



Adoption de l'open source pour la conception de systèmes d'information critiques : le cas Thales

Nordine BENKELTOUM

Université Lille Nord de France, École Centrale de Lille

RÉSUMÉ

La littérature en systèmes d'information (SI) s'est largement intéressée aux technologies open source tant du point de vue des stratégies technologiques, des modèles d'affaires que des organisations. Toutefois, les travaux en management des SI se sont peu penchés sur l'utilisation de l'open source dans le domaine des systèmes d'information critiques. En s'appuyant sur une étude exploratoire, cet article décrit les raisons pour lesquelles Thales, une entreprise spécialisée dans des domaines hautement sensibles (défense, aéronautique et sécurité), a adopté les technologies open source à la fois en interne et pour ses clients. D'un point de vue théorique, cet article s'appuie sur le cadre technologie, organisation, environnement (TOE) ainsi que sur la littérature sur l'adoption des technologies et de l'innovation. La recherche contribue à la littérature en proposant une modélisation des principaux freins et motivations à l'adoption de l'open source pour la conception de systèmes d'information critiques.

Mots-clés : Open source, Adoption de l'innovation, Système d'information critique, TOE.

ABSTRACT

Information Systems (IS) literature shows a huge interest for open source technologies as well as from IT (Information Technology) strategies, business models or organization. Nevertheless, research on the application of open source in safety-critical information systems is particularly scant. By means of an exploratory study, this article describes the reasons why Thales, a firm specialized in safety-critical fields (defense, aircraft industry and security), adopted open source software technologies. From a theoretical perspective, this articles relies on the technology, organization, environment (TOE) framework and the literature on technology and innovation adoption. This research suggests a model of barriers and motivations to open source software adoption for safety-critical information systems design.

Keywords: Open source software, Innovation adoption, Mission-critical, Safety-critical, TOE.



INTRODUCTION

Les logiciels open source offrent des libertés d'exécution, d'étude, d'amélioration et de distribution. Ces technologies sont devenues incontournables dans le domaine des systèmes d'information (SI) que ce soit en théorie ou en pratique (Benkeltoum 2013 ; Poba-Nzaou *et al.* 2014). Décrit hier comme un mouvement social (O'Mahony 2003, p. 1179 ; Von Krogh et Spaeth 2007, p. 242), l'open source est désormais caractérisé par des pratiques plus commerciales (Meissonier *et al.* 2010, p. 71). En réalité pour certains produits, la contribution communautaire est parfois négligeable voire inexistante. Des entreprises mobilisent même les logiciels open source comme des briques technologiques qu'elles combinent afin de créer de la valeur. En pratique, la publication des modifications n'est pas systématique. Certaines entreprises publient les portions de code source considérées comme non clé pour leur compétitivité et gardent secrètes d'autres parties jugées plus importantes (Henkel 2006). L'adoption de l'open source au sein des organisations est de plus en plus fréquente quel que soit le secteur d'activité. D'après une récente étude menée sur un échantillon de 1300 entreprises, 78% des entreprises font reposer tout ou partie de leurs opérations sur des composants open source. En outre, 55% des entreprises manquent de politique globale définissant des règles pour adopter ces technologies (Blackduck 2016). Ce constat est relayé également par des recherches universitaires. En effet, les critères sur lesquels les organisations se basent pour adopter ou rejeter l'open source sont fortement incertains. Avec la diffusion massive de ces technologies, des spécialistes poussent les organisations à formaliser des critères pour l'adoption (Marsan *et al.* 2012, p. 259). Ainsi, davantage de travaux

sont nécessaires afin d'expliquer l'adoption en général et l'adoption par les organisations en particulier (Li *et al.* 2013, p. 56 ; Poba-Nzaou *et al.* 2014).

La littérature en SI affirme que l'open source a des caractéristiques qui favorisent la recherche (Von Krogh et Spaeth 2007). Des travaux se sont ainsi intéressés aux méthodes de développement (Agerfalk et Fitzgerald 2008 ; Haefliger *et al.* 2008), aux structures organisationnelles et à leur dynamique (Benkeltoum 2011a ; Stuermer *et al.* 2009) ou encore aux modèles d'affaires (Bonaccorsi *et al.* 2006 ; Lisein *et al.* 2009 ; Mouakhar et Tellier 2013 ; Välimäki 2003). En revanche, peu de travaux se sont penchés sur la question de l'utilisation de l'open source pour la conception de systèmes d'information critiques. Un SI est qualifié de critique du fait de la sensibilité des activités qu'il supporte et lorsqu'une défaillance de ce dernier peut mettre la vie d'êtres humains en danger (Gary *et al.* 2011).

Cette recherche s'intéresse aux éléments qui ont motivé Thales, une entreprise spécialisée dans les domaines de la défense, l'aéronautique et la sécurité, à adopter l'open source. En effet, les technologies open source présentent des avantages indéniables pour la conception de SI critiques comme l'indépendance technologique ou l'amélioration de la réactivité. Dans cet article, l'adoption de l'open source sera considérée comme un cas d'adoption d'innovation technologique. De ce fait, les travaux sur l'adoption de l'innovation (Rogers 1983) et l'adoption des technologies (Thong 1999) seront mobilisés.

La littérature soutient que les organisations pour lesquelles la criticité des TI est forte et qui disposent d'un service TI de grande taille ont tendance à ne pas adopter l'open source (Li *et al.* 2013, p. 59).



En appliquant cette proposition au cas Thales, un paradoxe apparaît : pourquoi une entreprise évoluant dans un domaine fortement critique et ayant un service TI de grande taille a-t-elle adopté l'open source ? Par ailleurs, Li *et al.* soulignent la nécessité de mettre en évidence le succès de l'application de l'open source dans des organisations gouvernementales, militaires ou de la finance (Li *et al.* 2013, p. 61). Ainsi, peu de travaux se sont intéressés à l'utilisation de l'open source dans les domaines critiques ou sensibles nécessitant un haut degré de fiabilité. Cette recherche abordera la question suivante : Quels sont les freins et les motivations à l'adoption de l'open source dans le domaine des systèmes d'information critiques ?

Pour cela, cet article sera structuré comme suit. La première section offrira un état des connaissances sur l'adoption de l'open source. La seconde définira la notion de SI critique et proposera une revue des travaux existants sur l'application des technologies open source pour la création de SI critiques. La troisième abordera la méthodologie de cette recherche. La quatrième décrira les freins et les motivations à l'adoption au sein de Thales. Enfin, la dernière section reviendra sur les apports de cette étude de cas et discutera de ses implications théoriques et pratiques.

1. L'ADOPTION DE L'OPEN SOURCE PAR LES ORGANISATIONS

Avant de développer le socle théorique de cette recherche, il convient de justifier la non-utilisation de certains canevas pourtant mobilisés en SI. La littérature sur l'adoption des technologies d'information (TI) s'appuie sur différents cadres

théoriques dont le modèle de la vision organisante et celui de la capacité d'absorption. Le modèle de la vision organisante s'inscrit dans le courant néo-institutionnel sur les modes managériaux. Ce cadre vise à analyser des phénomènes de mode dans le domaine des TI en s'intéressant plus particulièrement au discours managérial. L'objectif du discours est de faciliter l'interprétation, la légitimation et la mobilisation de l'innovation par les unités d'adoption (Carton *et al.* 2003 ; Swanson et Ramiller 1997). Si ce modèle est particulièrement adapté pour apprécier l'adoption d'une TI par différentes organisations et ainsi mesurer les phénomènes de mimétisme (Lesca *et al.* 2015, p. 15 ; Swanson et Ramiller 1997, p. 461), il semble moins pertinent pour analyser l'adoption d'une innovation par une seule organisation. Par ailleurs, Thales fait partie des entreprises pionnières en matière d'adoption de l'open source.

Le modèle de la capacité d'absorption décrit l'aptitude d'une entreprise à apprendre à partir d'informations de son environnement par le biais d'un processus d'identification, d'assimilation et d'exploitation (Cohen et Levinthal 1989 ; Cohen et Levinthal 1990) dans le but de créer de la valeur (Amabilé *et al.* 2012). Or, cette recherche vise à étudier les facteurs qui ont motivé l'adoption de l'open source par Thales. Il ne s'agit pas d'étudier le rôle de la capacité d'absorption dans le processus d'adoption des TI comme cela a largement été fait dans la littérature (Ben Youssef *et al.* 2015).

1.1. L'adoption de l'innovation et des technologies

La notion d'innovation fait référence à l'introduction d'une nouveauté ou une amélioration significative en termes de produit, service, procédé, distribution



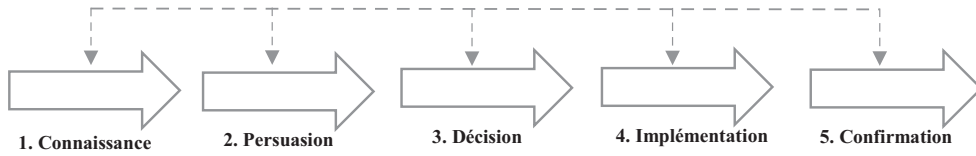


Figure 1 : L'adoption de l'innovation (schéma adapté de Rogers (1983, p. 165))

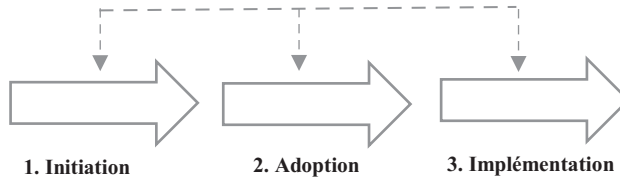


Figure 2 : L'adoption des technologies

ou organisation (OECD/Eurostat 2005, p. 54). L'adoption désigne l'action de réaliser un choix délibéré vis-à-vis d'une chose en vue de se l'approprier pour un usage déterminé¹.

Du point de vue académique, l'adoption consiste à décider d'utiliser une innovation car l'individu (ou l'unité d'adoption) considère qu'il s'agit de la meilleure alternative pour le périmètre concerné par l'adoption. Beaucoup de travaux en SI ont fait le lien entre adoption de l'innovation et adoption de la technologie. L'innovation elle-même n'a pas forcément besoin d'être nouvelle mais elle doit être perçue comme telle par l'unité d'adoption (Thong 1999, p. 190). À contrario, le rejet désigne la non-utilisation de l'innovation (Rogers 1983, p. 172). On considère qu'il existe deux types de rejets : le rejet actif, où l'innovation a été utilisée ou essayée avant d'être rejetée ; le rejet

passif, où l'innovation est rejetée sans avoir été implémentée (Eveland 1979 ; Rogers 1983). À l'heure actuelle, il n'existe pas de théorie globale du rejet des technologies. Néanmoins, les raisons les plus fréquemment citées en matière de rejet sont le coût, le manque d'aptitudes et la non-acceptation par le marché (Goode 2005, p. 671).

L'adoption de l'innovation (ADI) peut aussi bien être analysée sur le plan individuel qu'organisationnel. Elle suit un processus comprenant cinq phases : (1) la connaissance, l'organisation apprend l'existence de l'innovation et regroupe des informations à ce sujet ; (2) la persuasion, elle formule une attitude favorable ou défavorable à l'égard de l'innovation ; (3) la décision, elle engage des activités visant à adopter ou rejeter l'innovation ; (4) l'implémentation, elle utilise l'innovation ; (5) la confirmation, elle corrobore

¹ La notion d'adoption proposée est inspirée des entrées « adopter » et « adoption » proposées par le CNRTL (Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales). Cette définition est toutefois une proposition de l'auteur.



ou infirme l'adoption (Rogers 1983, p. 207).

En matière d'innovation technologique, l'adoption peut être résumée en trois étapes : (1) l'initiation, l'organisation rassemble et évalue des informations à propos de la technologie, (2) l'adoption, où la décision concernant l'acceptation ou le rejet de la technologie est formulée et (3) l'implémentation, où il s'agit d'intégrer la technologie à l'organisation (Thong 1999, p. 187).

Dans la littérature en SI, l'étude de l'ADI est souvent couplée au cadre TOE (Technologie, Organisation, Environnement) (Huy *et al.* 2012) qui fait référence au contexte technologique, organisationnel et environnemental (Tornatsky *et al.* 1983). Le contexte technologique s'intéresse aux caractéristiques des technologies détenues par l'entreprise et à la manière dont celles-ci peuvent influencer l'adoption. Le contexte organisationnel se focalise sur les caractéristiques de l'organisation en termes de taille, de structure ou encore de ressources qui pourront contraindre ou au contraire faciliter l'adoption (Chau et Tam 1997, p. 4). Le contexte environnemental considère les concurrents, les fournisseurs ou le rapport aux États qui peuvent également jouer un rôle en matière d'adoption (Zhu *et al.* 2003, p. 252). Le cadre TOE a largement été mobilisé pour analyser les facteurs d'adoption de technologies nouvelles comme l'échange de données informatisées (Iacovou *et al.* 1995), les systèmes ouverts (Chau et Tam 1997) ou même l'e-business (Zhu *et al.* 2003). Ce cadre théorique offre une caractérisation structurée de l'environnement d'adoption (Chau et Tam 1997). Plus récemment, le cadre TOE a été étendu par deux nouvelles dimensions. La première dimension s'intéresse aux caractéristiques des managers en termes de connaissances TI

et d'attitude vis-à-vis de l'innovation (Huy *et al.* 2012). La seconde dimension prend en considération la capacité d'absorption des entreprises (Ben Youssef *et al.* 2015). Le cadre TOE sera utilisé pour classifier les freins et motivations à l'adoption de l'open source pour la conception de SI critiques.

1.2. L'adoption de l'open source par les organisations

Bien qu'il existe des controverses théoriques et pratiques sur le caractère innovant des logiciels open source en tant que produit (Benkeltoum 2013 ; Fitzgerald 2006 ; Fuggetta 2003), de nombreux universitaires considèrent que l'open source représente une innovation radicale (Bonaccorsi *et al.* 2006) ou de rupture (Rossi 2009, p. 154 ; Spinellis et Giannikas 2012, p. 670) qui comprend différents artefacts technologiques et familles de technologies (Marsan *et al.* 2012, p. 260). L'adoption de ces technologies est considérée comme un cas d'adoption d'innovation technologique (Li *et al.* 2011, p. 88). Il convient de souligner que les innovations SI peuvent avoir un impact limité alors que d'autres peuvent avoir un impact global sur l'organisation (Chau et Tam 1997, p. 4-5). Dans le cas des technologies open source, la transformation provoquée peut être variable (Grand *et al.* 2004).

Les travaux existants en matière d'adoption des technologies (ADT) open source se scindent en deux courants. Le premier courant s'intéresse à l'adoption ou au rejet du point de vue individuel (Alexy *et al.* 2013 ; Li *et al.* 2011). Par exemple, ces travaux suggèrent que le fait de s'identifier à la communauté open source a un impact positif sur l'adoption (Gwebu et Wang 2011, p. 220). Le second courant se penche sur l'adoption ou le rejet sur le



plan organisationnel. L'ADT open source peut être réalisée à des degrés différents. Ainsi, on considère qu'une entreprise peut avoir quatre niveaux d'allocation de ressources dans le but d'exploiter les opportunités offertes par ces logiciels : (1) l'utilisation, l'entreprise n'intervient pas dans le processus de développement des logiciels utilisés ; (2) la proposition de logiciels libres comme complément ; (3) l'adoption de l'open source comme méthode de production ; (4) l'adaptation du modèle d'affaires aux spécificités de ces technologies (Grand *et al.* 2004). Par ailleurs, la participation à des communautés, le fait de proposer des produits open source ou encore l'utilisation des pratiques de développement propres à l'open source, n'impliquent pas forcément l'adoption organisationnelle pour l'usage interne (Marsan *et al.* 2012, p. 262). Étant donné que cette recherche s'intéresse à l'adoption de l'open source du point de vue organisationnel, la revue de la littérature sera centrée sur ce point. En s'appuyant sur le cadre théorique TOE, il conviendra de classifier les freins et les motivations à l'ADT open source.

1.2.1. Motivations à l'adoption

Motivations technologiques. Le principal moteur à l'adoption de l'open source est le faible coût d'acquisition et de possession (Li *et al.* 2013, p. 56 ; Poba-Nzaou *et al.* 2014, p. 478 ; Spinellis et Giannikas 2012, p. 679). En fait, ces logiciels ont un coût d'acquisition négligeable (Goode 2005, p. 672 ; Macredie et Mijinyawa 2011) voire nul (Dedrick et West 2003, p. 243). Ils sont également adoptés en raison de leur haute fiabilité (Dedrick et West 2003, p. 244 ; Li *et al.* 2013, p. 56 ; Qu *et al.* 2011, p. 997), qualité (Capra *et al.* 2011), stabilité (Spinellis et Giannikas 2012) et de la rapide correction des bugs (Bitzer et Schröder 2005). Des éléments

davantage liés aux caractéristiques de ces logiciels jouent également un rôle en matière d'adoption dont : l'innovation (Dedrick et West 2003, p. 248), la compatibilité (Macredie et Mijinyawa 2011), la trialabilité (capacité d'une innovation à être testée dans un périmètre restreint) (Dedrick et West 2003, p. 243 ; Qu *et al.* 2011, p. 998), l'amélioration de la capacité à adapter le logiciel, la diminution des risques de lock-in d'un seul fournisseur propriétaire (Li *et al.* 2013, p. 56).

Motivations organisationnelles. La littérature a montré que l'adoption de l'open source pouvait être motivée par l'amélioration de l'image et de la réputation (Bonaccorsi *et al.* 2006, p. 1092). Les entreprises ont tendance à adopter l'open source lorsque ces dernières ont les compétences techniques nécessaires (Dedrick et West 2003, p. 244 ; Qu *et al.* 2011, p. 998). La qualité du capital humain est donc d'une importance centrale en matière d'adoption (Colombo *et al.* 2014, p. 899 ; Li *et al.* 2013, p. 56). En effet, les compétences humaines améliorent la capacité des entreprises à tirer profit de ces technologies (Harison et Koski 2010, p. 358). La littérature soutient que l'adoption est favorisée lorsqu'elle est en adéquation avec les affaires de l'entreprise (Qu *et al.* 2011, p. 997) ou lorsque l'organisation considère que celle-ci peut améliorer sa performance (Macredie et Mijinyawa 2011 ; Marsan *et al.* 2012, p. 269). De même, les entreprises manquant de ressources financières ont tendance à préférer les solutions open source (Macredie et Mijinyawa 2011 ; Qu *et al.* 2011, p. 997).

Motivations environnementales. L'existence de support technique professionnel favorise l'adoption des logiciels libres (Dedrick et West 2003, p. 243 ; Spinellis et Giannikas 2012, p. 667). En réalité, les logiciels les plus populaires basés sur de



grandes communautés sont supportés par des organisations proposant des services. À l'inverse, les logiciels les moins populaires souffrent parfois de manque de support (Marsan *et al.* 2012, p. 258). Du point de vue culturel, les pays où la culture de l'individualisme est marquante auraient tendance à adopter l'open source (Qu *et al.* 2011). Ensuite, le niveau de compétence TI d'un pays a aussi un impact positif sur l'adoption. Plus les individus sont compétents en TI, plus les entreprises seraient capables d'adopter ces logiciels. Pour finir, les pays ayant culturellement des individus acceptant les nouveautés adoptent plus facilement (Qu *et al.* 2011). Par ailleurs, les politiques publiques peuvent aussi avoir un impact positif sur l'adoption (Deodhar *et al.* 2012, p. 289). Par exemple, la Gendarmerie française a migré l'ensemble de ses postes de travail vers la suite bureautique Openoffice.org et a adopté en 2010 une distribution spécifique nommée GendBuntu pour près de 85 000 machines.

1.2.2. Freins à l'adoption

Freins technologiques. D'une manière générale, c'est le manque d'informations fiables concernant le concept d'open source qui ralentit l'adoption dans les organisations (Marsan *et al.* 2012, p. 258). Des recherches soulignent que l'immaturation de certains logiciels a un impact négatif sur l'adoption (Nagy *et al.* 2010, p. 149). En effet, des travaux émanant d'organisations professionnelles démontrent que dans certains domaines comme celui de la bureautique, le poste de travail et les applications métier manquent de maturité (CIGREF 2011, p. 26). La littérature académique a confirmé ce constat puisque ces logiciels sont perçus comme étant plus adaptés aux aspects techniques qu'aux aspects métiers (Marsan *et al.* 2012, p. 258-259). Dans un échantillon

portant sur des entreprises suédoises, la plupart des entreprises ont adopté des logiciels d'infrastructure (Lundell *et al.* 2010, p. 524). Par ailleurs, la crainte de voir que le code source du logiciel adopté soit utilisé pour créer une œuvre dérivée (ou forking) freine l'adoption (Nagy *et al.* 2010, p. 149). Du point de vue juridique, les licences open source conduisent à la création d'incertitudes concernant l'adoption. Même les avocats spécialisés ont des difficultés à conseiller les organisations dans ce domaine (Marsan *et al.* 2012, p. 258). En outre, la crainte d'être dans l'incapacité d'intégrer ces technologies à des SI existants (Nagy *et al.* 2010, p. 149) notamment à cause des problèmes liés à la non-compatibilité avec des technologies issues de monopoles propriétaires et la non-disponibilité de pilotes pour certains matériels (Macredie et Mijinyawa 2011) freinent l'adoption. Les détracteurs de l'open source soulignent que ces logiciels peuvent nuire à l'organisation du fait de leur manque de fiabilité, des failles de sécurité qui deviennent identifiables et du coût de possession supérieur à d'autres types de logiciels (Marsan *et al.* 2012, p. 267). De plus, du fait des risques de violation, de sécurité et de maintenance, les organisations ayant une forte criticité des technologies de l'information (TI) auront tendance à ne pas adopter l'open source. En outre, les DSI (directeurs des systèmes d'information) et les responsables SI considèrent que ces logiciels ne sont pas adaptés aux applications métiers critiques. Les organisations adoptant l'open source ont un niveau de criticité des TI inférieur aux non-adoptants (Li *et al.* 2013, p. 58-59).

Freins organisationnels. Le fait d'avoir travaillé avec des logiciels propriétaires (Qu *et al.* 2011, p. 998) et les investissements précédents réalisés en matière de logiciels fermés (Nagy *et al.* 2010) freinent





l'adoption. D'autres travaux soulignent que les entreprises rejettent l'open source principalement pour le manque de pertinence avec l'activité de l'entreprise et pour l'absence de demande métier (Goode 2005, p. 675). L'insuffisance des connaissances internes pour l'intégration de ces technologies joue également un rôle important en matière de freins à l'adoption (Nagy *et al.* 2010, p. 149) mais aussi le manque de ressources adéquates (Macredie et Mijinyawa 2011). Pour finir, plus une entreprise a un service TI de taille importante (Li *et al.* 2013, p. 59) et plus celle-ci dispose d'un budget important en TI moins elle aura tendance à adopter l'open source (Dedrick et West 2003, p. 244).

Freins environnementaux. L'insuffisance de supports techniques externes (Goode 2005, p. 675 ; Li *et al.* 2013 ; Qu *et al.* 2011, p. 997), la perception d'une incertitude en matière de services et de supports adossés aux logiciels constituent des barrières majeures à l'adoption (Li *et al.* 2013, p. 56). L'incertitude autour des services et du support explique pourquoi les DSI considèrent que l'open source est inapproprié pour les applications métiers (Li *et al.* 2013, p. 60). Les pressions gouvernementales pour l'adoption de logiciels fermés ont un effet négatif sur l'adoption de logiciels ouverts (Qu *et al.* 2011, p. 998). D'un point de vue plus général, plus une entreprise est implantée dans un pays ayant un niveau de développement élevé plus l'adoption est freinée. Puis, les entreprises implantées dans des pays ayant des régimes où la distance entre les détenteurs du pouvoir et le peuple est élevée ont tendance à ne pas adopter l'open source (Qu *et al.* 2011, p. 1001). Le tableau ci-après synthétise la littérature sur les freins et les motivations à l'adoption de l'open source (Tableau 1).

2. OPEN SOURCE ET SYSTÈMES CRITIQUES : ÉTAT DES CONNAISSANCES

2.1. Le système d'information critique

Un SI est dit critique en raison de la sensibilité des activités que celui-ci supporte et lorsqu'il assure des opérations pour lesquelles un blocage ou une panne peut avoir des conséquences importantes voire dramatiques comme la perte de vies. Un tel SI doit donc avoir un haut degré de fiabilité et de correction (Gary *et al.* 2011), une forte tolérance aux pannes, assurer les services importants dans des conditions extrêmes même si une partie de ce dernier est compromise à cause d'une attaque externe (Min et Choi 2004). Les SI critiques sont à distinguer des mission-critical applications où l'aspect critique désigne le fait que ces logiciels supportent des opérations métiers comme les ERP (Entreprise Ressource Planning) que l'on oppose aux logiciels d'infrastructure (Poba-Nzaou *et al.* 2014).

Il convient de différencier les notions de SI critique, de situation extrême et de crise. Une situation de gestion est qualifiée d'extrême lorsque celle-ci a trois caractéristiques : l'évolutivité, l'incertitude et le risque (Bouty *et al.* 2011, p. 4 ; Lebraty 2013, p. 3-4 ; Lièvre et Gautier 2009, p. 5). L'évolutivité désigne les changements rapides, dynamiques et discontinus auxquels sont confrontés les acteurs. L'incertitude porte sur la discontinuité et la rupture des changements observés. Le risque fait référence à la probabilité importante de dommages pour les acteurs impliqués. En situation extrême, l'effet potentiel du risque est critique mais les acteurs ont l'impression de maîtriser ce dernier (Lebraty 2013, p. 4). Une crise est une situation instable voire dangereuse



		Motivations à l'adoption		Freins à l'adoption	
		Explications	Références	Explications	Références
Technologie					
Coût	Faible coût d'acquisition et de possession	(Li <i>et al.</i> 2013 ; Poba-Nzaou <i>et al.</i> 2014 ; Spinellis et Giannikas 2012)		Coût de possession supérieur	(Marsan <i>et al.</i> 2012)
Fiabilité et qualité	Haute fiabilité et stabilité	(Li <i>et al.</i> 2013 ; Qu <i>et al.</i> 2011 ; Spinellis et Giannikas 2012)		Manque de fiabilité	(Marsan <i>et al.</i> 2012)
	Rapide correction des bugs	(Bitzer et Schröder 2005)			
	Qualité	(Capra <i>et al.</i> 2011)			
Forking				Crainte du forking	(Nagy <i>et al.</i> 2010)
Information				Manque d'informations fiables	(Marsan <i>et al.</i> 2012)
Innovation	Innovation	(Dedrick et West 2003)			
Interopérabilité	Capacité d'adaptation	(Li <i>et al.</i> 2013)			
	Compatibilité	(Qu <i>et al.</i> 2011)			
				Incapacité d'intégration	(Nagy <i>et al.</i> 2010)
Licences				Complexité des licences	(Marsan <i>et al.</i> 2012)
Lock-in d'un fournisseur	Lock-in d'un fournisseur	(Li <i>et al.</i> 2013)			
Maturité				Immaturité	(Nagy <i>et al.</i> 2010)
Rôle des TI				Criticité des TI	(Li <i>et al.</i> 2013)
Sécurité				Faibles de sécurité identifiables	(Marsan <i>et al.</i> 2012)
Triabilité	Triabilité	(Qu <i>et al.</i> 2011)			
Organisation					
Activité	Adéquation avec les affaires	(Qu <i>et al.</i> 2011)		Faible pertinence avec l'activité	(Goode 2005)
	Amélioration de la performance	(Marsan <i>et al.</i> 2012)		Absence de demande métier	(Goode 2005)
Antécédents en matière de logiciels propriétaires				Adoption de logiciels propriétaires	(Qu <i>et al.</i> 2011)
				Investissements en logiciels fermés	(Nagy <i>et al.</i> 2010)
Caractéristiques du service TI				Taille du service TI	(Li <i>et al.</i> 2013)
Compétences internes	Compétences techniques adéquates	(Qu <i>et al.</i> 2011)		Insuffisance des connaissances internes	(Nagy <i>et al.</i> 2010)
Ressources financières	Faibles ressources financières	(Qu <i>et al.</i> 2011)			
Environnement					
Caractéristiques du pays	Acceptation des nouveautés	(Qu <i>et al.</i> 2011)			
	Compétence TI	(Qu <i>et al.</i> 2011)			
				Distance élevée avec le pouvoir	(Qu <i>et al.</i> 2011)
				Culture de l'individualisme	(Qu <i>et al.</i> 2011)
				Niveau de développement	(Qu <i>et al.</i> 2011)
				Pressions étatiques pour les logiciels fermés	(Qu <i>et al.</i> 2011)
Support	Existence de support	(Spinellis et Giannikas 2012)		Insuffisance de support externe	(Goode 2005 ; Li <i>et al.</i> 2013 ; Qu <i>et al.</i> 2011)
				Perception d'incertitude support et services	(Li <i>et al.</i> 2013)

Tableau 1 : Synthèse des freins et motivations



déclenchée par un événement. Trois éléments distinguent la situation extrême de la crise : la génération de situations ambiguës, les conséquences multiples et la perturbation des référentiels existants (Evrard Samuel et Ruel 2013, p. 61).

Les notions de situation extrême et de crise portent sur les caractéristiques d'une situation de gestion alors que la notion de SI critique décrit les caractéristiques d'un SI utilisé dans une situation de gestion qu'elle soit standard, extrême ou en crise. On peut souligner que la défaillance d'un SI critique à cause de la survenue d'un événement peut conduire à la création d'une crise (Lebraty 2013). Par ailleurs, les situations extrêmes augmentent la probabilité des crises (Arena *et al.* 2013, p. 89). Un SI critique est un des moyens permettant d'éviter qu'une situation ne se dégrade et devienne instable voire dangereuse. Les SI critiques se retrouvent dans divers domaines sensibles comme la gestion du trafic aérien, l'aiguillage ferroviaire, l'information financière (Arena *et al.* 2013), les missions spatiales (Norris 2004), la chirurgie (Gary *et al.* 2011) ou encore la défense (Godé *et al.* 2012).

Dans le domaine de la défense, un système critique ou mission-critical computer system se définit comme un ensemble d'équipements, de logiciels et de services dont le fonctionnement implique : (1) des activités de renseignement, (2) des données relevant de la sécurité nationale, (3) le contrôle de ressources militaires, (4) un équipement intégré en tout ou partie dans un dispositif d'armement ou encore qui est (5) critique pour la réalisation d'une activité militaire ou pour le renseignement (Bloom et Chung 2001, p. 218). Par exemple, Liaison 16, le système d'aide à la décision centré réseau embarqué dans certains avions militaires français, est un cas typique de SI

critique puisque c'est sur ce dernier que les décisions de bombardements aérien s'appuient (Godé *et al.* 2012). Depuis le début des années 80, l'incorporation de codes informatiques dans les systèmes militaires connaît une croissance vertigineuse (Austin et Larkey 1992) ce qui fait que la problématique de la sécurité des SI a reçu un plus grand intérêt. De même, dans le secteur aéronautique, le taux d'équipement qui nécessite des TI pour fonctionner est passé de 20 à 80% entre 1980 et 2000 (Arena *et al.* 2013, p. 110). Dans ce domaine, les SI critiques sont régis par des normes strictes. Par exemple, la norme DO178C distingue cinq niveaux de criticité pour un composant embarqué dans le domaine de l'avionique allant du niveau A (une défaillance peut mettre en péril la sécurité du vol) au niveau E (un défaut n'aura aucun effet sur la sécurité du vol) (Ferrell et Ferrell 2001). Des contraintes de développement (documentation, traçabilité, etc.) sont associées à chaque niveau de criticité. De manière plus générale, la sécurité des personnes repose sur ce type de systèmes (Gary *et al.* 2011).

2.2. L'open source au service des systèmes d'information critiques

L'utilisation massive de l'open source en entreprise (IDC 2009) a montré qu'il existait des disparités importantes de niveau de maturité en fonction des domaines. Si le développement, l'administration, les technologies internet, les serveurs web ou d'applications ont un degré de maturité élevé, d'autres domaines comme les applications métiers, la sécurité sont beaucoup moins matures (CIGREF 2011). En outre, l'utilisation de l'open source pour les SI critiques fait l'objet de peu de travaux même si, en pratique, ce phénomène est connu (Lawton 2002 ; Lundell





et al. 2010) et est loin d'être négligeable (Gartner Inc. 2011).

L'application de l'open source dans de tels systèmes se heurte à d'importants freins. D'abord, du fait de l'ouverture du code source certains considèrent que le SI est davantage sujet à l'identification de failles de sécurité ou de backdoors (portes dérobées). C'est finalement l'intégration de composants inconnus qui pose le plus problème pour les professionnels de la sécurité et non le fait que le logiciel soit open source (Lawton 2002). Ensuite, la libération du code d'une application sensible est difficilement acceptable pour les praticiens ou des organisations comme la NASA (Norris 2004). Dans ces structures, la sécurité par l'obscurité, c'est-à-dire le fait de conserver secret le code source d'un programme afin de protéger un SI, fait partie intégrante de la culture de ces organisations (Hansen *et al.* 2002). Et ce malgré les importantes limites soulignées par différents spécialistes. De nombreuses failles de sécurité sont découvertes dans les logiciels fermés. Par exemple, des failles de sécurité découvertes sur l'iPhone permettaient d'envoyer des données à l'insu de l'utilisateur (Le Boulout 2011). De plus, le reverse-engineering ou rétro-ingénierie (passage du code objet au code source) est une pratique courante parmi les spécialistes de l'informatique ce qui limite considérablement la portée des pratiques de conservation secrète du code source (Hansen *et al.* 2002).

2.3. Des cas de systèmes d'information critiques issus de la littérature

Une étude portant sur l'adoption de l'open source au sein de la défense américaine (DoD) illustre bien l'engouement existant au sein des administrations

publiques. Par exemple, la National Security Agency (NSA) a conçu sa propre version de Linux nommée Security Enhanced Linux (SEL) qui vise à supporter des applications critiques. De même, l'US NAVY a adopté des composants open source pour bâtir des applications et a mis en place une politique visant à écarter toute technologie propriétaire (Le Texier et Versailles 2009).

Un retour d'expérience sur la mission américaine Mars Exploration Rover aborde explicitement le sujet. En effet, le Science Activity Planner (SAP), un outil d'analyse des relevés, s'appuie sur des composants open source comme Castor, Java Expression Parser, VRML97 ou le plus connu MySQL. La NASA classe SAP en tant qu'application critique car un dysfonctionnement dans ce programme pourrait compromettre une partie des opérations. Le SAP a clairement été conçu sur la base de technologies open source pour réaliser des économies de développement. Grâce à des accords spécifiques avec les auteurs des composants open source, la NASA a réussi à ne pas publier le code source du SAP. D'après le responsable du projet SAP, les composants open source avaient un niveau de qualité supérieur à leur équivalent non libre. Plusieurs éléments doivent guider le choix des composants à intégrer : la maturité du logiciel (stade de développement), la longévité (taille de l'équipe) et la flexibilité du projet (réactivité de l'équipe) (Norris 2004) auxquels on peut ajouter la scalabilité (capacité du composant à répondre à une sollicitation croissante) (Sarrab et Rehman 2014).

Un autre retour d'expérience combine l'open source et les méthodes agiles pour un logiciel de chirurgie guidée par l'imagerie médicale. Ce logiciel est distribué sous licence permissive cela signifie qu'il peut être modifié, lié ou simplement intégré



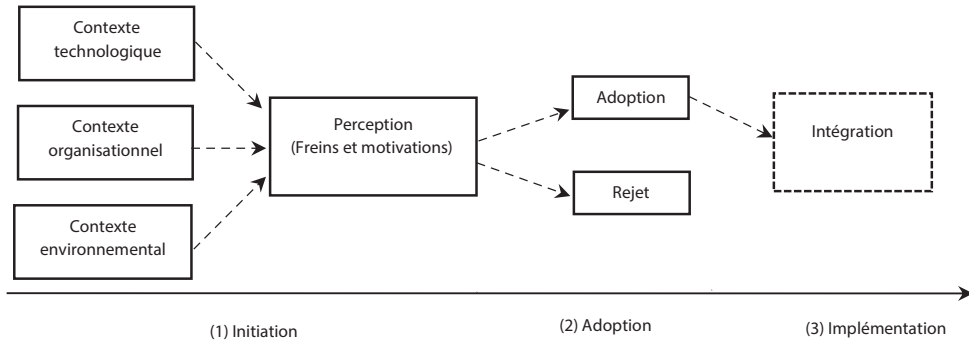


Figure 3 : Positionnement dans le processus d'adoption

avec du code libre ou fermé. L'objectif de ce logiciel est de servir de socle technologique pour la création d'applications pour la chirurgie. Il s'agit bel et bien d'un SI critique pour la sécurité des personnes ou safety-critical (Gary *et al.* 2011). Au niveau Européen, un consortium d'entreprises (Airbus, Thales, Turbomeca...) coordonne le développement de Topcased, un ensemble d'outils destinés à être utilisés pour des SI critiques et notamment dans le domaine aérien.

3. PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

3.1. Positionnement dans le processus d'adoption

En s'appuyant sur la littérature sur l'adoption des technologies et le cadre théorique TOE, cette recherche étudiera les facteurs expliquant l'adoption de l'open source par Thales. Le schéma ci-dessus précise les phases du processus d'adoption étudiées dans cette recherche (Figure 3).

Le processus d'adoption se décompose en trois étapes (Thong 1999, p. 187).

D'abord, l'initiation qui vise à étudier la perception des contextes technologique, organisationnel et environnemental (cadre TOE) (Tornatsky *et al.* 1983) qui conditionnent les freins et motivations à l'adoption. Dans le cas de Thales, il s'agira en particulier de se focaliser sur les éléments essentiels des SI critiques. Pour l'aspect technologique, on considérera : la sécurité, la fiabilité, la correction des dysfonctionnements, la tolérance aux pannes et aux attaques extérieures (Gary *et al.* 2011 ; Lawton 2002 ; Min et Choi 2004). Pour l'aspect organisationnel, on analysera la sensibilité des activités (Bloom et Chung 2001) et la réactivité. Pour l'aspect environnemental, on se concentrera sur les pressions gouvernementales et des organisations clientes (Le Texier et Versailles 2009 ; Norris 2004). Puis, il s'agira d'étudier les éléments liés à la décision d'adopter l'open source. En revanche, aucune observation n'a été réalisée lors du processus de décision. De ce fait, cette recherche se focalisera sur les principaux éléments ayant influencé l'adoption. Enfin, la phase d'implémentation qui ne sera pas étudiée car elle ne concerne pas les éléments ayant motivé l'adoption mais son usage au sein de l'unité d'adoption.

3.2. Présentation du cas

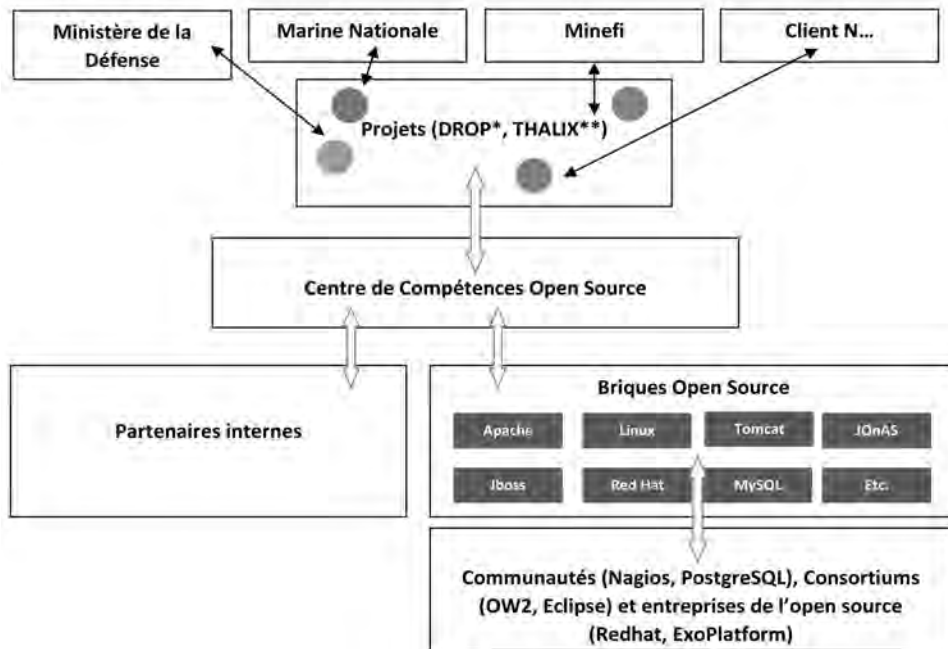
3.2.1. Présentation générale

Thales est un groupe spécialisé en électronique et systèmes. L'entreprise opère plus spécifiquement dans les domaines de la défense, l'aéronautique et la sécurité. Thales emploie près de 70 000 personnes au niveau international dont plus d'un tiers de chercheurs. La firme investit chaque année près d'un cinquième de son activité en R&D (recherche et développement) et est reconnue pour son expertise dans le domaine des hautes technologies. Elle partage différents laboratoires de recherche avec des institutions académiques. À titre d'exemple, Albert Fert, Directeur de l'unité mixte de recherche

en physique CNRS-Thales, a remporté le Prix Nobel de Physique (2007) pour ses travaux sur la magnétorésistance.

3.2.2. Le centre de compétences

Afin d'assurer l'adoption de l'open source, Thales a créé en 2005 un Centre de Compétences Open Source chargé de développer les connaissances nécessaires et de s'impliquer dans les différentes communautés. Il a été initié dans un contexte de recherche et développement et répondait à une anticipation de l'évolution des méthodes de développement : d'une logique fermée à une logique ouverte appliquée au domaine du SI et des services. Son rôle est d'explorer le champ de l'open source et de construire



*DROP est un projet de système dématérialisé des demandes de pièces de rechange (radars, missiles...) conçu à partir de composants libres pour la Marine Nationale française.

**THALIX est une plateforme de gestion du trafic aérien basée sur des composants open source.

Figure 4 : Le rôle du Centre de Compétences Open Source

un réseau de partenariats stratégiques avec des entreprises (basé sur les propos d'Acteur 3, Thales). Thales D3S est la partie du groupe la plus en pointe en matière d'open source. En effet, cette division coopère avec l'ensemble des autres divisions pour promouvoir les technologies open source. Le centre sert d'interface entre les projets commandités par les clients (Marine Nationale, Ministères, etc.) et les composants open source développés dans le cadre de communautés ou de consortiums industriels. Le schéma supra propose une vision simplifiée du rôle du centre (schéma adapté à partir de documents officiels de Thales).

Le centre assure la pérennité de l'architecture logicielle et des applications. En d'autres termes, Thales crée une architecture orientée services où les composants open source peuvent évoluer ou même être remplacés. Cette transformation est essentiellement conditionnée par la technologie et les besoins clients. Dans le domaine informatique, la technologie et les standards évoluent très rapidement ce qui nécessite une flexibilité technique poussée. De même, l'architecture peut évoluer au gré des besoins métiers et clients sans pour autant remettre en question le fonctionnement du système.

3.3. Approche méthodologique

3.3.1. Étude exploratoire basée sur un cas

Plusieurs éléments justifient le recours à l'étude de cas exploratoire. D'abord, cette recherche tente de comprendre le pourquoi d'un phénomène (Leonard-Barton 1990). Ensuite, la pauvreté des travaux sur l'utilisation de l'open source pour la conception de SI critiques ou sensibles, le caractère émergent de ce type de pratiques, justifient davantage le recours à cette méthode. En effet, l'étude

de cas peut être employée pour décrire, tester une théorie ou encore générer une théorie. Cette stratégie de recherche repose sur la sélection d'un ou plusieurs cas et de nombreux niveaux d'analyse (Eisenhardt 1989). Ce ou ces cas doivent particulièrement être caractéristiques d'un phénomène à observer (Leonard-Barton 1990).

Certains auteurs prétendent même que la validité des théories basées sur un nombre limité de cas ont la même validité que celles basées sur un grand échantillon (Christensen 2006 ; Fitzgerald 1997). On peut également dire que l'étude de cas est désormais une méthodologie unanimement reconnue (Eisenhardt 1989 ; Eisenhardt et Graebner 2007). Les études de cas combinent des données qui peuvent varier en nature (qualitative, quantitative) et en fonction de leur provenance (archives, interviews, etc.) (Eisenhardt 1989 ; Leonard-Barton 1990).

3.3.2. Source de données

Thales Group a été étudié dans le cadre d'un projet de recherche national destiné à analyser l'utilisation de l'open source en entreprise. De manière plus précise, l'auteur a eu l'opportunité d'assister à l'émergence et au développement d'un centre de compétences open source au sein de la division Thales Division Services (Thales D3S) entre 2006 et 2009 ce qui correspond à une étude de cas longitudinale (Pettigrew 1990).

Thales a été analysée par le biais de plusieurs sources de données (Eisenhardt 1989 ; Pettigrew 1990). La première source correspond à des interviews semi-structurées et des réunions (durée allant d'une à deux heures) en face-à-face, par internet ou téléphone réalisées avec des acteurs clés (Pettigrew 1990) de Thales. Ces interlocuteurs occupaient les fonctions



	Entretiens	Courriels	Conférences	Documentations internes et officielles
Thales Group	7	X	2	X
Partenaires	4	X	1	X

Tableau 2 : Sources de données

suivantes : Directeur de la recherche et de l'innovation, Directeur Recherche et Technologie Asie, Responsable du centre de compétences open source, Open source Architect, Open source Engineer. Étant donné que l'open source est un cas extrême d'open innovation (Dahlander et Wallin 2006), il était pertinent d'étendre l'analyse vers l'extérieur de la firme (Chesbrough 2003) afin d'enrichir l'analyse auprès de partenaires. Ces données ont été retranscrites manuellement. La seconde source reposait sur des échanges informels dans le cadre de séminaires. Parmi ces derniers figure la participation à une conférence internationale dédiée à l'open source durant trois jours avec un responsable de projets européen. La troisième source correspond à des documents internes, des communiqués de presse, des informations publiques ou encore des présentations orales ou écrites. La quatrième correspond à des échanges de courriels (environ 200) sur des points particuliers. Cette dernière source a particulièrement été riche. Ces sources de données sont synthétisées ci-dessus (Tableau 2).

3.3.3. Analyse de données

L'approche méthodologique de cette recherche est une étude de cas longitudinale (Pettigrew 1990) où l'adoption de l'open source de Thales a été analysée. L'interprétation des données qualitatives s'est appuyée sur un raisonnement inductif et plus particulièrement sur la Grounded Theory (Glaser et Strauss 1967). Dans ce cadre d'analyse, la démarche de

codification des données est basée sur un rapport dynamique entre les données et l'interprétation. Pour ce faire, un logiciel de codification de données (Nvivo) a été utilisé. La procédure de codage s'est décomposée en trois étapes (Figure 5).

Codage primaire. À partir des différents textes et en s'appuyant sur la littérature en matière d'adoption, l'identification des freins et des motivations du groupe Thales a été réalisé. Pour ce faire, un codage par champ lexical a été choisi. Le premier champ lexical, dédié aux freins à l'adoption, regroupait l'ensemble des éléments mentionnant :

- des risques : « Évaluation des risques, responsabilité » ;
- des doutes : « There is also a question of technology quality of projects. » ;
- des expressions et perceptions négatives ou péjoratives : « Les licences libres ont été créées par des techniciens, altermondialistes. »

Le second champ lexical, centré sur les motivations à l'adoption, rassemblait les expressions faisant référence à :

- des bénéfices perçus : « Transfert de l'innovation issue du monde Open Source. » ;
- des intentions stratégiques : « Il s'agit donc d'une volonté d'indépendance technologique. »

Codage secondaire. Sur la base du premier codage permettant de faire la dichotomie entre les éléments freinant l'adoption d'une part et les éléments motivant



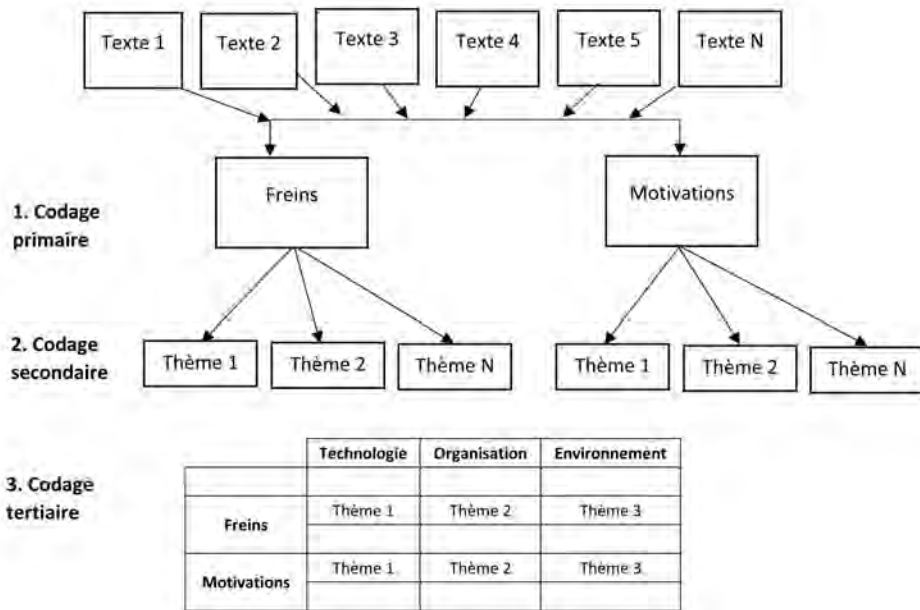


Figure 5 : Procédure de codage

l'adoption d'autre part, un second codage a été opéré. Ce dernier avait pour but l'identification de thèmes maximisant les phénomènes d'inversement, d'extension et de réplication (Eisenhardt et Graebner 2007, p. 27).

Codage tertiaire. La dernière phase de codage s'appuyant d'une part sur les données précédemment classées en freins et motivations (codage primaire) et en thèmes (codages secondaire) et, d'autre part, sur le cadre d'analyse TOE issu de la littérature.

4. LES FREINS ET LES MOTIVATIONS À L'ADOPTION DE L'OPEN SOURCE DANS LE DOMAINE DES SI CRITIQUES

Si l'open source a suscité bon nombre de craintes à l'intérieur et à l'extérieur

(clients, partenaires) de Thales, ces technologies ont également présenté de nombreux intérêts pour la conception de SI critiques. Le tableau ci-dessous synthétise les résultats de la procédure de codage des données et offre un récapitulatif des principaux thèmes regroupant les freins et des motivations ayant motivé l'adoption des technologies ouvertes au sein de Thales (Tableau 3).

La classification thématique regroupant les freins et des motivations à l'adoption de l'open source au sein de Thales montre clairement un déséquilibre des préoccupations. Que ce soit du côté des freins ou que ce soit du côté des motivations, les principales préoccupations du groupe se situent au niveau technologique. Les aspects organisationnels et environnementaux jouent un rôle beaucoup moins important. Dès lors, les deux premières propositions en découlent :



	Technologie	Organisation	Environnement
Freins	Qualité	Modèles d'affaires	Support
	Exposition de code		
	Interopérabilité et intégration		
	Manque de sécurité		
	Compatibilité		
	Manque de maturité		
	Licences		
	Responsabilité		
Motivations	Innovation	Services associés	Réactivité
	Indépendance technologique		
	Réduction des coûts		

Tableau 3 : Synthèse des thèmes de la procédure de codage

Proposition 1a : Dans le domaine des systèmes d'information critiques les principaux freins à l'adoption de l'open source se situent au niveau technologique.

Proposition 1b : Dans le domaine des systèmes d'information critiques les principales motivations à l'adoption de l'open source se situent au niveau technologique.

En confrontant les freins et motivations issus de la littérature et ceux identifiés dans l'analyse de données via le cadre TOE, quatre types de constats peuvent être réalisés : 1) la confirmation de propositions issues de la littérature, 2) l'extension de propositions générales au domaine des SI critiques, 3) la contradiction de la littérature et enfin 4) la suggestion de nouvelles propositions spécifiques aux SI critiques. Le tableau ci-après propose une synthèse de la confrontation théorie vis-à-vis du cas Thales et souligne les apports (Tableau 4).

4.1. La confirmation de propositions issues de la littérature

La littérature soutient que le coût d'acquisition et de possession est le principal facteur motivant l'adoption (Li *et al.* 2013 ; Poba-Nzaou *et al.* 2014 ; Spinellis et Giannikas 2012). D'autres auteurs prétendent que le coût de possession est également un des freins majeurs (Marsan *et al.* 2012). Dans l'étude de cas, la problématique de la réduction des coûts est bien évidemment présente.

Il convient de distinguer le coût d'acquisition qui favorise les logiciels open source du fait de leur faible coût (Goode 2005) et le coût de possession (Fitzgerald 2006) qui prend en considération d'autres facteurs tels que : la formation, l'adaptation aux besoins, les coûts liés à la migration des données, etc. On peut toutefois expliquer ce phénomène en affirmant



Catégorie	Technologie	T	C	Apports	Cas Thales	Propositions
Coût	Faible coût d'acquisition et de possession	+/-	+	Confirmation	« Maîtrise des coûts. »	
Fiabilité et qualité	Haute fiabilité et stabilité	+	+	Extension	« Open Source components are now enough mature, stable and robust to be implemented in any mission critical application. »	4 Certains composants open source sont suffisamment fiables, stables et matures pour être intégrés dans des SI critiques.
	Qualité	+	-	Contradiction	« Ça pose un problème pour les industriels à savoir : il y a des softs vraiment très bien mais il n'y a pas de support. Il n'y a pas de qualité, on ne sait pas ce que ça vaut. Qu'est-ce qui se passe si dans trois ans on s'arrête de travailler dessus. »	6 Dans le domaine des SI critiques, la qualité nécessaire à l'adoption d'un logiciel open source est supérieure à la qualité moyenne attendue pour un usage professionnel (non critique).
	Rapide correction des bugs	+	+	Extension	« Donc, on participe à la communauté pour être beaucoup plus réactifs. »	5 Dans le domaine des SI critiques, l'adoption de l'open source vise à améliorer la réactivité.
Innovation	Innovation	+	+	Confirmation	« Détection des nouvelles technologies et usages. »	
Interopérabilité	Compatibilité	+	-	Contradiction	« How an Open Source component should be integrated, modified and distributed? »	8 Dans le domaine des SI critiques les préoccupations liées à l'interopérabilité et à l'intégration sont supérieures à la moyenne attendue pour un usage professionnel (non-critique).
	Capacité d'adaptation	+	+	Confirmation	« Flexibilité de l'architecture et des composants. »	
Licences	Complexité des licences	-	-	Extension	« Un des freins à la promotion et propagation des composants OSS a pour origine les craintes engendrées par la profusion de licences libres. »	2 Dans le domaine des SI critiques, les problématiques liées aux licences constituent un frein majeur à l'adoption.
Indépendance technologique	Indépendance technologique		+	Suggestion	« L'open Source est perçu comme le moyen de garantir l'indépendance software de l'Europe et donc sa sécurité logicielle. »	12 Dans le domaine des SI critiques, l'open source est un moyen de reconquérir l'indépendance technologique.
Maturité	Immaturité	-	-	Extension	« Pour la sécurité, l'open source est mature mais avec un petit bémol sur la base de données et les composants de sécurité, authentification, identification, etc. »	3 Le manque de maturité de certains composants de sécurité dans l'open source freine l'adoption dans le domaine des SI critiques.
Responsabilité	Responsabilité		-	Suggestion	« Évaluation des risques, responsabilité. »	10 Dans le domaine des SI critiques, les problématiques liées à la responsabilité en cas de défaillance est supérieure aux autres domaines ce qui constitue un frein à l'adoption.
Rôle des TI	Criticité des TI	-	+	Contradiction	« PoSSIS is a suite of 40+ Open Source Components leveraging an SOA Platform for Critical Information Systems. »	7 Dans le domaine des SI critiques, certains composants open source sont perçus comme capables de supporter des opérations sensibles.
Exposition de code	Exposition de code		-	Suggestion	« Il y avait une crainte : exposer certains codes. »	11 Dans le domaine des SI critiques, la crainte de l'exposition du code source de certains composants sensibles freine l'adoption.
Organisation						
Activité	Incertitude affaires		-	Suggestion	« Thales veut faire de l'open source mais qu'est-ce que ça rapporte ? »	9 Pour certains secteurs réputés utilisateurs de logiciels fermés, l'open source présente une incertitude au niveau du modèle d'affaires ce qui freine l'adoption.
Environnement						
Support	Insuffisance de support externe		-	Confirmation	« Le client veut une qualité de service peut importe le système intégré. Il est en droit d'exiger la même qualité de service qu'un éditeur de logiciel peut lui fournir. Dans le monde des éditeurs, quand on a un contrat avec IBM et que l'on a un problème on peut se retourner sur IBM. Mais quand c'est une communauté c'est différent ! Vers qui se retourner ? »	

Tableau 4 : Confrontation théorie (T) / cas Thales (C) / apports (A)

que le coût d'adoption (acquisition et possession) des logiciels open source n'est pas uniforme dans les organisations. Lorsqu'une entreprise dispose des compétences techniques adéquates en interne (Qu *et al.* 2011), le coût est plus faible que dans les organisations présentant une insuffisance des connaissances internes (Nagy *et al.* 2010).

La capacité d'adaptation des composants (Li *et al.* 2013) et le fait de profiter de l'innovation (Dedrick et West 2003) figurent également parmi les raisons de l'adoption de l'open source.

« Transfert de l'innovation issue du monde Open Source. » (Acteur 5, Thales)



Du point de vue des freins, l'insuffisance de support externe (Goode 2005 ; Li *et al.* 2013 ; Qu *et al.* 2011) constitue également un frein à l'adoption au sein de Thales.

« Dans le monde des éditeurs, quand on a un contrat avec IBM et que l'on a un problème on peut se retourner sur IBM. Mais quand c'est une communauté c'est différent ! Vers qui se retourner ? » (Acteur 4, Thales)

4.2. L'extension de propositions générales au domaine des SI critiques

La littérature souligne que la complexité des licences (Marsan *et al.* 2012) est un frein majeur à l'adoption. Au sein de Thales, les craintes liées aux licences concernent non seulement la complexité des licences mais aussi d'autres facteurs liés. Les licences open source et hybrides sont particulièrement nombreuses et complexes. Elles ont nécessité le développement de compétences spécifiques afin de créer des SI respectant les règles des licences et en même temps protégeant les portions de code à haute valeur ajoutée.

Les licences open source ont également soulevé des réserves en interne concernant leur applicabilité en droit français et européen. En effet, le fait que les licences libres soient rédigées en langue étrangère pose des problèmes juridiques. Par ailleurs, certaines licences comme la General Public Licence (GPL) ont un pouvoir de contamination qui est mal compris. Pour Thales, les problématiques liées aux licences vont bien au-delà du constat de complexité. Puisque le groupe soulève des éléments liés à l'applicabilité et à la contamination de code. Dès lors, il ressort de l'étude de cas la proposition ci-dessous.

Proposition 2 : Dans le domaine des SI critiques, les problématiques liées aux licences constituent un frein majeur à l'adoption.

Certains travaux défendent l'idée que l'immaturation des composants freine l'adoption (Nagy *et al.* 2010). Dans l'étude de cas, le manque de maturité est indiqué pour le domaine de la sécurité.

D'où la proposition ci-après.

Proposition 3 : Le manque de maturité de certains composants de sécurité dans l'open source freine l'adoption dans le domaine des SI critiques.

La littérature souligne en outre que l'adoption est motivée par la haute fiabilité et stabilité des composants open source (Li *et al.* 2013 ; Qu *et al.* 2011 ; Spinellis et Giannikas 2012). Ces qualités sont également considérées comme des vecteurs de l'adoption pour Thales. Toutefois, une importante nuance est à apporter. Tous les composants open source ne présentent pas la même fiabilité et stabilité. Thales a sélectionné les composants en fonction de critères liés aux SI critiques.

D'où la proposition suivante.

Proposition 4 : Certains composants open source sont suffisamment fiables, stables et matures pour être intégrés dans des SI critiques.

Par ailleurs, la littérature indique que la rapide correction des bugs (Bitzer et Schröder 2005) constitue un élément motivant l'adoption. Au sein de Thales, ce point est mentionné et c'est même un facteur permettant d'améliorer la réactivité de l'entreprise.

De plus, un bug bloquant affectant un SI critique doit être corrigé le plus rapidement possible en raison de la criticité des opérations supportées. Le modèle communautaire présente des capacités de résolution de bugs beaucoup plus importantes.





« Le Minefi² a eu un bug bloquant sur son site de paiement des impôts avec Jboss³. Le problème a été résolu en 9 heures ! Il y a eu une version officielle qui prenait le correctif en 9 heures, c'est du jamais vu. Même les grands éditeurs n'ont pas cette réactivité. » (Acteur 1, Thales)

D'où la proposition ci-dessous.

Proposition 5 : Dans le domaine des SI critiques, l'adoption de l'open source vise à améliorer la réactivité.

4.3. La contradiction de la littérature

En confrontant les freins et motivations à l'adoption dans la littérature et les résultats du cas Thales, de fortes contradictions émergent. En matière technologique, les logiciels open source sont adoptés pour leur qualité (Capra *et al.* 2011) mais ils sont également rejetés pour leur manque de fiabilité et de sécurité (Marsan *et al.* 2012). Cette contradiction se retrouve également dans les données du cas puisque le manque de qualité est mentionné comme un élément entraînant le rejet.

De ce fait, la proposition ci-après peut être réalisée.

Proposition 6 : Dans le domaine des SI critiques la qualité nécessaire à l'adoption d'un logiciel open source est supérieure à la qualité moyenne attendue pour un usage professionnel (non-critique).

Certains auteurs soulignent que la criticité des TI est négativement corrélée avec l'adoption de l'open source (Li *et al.* 2013). L'étude de cas Thales montre exactement le phénomène inverse. Puisque Thales opère dans des domaines où les TI sont fortement critiques

(gestion du trafic aérien, défense, sécurité). L'entreprise a sélectionné des composants en vue de leur intégration dans des SI critiques.

D'où la proposition ci-dessous.

Proposition 7 : Dans le domaine des SI critiques certains composants open source sont perçus comme capables de supporter des opérations sensibles.

Par ailleurs, les logiciels open source sont mentionnés pour leur compatibilité (Qu *et al.* 2011). Pourtant dans le cas Thales, les conditions d'interopérabilité et d'intégration ont provoqué des questionnements.

Dès lors, la proposition suivante est suggérée.

Proposition 8 : Dans le domaine des SI critiques les préoccupations liées à l'interopérabilité et à l'intégration sont supérieures à la moyenne attendue pour un usage professionnel (non-critique) ce qui freine l'adoption des logiciels open source.

4.4. La suggestion de nouvelles propositions spécifiques aux SI critiques

Certains freins et motivations émanant de l'analyse de données ne figurent pas dans la littérature. D'abord, la question de la valorisation des logiciels open source a suscité des craintes.

« Thales veut faire de l'open source mais qu'est-ce que ça rapporte ? » (Acteur 1, Thales)

La proposition ci-dessous découle de ce constat.

Proposition 9 : Pour certains secteurs réputés utilisateurs de logiciels fermés (comme

² Ministère de l'Économie et des Finances.

³ Jboss est un serveur d'application open source.





les SI critiques), l'open source présente une incertitude au niveau du modèle d'affaires ce qui freine l'adoption.

Les problématiques liées à la responsabilité ont également posé des problèmes. Par exemple, les experts de Thales ont souligné que la GPL contient une clause qui stipule que la responsabilité du distributeur ne peut être engagée pour tout dommage causé par le logiciel. Or, en droit français cette clause est nulle car il n'est pas possible de dégager sa responsabilité par le biais d'une clause (contrairement au droit états-unien) : celui qui distribue le logiciel en est responsable juridiquement. Par ailleurs, la question du travail distant et de la responsabilité associée a soulevé des questionnements.

« Est-ce que l'on peut de chez nous reverser du code au nom de Thales ? Pour les techniciens, c'est la problématique de l'écosystème, s'il n'y a personne qui donne l'écosystème ne pourra pas continuer. Mais si l'on reversait du code au nom de Thales, cela signifie que la responsabilité de Thales est engagée. Finalement, il n'y a eu aucune opposition, ni du côté « Corp » ni du côté « Division ». » (Acteur 1, Thales)

D'où la proposition ci-dessous.

Proposition 10 : Dans le domaine des SI critiques, les problématiques liées à la responsabilité en cas de défaillance sont supérieures aux autres domaines ce qui constitue un frein à l'adoption.

L'exposition de code de certains composants sensibles sont mentionnés parmi les freins à l'adoption ; ceci est en opposition avec certains éléments motivant l'adoption comme l'amélioration de la réactivité de l'entreprise en matière de résolution de bugs. Cette exposition a suscité bon nombre de craintes pour les donneurs d'ordre de Thales, le Ministère de la défense en particulier.

D'où la proposition ci-après.

Proposition 11 : Dans le domaine des SI critiques, la crainte de l'exposition du code source de certains composants sensibles freine l'adoption.

Les idées sur le manque de sécurité des composants open source ont aussi été l'objet de débats.

« Les questions de sécurité n'ont pas été abordées par les communautés car elles entrent en conflit avec la philosophie de l'open source, l'esprit de partage. » (Acteur 1, Thales)

En conception de SI critiques, l'exposition de code sensible constitue une véritable crainte car des notions comme la sécurité par l'obscurité font partie intégrante de la culture de ce type d'organisations (Hansen *et al.* 2002).

Pour Thales, l'adoption de l'open source est d'abord motivée par l'acquisition d'une indépendance technologique. Par exemple, dans le domaine de la gestion du trafic aérien, l'entreprise travaillait initialement avec des éditeurs qui contrôlaient le SI implanté.

« Historiquement, les serveurs utilisés avant l'arrivée de ces machines sous Thalix, étaient des « Stratus », dont le matériel et le système d'exploitation étaient contrôlés par un fournisseur unique. Il en découle les problèmes de compétence disponible, de réactivité de la hotline unique, en particulier face à des pannes matérielles dont quasiment personne n'avait l'expérience. » (Acteur 3, Thales)

En matière de sécurité, certains experts de Thales considèrent que les logiciels fermés présentent des problèmes liés à la présence de failles de sécurité (volontaires ou non). Dans le domaine de la défense, l'intégration de composants compilés donc inconnus n'est plus acceptée. Thales recherche donc à contrôler l'intégralité des composants qui entrent dans la conception des SI critiques qui jusqu'ici étaient sous le contrôle d'entreprises



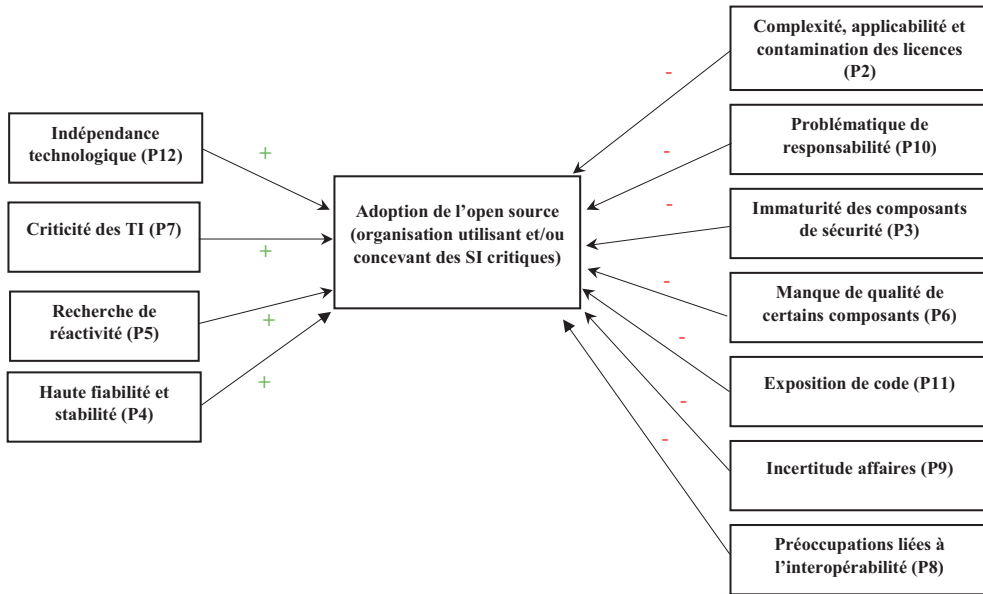


Figure 6 : Modélisation des freins et motivations à l'adoption de l'open source pour les SI critiques

contrôlées par des puissances étrangères. Ces technologies constituent une alternative crédible afin de reconquérir l'indépendance technologique de l'entreprise.

« Dans l'environnement propriétaire il y avait une dépendance américaine. Cette dépendance est technologique ce n'est pas pour faire du « cocorico »... » (Acteur 4, Thales)

D'où la proposition suivante.

Proposition 12 : Dans le domaine des SI critiques, l'open source est un moyen de reconquérir l'indépendance technologique

Sur la base des propositions issues de la confrontation entre la littérature et les données du cas Thales, une modélisation des principaux freins et motivations à l'adoption de l'open source pour la conception de SI critiques est proposée (Figure 6).

CONCLUSION ET IMPLICATIONS

La littérature a indéniablement documenté les différentes facettes de l'open source et son application en entreprise. Dès lors, elle a distingué les modèles d'affaires ouverts (Dahlander 2005 ; Jullien 2003), hybrides (Bonaccorsi *et al.* 2006 ; Mouakhar et Tellier 2013 ; Välimäki 2003) et fermés (Benkeltoum 2011b ; Lisein *et al.* 2009) ; décrit les modèles d'intervention dans les communautés (Dahlander et Magnusson 2008 ; Dahlander et Magnusson 2005) et d'allocation de ressources pour tirer profit de l'open source (Grand *et al.* 2004) ; dressé les avantages et inconvénients de ces technologies en termes de structure (Capra *et al.* 2011), modularité (MacCormack *et al.* 2006) ou encore de réactivité (Paulson *et al.* 2004) sans pour autant expliquer les raisons poussant les entreprises concevant des SI critiques à adopter ou rejeter l'open source.



La littérature a également souligné que les entreprises ayant adopté des logiciels propriétaires et réalisé des investissements élevés dans ces derniers ont tendance à rejeter l'open source (Nagy *et al.* 2010 ; Qu *et al.* 2011). Pourtant, Thales avait adopté de nombreux composants fermés et avait développé un grand nombre de partenariats avec des éditeurs, ce qui n'a pas empêché le groupe d'adopter ces technologies. La littérature a principalement étudié l'adoption de l'open source pour des logiciels d'infrastructure (Lundell *et al.* 2010) et bien souvent dans les organisations étudiées, l'adoption constitue un choix tactique et non stratégique (Spinellis et Giannikas 2012). L'adoption tactique ne vise qu'à améliorer un élément à court terme comme les coûts ou l'image. Alors que l'adoption ayant une visée stratégique oblige l'organisation à transformer ses stratégies technologiques (transformation des pratiques de développement et de sélection des composants), d'affaires (création et capture de la valeur, changement en matière de partenariat, implication et partage des risques avec les communautés et les consortiums) et organisationnelles (déploiement de « forge interne », développement de compétences spécifiques). Le cas Thales montre comment l'adoption de l'open source peut s'intégrer dans une intention stratégique. Pour Thales, la recherche d'indépendance technologique constitue le principal moteur à l'adoption de l'open source pour la conception de SI critiques. Dès lors, on peut considérer que les organisations se scindent en deux catégories : celles qui considèrent que l'open source n'est pas pertinent vis-à-vis de l'activité et/ou des métiers de l'entreprise (Goode 2005) et une autre catégorie d'entreprises qui voient dans l'open source un moyen d'améliorer la performance (Marsan *et al.* 2012) et les affaires (Qu *et al.* 2011).

Cette recherche contribue à la littérature en matière d'adoption de l'open source pour les entreprises concevant des SI critiques. Elle décrit plus spécifiquement les raisons pour lesquelles une entreprise agissant dans des domaines exigeants en matière de qualité, de stabilité et de sécurité, a changé d'optique de développement en intégrant des technologies libres et en partageant des technologies non critiques pour sa compétitivité. Un partenaire de Thales souligne que :

« L'open-source a un pouvoir inné de transformer les organisations même les plus fermées et les plus policées : une fois qu'il y a fait son entrée, les choses changent, et ça échappe à tout contrôle (la remarque vaut pour Thalès... comme pour la Chine entière). » (Experlog, Partenaire OW2)

Le cas Thales illustre que la sécurité n'est pas forcément une question de sécurité par l'obscurité (Hansen *et al.* 2002), c'est-à-dire via l'utilisation de logiciels de type boîte noire dont le contenu est inconnu. Dans ce domaine, l'adoption des composants open source s'explique principalement par des éléments liés à la technologie dont la recherche d'indépendance technologique, la criticité technologique ou l'amélioration de la réactivité technique. De la même manière, l'adoption se heurte à des freins principalement technologiques dont l'immaturité de certains composants de sécurité ou la crainte de l'exposition de certaines portions de code source.

Cette recherche répond à la demande de certains praticiens (Blackduck 2016) et chercheurs qui ont mentionné la nécessité d'étudier les facteurs expliquant l'adoption de l'open source en général (Marsan *et al.* 2012 ; Poba-Nzaou *et al.* 2014) et dans les organisations gouvernementales ou militaires en particulier (Li *et al.* 2013). Elle avance un ensemble de propositions spécifiques aux entreprises utilisant et/



ou concevant des SI critiques. Toutefois, la validité et la robustesse de ces propositions nécessitent d'être mises à l'épreuve par le biais d'une étude de cas multiple (Eisenhardt et Graebner 2007 ; Leonard-Barton 1990) ou encore la validation de ces critères via un échantillon plus important d'entreprises. Enfin, le type d'activité n'est pas vraiment pris en considération comme variable pour expliquer l'adoption ou le rejet de l'open source. Pourtant, il est évident que certains freins et motivations semblent spécifiques à des secteurs d'activité comme l'illustre le cas Thales. Par conséquent, il est nécessaire d'étudier l'adoption et le rejet en s'intéressant de plus près à l'influence de l'activité sur les barrières et motivations à l'adoption.

RÉFÉRENCES

- Agerfalk, P. J. & Fitzgerald, B. (2008), "Outsourcing to an Unknown Workforce: Exploring Open sourcing as a Global Sourcing Strategy", *MIS Quarterly*, vol. 32, n°2, p. 385-409.
- Alexy, O., Henkel, J. & Wallin, M. W. (2013), "From Closed to Open: Job Role Changes, Individual Predispositions, and the Adoption of Commercial Open Source Software Development", *Research Policy*, vol. 42, n°8, p. 1325-1340.
- Amabilé, S., Meissonier, R., Haller, C. & Boudrandi, S. (2012), «Capacité d'absorption des informations et pratiques de veille stratégique dans les PME: une étude sur des domaines vitivinicoles provençaux», *Systèmes d'information et management*, vol. 17, n°3, p. 111-142.
- Arena, L., Oriol, N. & Pastorelli, I. (2013), «Systèmes d'information et gestion du couple performance/sécurité : trajectoires comparées de trois situations extrêmes», *Systèmes d'Information et Management*, vol. 18, n°1, p. 87-123.
- Austin, R. & Larkey, P. (1992), «The Unintended Consequences of Micromanagement: The Case of Procuring Mission Critical Computer Resources», *Policy Sciences*, vol. 25, n°1, p. 3-28.
- Ben Youssef, A., Hadhri, W. & Meharzi, T. (2015), "Adoption of Cloud Computing in Emerging Countries: The Role of the Absorptive Capacity", *Systèmes d'Information et Management*, vol. 20, n°4, p. 117-142.
- Benkeltoum, N. (2011a), *Gérer et comprendre l'open source*. Paris: Presses des Mines.
- Benkeltoum, N. (2011b), «Regards sur les stratégies de détournement dans l'industrie open source», *Vie et sciences de l'entreprise*, vol., n°187, p. 72-91.
- Benkeltoum, N. (2013), «Évaluation de l'innovation des logiciels open source», *Systèmes d'Information et Management*, vol. 18, n°3, p. 37-84.
- Bitzer, J. & Schröder, P. J. H. (2005), "Bug-fixing and Code-writing: the Private Provision of Open Source Software", *Information Economics and Policy*, vol. 17, n°3, p. 389-406.
- Blackduck. (2016), "The Ninth Annual Future of Open Source Survey".
- Bloom, P. C. & Chung, Q. B. (2001), "Lessons Learned from Developing a Mission-critical Expert System with Multiple Experts through Rapid Prototyping", *Expert Systems with Applications*, vol. 20, n°2, p. 217-227.
- Bonaccorsi, A., Giannangeli, S. & Rossi, C. (2006), "Entry Strategies Under Competing Standards: Hybrid Business Models in the Open Source Software Industry", *Management Science*, vol. 52, n°7, p. 1085-1098.
- Bouty, I., Drucker-Godard, C., Godé, C., Lièvre, P., Nizet, J. & Pichault, F. (2011), «Les pratiques de coordination en situation extrême», *Management & Avenir*, vol., n°1, p. 387-393.



- Capra, E., Francalanci, C., Merlo, F. & Rossi-Lamastra, C. (2011), "Firms' involvement in Open Source projects: A trade-off between software structural quality and popularity", *Journal of Systems and Software*, vol. 84, n°1, p. 144-161.
- Carton, S., de Vaujany, F.-X. & Romeyer, C. (2003), «Le modèle de la Vision Organisante: un essai d'instrumentation», *Systèmes d'Information et Management*, vol. 8, n°4, p. 3-30.
- Chau, P., Y. K. & Tam, K. Y. (1997), "Factors Affecting the Adoption of Open Systems: An Exploratory Study", *MIS Quarterly*, vol. 21, n°1, p. 1-24.
- Chesbrough, H. (2003), *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*: Harvard Business School Press.
- Christensen, C. M. (2006), "The Ongoing Process of Building a Theory of Disruption", *Journal of Product Innovation Management*, vol. 23, p. 39-55.
- CIGREF. (2011), «Maturité et gouvernance de l'Open Source - La vision des grandes entreprises», CIGREF, Paris.
- Cohen, W. M. & Levinthal, D. A. (1989), «Innovation and Learning: The Two Faces of R & D», *The Economic Journal*, vol. 99, n°397, p. 569-596.
- Cohen, W. M. & Levinthal, D. A. (1990), "Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation", *Administrative Science Quarterly*, vol. 35, n°1, p. 128-152.
- Colombo, M. G., Piva, E. & Rossi-Lamastra, C. (2014), "Open Innovation and Within-industry Diversification in Small and Medium Enterprises: The case of Open Source Software Firms", *Research Policy*, vol. 43, n°5, p. 891-902.
- Dahlander, L. (2005), "Appropriation and Appropriability in Open Source Software", *International Journal of Innovation Management*, vol. 9, n°3, p. 259-285.
- Dahlander, L. & Magnusson, M. (2008), "How do Firms Make Use of Open Source Communities?" *Long Range Planning*, vol., n°41, p. 629-649.
- Dahlander, L. & Magnusson, M. G. (2005), "Relationships between Open Source Software Companies and Communities: Observations from Nordic Firms", *Research Policy*, vol. 34, n°4, p. 481-493.
- Dahlander, L. & Wallin, M. W. (2006), "A Man on the Inside: Unlocking Communities as Complementary Assets", *Research Policy*, vol. 35, n°7, p. 1243-1259.
- Dedrick, J. & West, J. (2003), "Why Firms Adopt Open Source Platforms: a Grounded Theory of Innovation and Standards Adoption", pp. 236-257 in *Proceedings of the workshop on standard making: A critical research frontier for information systems*: Seattle, WA.
- Deodhar, S. J., Saxena, K. B. C., Gupta, R. K. & Ruohonen, M. (2012), "Strategies for Software-based Hybrid Business Models", *Journal of Strategic Information Systems*, vol. 21, n°4, p. 274-294.
- Eisenhardt, K. M. (1989), "Building Theories from Case Study Research", *Academy of Management Review*, vol. 14, n°4, p. 532-550.
- Eisenhardt, K. M. & Graebner, M. E. (2007), "Theory Building from Cases: Opportunities and Challenges", *Academy of Management Journal*, vol. 50, n°1, p. 25-32.
- Eveland, J. D. (1979), "Issues in Using the Concept of "Adoption of Innovations"", *Journal of Technology Transfer*, vol. 4, n°1, p. 1-13.
- Evrard Samuel, K. & Ruel, S. (2013), "Systèmes d'information et résilience des chaînes logistiques globales", *Systèmes d'Information et Management*, vol. 18, n°3, p. 57-85.
- Ferrell, T. K. & Ferrell, U. D. (2001), "RTCA DO-178B/EUROCAE ED-12B", in *The*



- Avionics Handbook, edited by C. r. Spitzer: CRC Press LLC.
- Fitzgerald, B. (1997), "The Use of Systems Development Methodologies in Practice: a Field Study", *Information Systems Journal*, vol. 7, n°3, p. 201-212.
- Fitzgerald, B. (2006), "The Transformation of Open Source Software", *MIS Quarterly*, vol. 30, n°3, p. 587-598.
- Fuggetta, A. (2003), "Open Source Software an Evaluation", *Journal of Systems and Software*, vol. 66, n°1, p. 77-90.
- Gartner Inc. (2011), "Gartner Survey Reveals More than Half of Respondents Have Adopted Open-Source Software Solutions as Part of IT Strategy" February 8
<http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1541414>
- Gary, K., Enquobahrie, A., Ibanez, L., Cheng, P., Yaniv, Z., Cleary, K., Kokoori, S., Muffih, B. & Heidenreich, J. (2011), "Agile Methods for Open Source Safety-critical Software", *Software: Practice and Experience*, vol. 41, n°9, p. 945-962.
- Glaser, B. G. & Strauss, A. L. (1967), *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*: Transaction Publishers.
- Godé, C., Hauch, V., Lasou, M. & Lebraty, J.-F. (2012), "Une singularité dans l'aide à la décision: le cas de la Liaison 16", *Systèmes d'information et management*, vol. 17, n°2, p. 9-38.
- Goode, S. (2005), "Something for Nothing: Management Rejection of Open Source Software in Australia's Top Firms", *Information & Management*, vol. 42, n°5, p. 669-681.
- Grand, S., von Krogh, G., Leonard, D. & Swap, W. (2004), "Resource Allocation Beyond Firm Boundaries", *Long Range Planning*, vol. 37, n°6, p. 591-610.
- Gwebu, K. L. & Wang, J. (2011), "Adoption of Open Source Software: The Role of Social Identification", *Long Range Planning*, vol. 51, n°1, p. 220-229.
- Haefliger, S., von Krogh, G. & Spaeth, S. (2008), "Code Reuse in Open Source Software", *Management Science*, vol. 54, n°1, p. 180-193
- Hansen, M., Köhntopp, K. & Pfitzmann, A. (2002), "The Open Source Approach — Opportunities and Limitations with Respect to Security and Privacy", *Computers & Security*, vol. 21, n°5, p. 461-471.
- Harison, E. & Koski, H. (2010), "Applying open innovation in business strategies: Evidence from Finnish software firms", *Research Policy*, vol. 39, n°3, p. 351-359.
- Henkel, J. (2006), "Selective Revealing in Open Innovation Processes: The Case of Embedded Linux", *Research Policy*, vol. 35, n°7, p. 953-969.
- Huy, L. V., Rowe, F., Truex, D. & Huynh, M. Q. (2012), "An Empirical Study of Determinants of E-Commerce Adoption in SMEs in Vietnam: An Economy in Transition", *Journal of Global Information Management*, vol. 20, n°3, p. 23-54.
- Iacovou, C. L., Benbasat, I. & Dexter, A. S. (1995), "Electronic Data Interchange and Small Organizations: Adoption and Impact of Technology", *MIS Quarterly*, vol. 19, n°4, p. 465-485.
- IDC. (2009), "Open Source Software Market Accelerated by Economy and Increased Acceptance From Enterprise Buyers, IDC Finds" Business Wire, 29 July
<http://www.businesswire.com/news/home/20090729005107/en/Open-Source-Software-Market-Accelerated-Economy-Increased>
- Jullien, N. (2003), "Le marché francophone du logiciel libre", *Systèmes d'Information et Management*, vol. 8, n°1, p. 77-100.
- Lawton, G. (2002), «Open Source Security: Opportunity or Oxymoron?», pp. 18-21.



- Le Boulout, E. (2011), "Une importante faille de sécurité découverte dans les iPhone", 01Net, 8 octobre
<http://www.01net.com/editorial/546126/une-importante-faille-de-securite-decouverte-dans-les-iphone/>
- Le Texier, T. & Versailles, D. W. (2009), «Open Source Software Governance Serving Technological Agility: The Case of Open Source Software within the DoD», *International Journal of Open Source Software and Processes*, vol. 1, n°2, p. 14-27.
- Lebraty, J.-F. (2013), "SI et situations extrêmes", *Systèmes d'Information et Management*, vol. 18, n°1, p. 3-10.
- Leonard-Barton, D. (1990), «A Dual Methodology for Case Studies: Synergistic Use of a Longitudinal Single Site with Replicated Multiple Sites», *Organization Science*, vol. 1, n°3, p. 248-266.
- Lesca, N., Caron-Fasan, M.-L., Loza Aguirre, E. & Chalut-Sauvannet, M.-C. (2015), "Drivers and Barriers to Pre-adoption of Strategic Scanning Information Systems in the Context of Sustainable Supply Chain", *Systèmes d'Information et Management (French Journal of Management Information Systems)*, vol. 20, n°3, p. 9-46.
- Li, Y., Tan, C.-H., Xu, H. & Teo, H.-H. (2011), «Open Source Software Adoption: Motivations of Adopters and Amotivations of Non-adopters», *SIGMIS Database*, vol. 42, n°2, p. 76-94.
- Li, Y., Tan, C.-H. & Yang, X. (2013), "It is all About What we have: A Discriminant Analysis of Organizations' Decision to Adopt Open Source Software", *Long Range Planning*, vol. 56, p. 56-62.
- Lièvre, P. & Gautier, A. (2009), «Les registres de la logistique des situations extrêmes : des expéditions polaires aux services d'incendies et secours», *Management & Avenir*, vol. 4, n°24, p. 196-216.
- Lisein, O., Pichault, F. & Desmecht, J. (2009), «Les business models des sociétés de services actives dans le secteur Open Source», *Systèmes d'Information et Management*, vol. 14, n°2, p. 7-38.
- Lundell, B., Lings, B. & Lindqvist, E. (2010), "Open Source in Swedish Companies: Where are we?" *Information Systems Journal*, vol. 20, n°6, p. 519-535.
- MacCormack, A., Rusnak, J. & Baldwin, C. Y. (2006), "Exploring the Structure of Complex Software Designs: An Empirical Study of Open Source and Proprietary Code", *Management Science*, vol. 52, n°7, p. 1015-1030.
- Macredie, R. D. & Mijinyawa, K. (2011), "A Theory-grounded Framework of Open Source Software Adoption in SMEs", *European Journal of Information Systems*, vol. 20, n°2, p. 237-250.
- Marsan, J., Paré, G. & Beaudry, A. (2012), "Adoption of Open Source Software in Organizations: A Socio-Cognitive Perspective", *Journal of Strategic Information Systems*, vol. 21, n°4, p. 257-273.
- Meissonier, R., Bourdon, I., Houze, E., Amabile, S. & Boudrandi, S. (2010), «Comprendre les motivations des développeurs de l'open source à partir de leur participation : une étude empirique sur une question de recherche inversée», *Systèmes d'Information et Management*, vol. 15, n°2, p. 71-133.
- Min, B. J. & Choi, J. S. (2004), «An Approach to Intrusion Tolerance for Mission-critical Services Using Adaptability and Diverse Replication», *Future Generation Computer Systems*, vol. 20, n°2, p. 303-313.
- Mouakhar, K. & Tellier, A. (2013), «Comment concilier marchand et non-marchand : une taxonomie empirique des comportements stratégiques des SSLL», *Systèmes d'Information et Management*, vol. 18, n°3, p. 5-36.
- Nagy, D., Yassin, A. M. & Bhattacharjee, A. (2010), «Organizational Adoption of Open



- Source Software», *Communications of the ACM*, vol. 53, n°3, p. 148-151.
- Norris, J. S. (2004), "Mission-Critical Development with Open Source Software: Lessons Learned", *IEEE Software*, vol. 21, n°1, p. 42-49.
- O'Mahony, S. (2003), "Guarding the Commons: How Community Managed Software Projects Protect their Work", *Research Policy*, vol., n°32, p. 1179-1198.
- OECD/Eurostat, L. (2005), *Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data, 3rd Edition, The Measurement of Scientific and Technological Activities*: OECD Publishing.
- Paulson, J. W., Succi, G. & Eberlein, A. (2004), "An Empirical Study of Open-Source and Closed-Source Software Products", *IEEE Trans. Softw. Eng.*, vol. 30, n°4, p. 246-256.
- Pettigrew, A. M. (1990), "Longitudinal Field Research on Change: Theory and Practice", *Organization Science*, vol. 1, n°3, p. 267-292.
- Poba-Nzaou, P., Raymond, L. & Fabi, B. (2014), "Risk of Adopting Mission-critical OSS Applications: an Interpretive Case Study", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 34, n°4, p. 477-512.
- Qu, W. G., Yang, Z. & Wang, Z. (2011), "Multi-level Framework of Open Source Software Adoption", *Journal of Business Research*, vol. 64, n°9, p. 997-1003.
- Rogers, E. M. (1983), *Diffusion of Innovations*. London: The Free Press.
- Rossi, C. (2009), "Software Innovativeness. A Comparison Between Proprietary and Free/Open Source Solutions Offered by Italian SMEs", *R&D Management*, vol. 39, n°2, p. 153-169.
- Sarrab, M. & Rehman, O. M. H. (2014), "Empirical Study of Open Source Software Selection for Adoption, Based on Software Quality Characteristics", *Advances in Engineering Software*, vol. 69, p. 1-11.
- Spinellis, D. & Giannikas, V. (2012), "Organizational Adoption of Open Source Software", *Journal of Systems and Software*, vol. 85, n°3, p. 666-682.
- Stuermer, M., Sebastian, S. & von Krogh, G. (2009), "Extending Private-collective Innovation: a Case Study", *R&D Management*, vol. 39, n°2, p. 170-191.
- Swanson, E. B. & Ramiller, N. C. (1997), "The Organizing Vision in Information Systems Innovation", *Organization Science*, vol. 8, n°5, p. 458-474.
- Thong, J. Y. L. (1999), "An Integrated Model of Information Systems Adoption in Small Businesses", *Journal of Management Information Systems*, vol. 15, n°4, p. 187-214.
- Tornatsky, L. G., Eveland, J. D., Boylan, M. G., Hetzner, W. A., Johnson, E. C., Roitman, D. & Schneider, J. (1983), *The Process of Technological Innovation: reviewing the literature*. Washington, D.C.: National Science Foundation.
- Välimäki, M. (2003), "Dual Licensing in Open Source Software Industry", *Systèmes d'Information et Management*, vol. 8, n°1, p. 63-75.
- Von Krogh, G. & Spaeth, S. (2007), "The Open Source Software Phenomenon: Characteristics that Promote Research", *Journal of Strategic Information Systems*, vol. 16, n°3, p. 236-253.
- Zhu, K., Kraemer, K. & Xu, S. (2003), "Electronic Business Adoption by European Firms: a Cross-country Assessment of the Facilitators and Inhibitors", *European Journal of Information Systems*, vol. 12, n°4, p. 251-268.