problem Solving: Implications for Innovation. *Management Science,* 40(4), pp. 429-439.

Von Krogh G., Spaeth S., Lakhani K., 2003. Community, joining, and specialization in open source software innovation: A case study. *Research Policy.* 32(7), pp. 1217-41.

West J., Dedrick J., 2001. Proprietary vs. Open Standards in the Network Era: An Examination of the Linux Phenomenon. *34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-34*), Maui, Hawaii, January 3-6, 2001.

West J., Gallagher S., 2006. Patterns of Open Innovation in Open Source Software. in Chesbrough H., Vanhaverbeke W., West J. (eds.) *Open Innovation: Researching a New Paradigm*. Oxford University Press, Oxford, chapter 5, pp. 82-106.

Williamson O., 1975. *Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications.* Free Press: New York.

Zimmerman B., Lindberg C., Plsek P., 2001. *Edgeware: Insights from complexity sciences for health care leaders*. Irving TX: VHA, Inc.

Zirpoli F., Rullani F., Becker M.C., 2009. Coordinating distributed innovation processes: the case of the automotive and open source software industries. *the DRUID conference*, 17 – 19 June 2009, Copenhagen, Denmark.

ANNEXES

Annex 1 : List of Projects

alienation: 1 = copyleft; 0 = non-copyleft
exclusion: 1= newcomers possess the rights; 0 = initiator is the copyright holder

project	T	N°/code contrib.	Man_N	alienation	exclusion	Rank
plume	879.5	6	0.518917	1	1	1519
pragmamx	1372.5	7	0.051464	1	1	7401
maxdev	201.0	4	0	1	1	7781
lanadmin	282.2	1	0	1	0	15916
eva	426.0	1	0	1	1	47209
extreme fusion	761.6	9	1	1	0	34509
flatnuke	1927.0	3	0.6	1	1	6557
glfusion	895.2	5	1	1	1	1725
attension	58.9	1	0	1	1	43654
codice	345.5	2	1	1	1	74149
serendipity	2182.0	68	0.6	0	0	2287
izzy	862.2	2	0	1	0	14394
bigace	1145.6	5	0.048637	1	0	N/A
silex	605.9	11	0.352575	1	0	N/A
xhp	1284.0	3	0.1	1	0	48317
phpmultishop	769.0	2	0	1	0	12334
phpwebsite community	2446.0	24	0.851507	1	0	5861
battlearms	572.5	4	0	1	1	30684
chotis	38.2	1	0	1	1	214263
vbdrupal	1183.9	5	0.855783	1	1	578
vulture	862.9	4	0.1832	1	0	93644
PHP fusion	271.4	6	0.219436	1	0	6122
b2evolution	1926.0	31	0.360164	1	0	1293
drupal	3112.0	528	0.6	1	1	13629
miacms	210.6	7	0.003	1	1	38979
xoops	2145.0	86	0.8	1	1	24
nucleus	2217.5	19	0.564802	1	0	629
silverstripe	463.9	8	0	0	0	N/A
cacms	1017.5	4	0.015412	0	0	11670
bravo cms	380.4	2	0	0	0	15992
jlibrary	1203.0	14	0.3	0	0	9414
build_exponent	1375.0	18	0.2	1	0	33745
comvironment	569.4	8	0.7	1	0	101593
foodyn	290.1	1	0	0	0	130497
livs	28.1	1	0	0	0	113812
mars_cms	151.9	3	0.082402	1	1	128574
mediomanager	395.9	2	0.383223	1	0	96264
redapplecms	99.7	6	0	0	0	96539
wordpress	261.0	4	0.3	1	1	13856
back-end	1930.0	12	0.4	1	1	46169
mempo	127.2	3	0	1	0	185333
pagetool	2760.0	3	0.9	1	0	72643
phenotype	1118.2	9	1	1	1	11423
planet of the penguins	658.0	2	0	1	0	91466
pluggedout	496.6	3	0.87239	1	0	74733
posttep	1018.0	3	0	1	1	85316
pratt	146.0	1	0	1	0	85987
qsite	174.6	2	1	1	1	188382
rportal2	80.0	2	0	1	0	63299
sapid	489.0	6	0.037898	1	0	15044
xwcm	55.9	3	0	1	0	N/A
theexooport	932.0	6	0.7	1	1	46762
siteseed	508.2	3	0	0	0	54931
sitebox	104.0	1	0	1	0	78901
sitatious	34.6	1	0	1	0	98506
associated	895.1	1	0	1	0	68274
contentartist	85.0	3	0	0	0	106162
dzeemp	251.0	5	0	1	1	112881
ifs	270.7	1	0	1	1	64915
nitrotech	750.2	10	0.024768	1	1	43708
phpcms	1902.0	15	0.8	1	1	22719
wheatblog	1406.0	4	0	1	1	31633
cmsconference	137.0	1	0	0	0	63771
obliguid	1753.0	9	0.1	1	0	58022
siteschools	226.0	2	0.1	1	1	30952
cmsadmin2	54.1	4	0	1	1	80289
contenix	157.0	6	0	1	0	94381
powerful	370.1	3	0	1	0	10900
tv2	471.0	3	0.3	1	0	90333

Annex 2: Some Examples of the Exclusion Right Distribution

2.1 The license terms require the transfer of rights

PHP Fusion Core 7 - Released under AGPL v3

Free License (GNU/AGPL)
PHP-Fusion v7 is released under the terms and conditions of version 3 of the GNU Affero General Public License. For further information please visit www.fsf.org/licensing/licenses/agpl-3.0.html or refer to the agpl.txt file included in the distribution package. You may alter the code in any way you wish and redistribute it either as is or containing your own modifications but it is mandatory that you retain the "Powered by PHP-Fusion" footer copyright notice as described in the readme file included in the distribution package; or rephrased in such a manner that it does meet the following requirements as stated in the AGPL license text, as quoted:
Terms of AGPL Copyright Notice
Affero GPL version 3 Chapter 0 - Terms and Conditions
An interactive user interface displays "Appropriate Legal Notices" to the extent that it includes a convenient and prominently visible feature that (1) displays an appropriate copyright notice, and (2) tells the user that there is no warranty for the work (except to the extent that warranties are provided), that licensees may convey the work under this License, and how to view a copy of this License. If the interface presents a list of user commands or options, such as a menu, a prominent item in the list meets this criterion.
This means that the copyright footer of PHP-Fusion may not be altered in such a way that it doesn't display our copyright notice in a way that isn't "convenient and prominently visible", meaning that no popups linked to graphic images, no tooltip-like solutions linked to images etc, are allowed.
With adherence to that, the Copyright Footer must contain the following:
• "Powered by PHP-Fusion" is optional but is requested for clarity purposes;
• Copyright PHP-Fusion 2002-2009 Nick Jones
- with "PHP-Fusion" linking to http://php-fusion.co.uk;
• Released as free software without warranties;
• Link to the Affero GPL version 3 license;
- http://www.fsf.org/licensing/licenses/agpl-3.0.html.

If the original version is modified and redistributed with less than 80% change, the Copyright Notice as per the terms of the Affero GPL version 3 must remain intact.
If the Copyright Notice Footer does not contain the 3 key elements as described above, this invalidates the license and could be subject to prosecution by FSF terms.

If you for some reason do not feel comfortable with this solution, please consider to purchase a copyright removal license instead, see below for details.

2.2 Contributors always posses the scope of rights

MiaCMS Copyright

MiaCMS derives from copyrighted works licensed under the GNU General Public License. This version has been modified pursuant to the GNU General Public License as of September 15, 2005, and as distributed, **it includes or is derivative of works licensed under the GNU General Public License or other free or open source software licenses, including works copyrighted by any or all of the following, from 2000 through 2008: Adi Setiawan, Akarawuth Tamrareang, Carlos Souza, Chad Auld, Chanh Ong, Giorgio Nordo, Nalisa Sitabut, Neil Thompson, Richard Peter Ong, Shaoying Su, Suriya Kaewmungmuang, Al Warren, Adhi Rachdian, Andres Vargas, Lynne Pope, Ric Shreeves, Nicolas Steenhout, Andrew Eddie, Rey Gigataras, Emir Sakic, Alex Kempkens, Andy Miller, Mitch Pirtle, Tim Broeker, Nick Designer, Brian Teeman, Andy Stewart, Peter Koch, Levis Bisson, Robert Castley, Phil Taylor, Ron Bakker, Ozgur Cem Sen, Steen Rabol, James Logan, Wee Keat, Ilias Antonopoulos, Martin Brampton, Dean Elzey, Despina Stamkou, John Kalantzis, Shaoying Su, John Long. These names come from the Mambo credits file. If we missed anyone lets us know and we will happily add here.**

MiaCMS is a fork of the Mambo CMS also released under the GNU/GPL license. MiaCMS project is initiated by who are profoundly familiar with Mambo; former project lead/board member, former Mambo Steering Committee Members, former Core Team Leads/Developers. We felt the processes and pressures of the official foundation were having a negative impact on the code and the community. Thus the fork. Much of the same crew that built Mambo 4.5.3+ through 4.6.3 are here now continuing development on the same award winning software base that everyone has come to know and love. We plan to continue down the revolutionary path we laid out for Mambo before ultimately cut our ties the Mambo Foundation Inc. Just that we will be doing it as MiaCMS from this point forward. So again this is a fork, we do give credit to Mambo for past work done, and we do aim to make MiaCMS even better!

Mambo is a Trademark of the Mambo Foundation, Inc. http://www.mambo-foundation.org.

Mambo was originally developed by Miro International Pty Ltd in 2000. Mambo became Open Source software in April, 2001 under a GNU/GPL license. Miro assigned the copyright in Mambo to The Mambo Foundation in 2005 to ensure that
Mambo remained free Open Source software owned and managed by the community.

MiaCMS also includes or is derivative of works distributed under the following copyright notices:

1) JSCookMenu -
http://www.cs.ucla.edu/%7Eheng/JSCookMenu/index.html
License -
http://www.cs.ucla.edu/%7Eheng/JSCookMenu/copyright.html
2) TinyMCE - http://tinymce.moxiecode.com/
License (LGPL) - http://www.gnu.org/copyleft/lesser.html
3) PCLZip/PCLTar - http://www.phpconcept.net
License (LGPL) - http://www.gnu.org/copyleft/lesser.html
4) phpGACL - http://phpgacl.sf.net">phpGACL
License (LGPL) - http://www.gnu.org/copyleft/lesser.html
5) Calendar - http://dynarch.com/mishoo/calendar.epl
License (LGPL) - http://www.gnu.org/copyleft/lesser.html
6) overLIB - http://www.bosrup.com/web/overlib
License - http://www.bosrup.com/web/overlib/?License
7) XP-Style Tabs - http://webfx.eae.net
License - Public Domain
8) phpMailer - http://phpmailer.sourceforge.net
License (LGPL) - http://www.gnu.org/copyleft/lesser.html
9) Feedcreator - http://www.bitfolge.de/rsscreator-en.html
License (LGPL) - http://www.gnu.org/copyleft/lesser.html
10) Cache_Lite - http://pear.php.net
License (LGPL) - http://www.gnu.org/copyleft/lesser.html
11) GeSHi - http://qbnz.com/highlighter
License (GPL) - http://www.gnu.org/licenses/gpl.html
12) PHP VCard
License (LGPL) - http://www.gnu.org/copyleft/lesser.html
13) SpamStop - http://www.dpaulus.de
License (GPL) - http://www.gnu.org/licenses/gpl.html
14) Tango Base Icon Library-
http://tango.freedesktop.org/Tango_Desktop_Project
License (Creative Commons) -
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/
15) famfamfam Silk Icon Library -
http://www.famfamfam.com/lab/icons/silk/
License (Creative Commons) -
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/
16) google_sitemap.class.php (used as a basis for the MiaCMS
Sitemap)
(http://devquickref.com
http://www.phpclasses.org/browse/package/2612.html)
License (GPL) - http://www.gnu.org/licenses/gpl.html
17) Yahoo! UI Library (YUI):
License - http://developer.yahoo.com/yui/license.html
18) YUI Samples & Effects - Dave Glass:
* http://blog.davglass.com/2006/06/yui-code-samples/
* http://blog.davglass.com/files/yui/effects/
License - http://developer.yahoo.com/yui/license.html
19) MOStlyCE -
http://wiki.brilaps.com/wikka.php?wakka=MOStlyCE
License (LGPL) - http://www.gnu.org/copyleft/lesser.html
20) Byte - http://wiki.brilaps.com/wikka.php?wakka=Byte

License (New BSD) - http://www.opensource.org/licenses/bsd-license.php
21) MOStlyREST - http://wiki.brilaps.com/wikka.php?wakka=MOStlyREST
License (GPL) - http://www.gnu.org/licenses/gpl.html
22) SocialBits - http://wiki.brilaps.com/wikka.php?wakka=SocialBits
License (GPL) - http://www.gnu.org/licenses/gpl.html
23) Open Flash Charts - http://teethgrinder.co.uk/open-flash-chart/index.php
License (LGPL) - http://www.gnu.org/copyleft/lesser.html
23) Drupal OpenID Implementation (basis for MiaCMS OpenId Consumer Implementation) - http://drupal.org
License (GPL) - http://www.gnu.org/licenses/gpl.html
Note I: If we missed something let us know and we will review accordingly.
Note II: MiaCMS is forked from Mambo 4.6 Branch on April 29th, 2008, revision 1689