

UNIVERSITE MONTESQUIEU – BORDEAUX IV

**ECOLE DOCTORALE de SCIENCES ECONOMIQUES, GESTION
ET DEMOGRAPHIE (E.D. 42)**

DOCTORAT ès SCIENCES ECONOMIQUES

Adrien QUERBES-REVIEW

**EMERGENCE ET EVOLUTION DE L'INDUSTRIE
DES SERVICES NUMERIQUES POUR TELEPHONES MOBILES**

Thèse dirigée par M. **Yannick LUNG**, Professeur

Soutenue le 4 janvier 2012

Membres du Jury :

Mme Marie CORIS,

Maitre de Conférences, Université Montesquieu – Bordeaux IV.

M. Koen FRENKEN,

Full Professor, Eindhoven University of Technology, **rapporteur**.

M. Yannick LUNG,

Professeur, Université Montesquieu – Bordeaux IV, **directeur de thèse**.

M. Alain RALLET,

Professeur, Université Paris Sud 11, **rapporteur**.

M. Jérôme VICENTE,

Maitre de Conférences, Université Toulouse 1 - Capitole.

M. Murat YILDIZOGLU,

Professeur, Université Montesquieu – Bordeaux IV.

TITRE**Émergence et évolution de l'industrie des services numériques pour téléphones mobiles**

RESUME

L'industrie des télécommunications connaît une profonde évolution. Face au développement de nouveaux usages sur les téléphones mobiles, les acteurs historiques de la téléphonie mobile (opérateurs de réseaux et fabricants de terminaux) doivent s'adapter à un nouvel environnement technologique et concurrentiel. Concrètement, ce nouvel environnement s'appuie technologiquement sur l'extension des usages d'objets numériques (logiciels et contenus pouvant être professionnels, personnels ou de loisir), il sert donc de tremplin pour des acteurs plus ou moins matures venant des industries logicielles, culturelles et de l'Internet. Partant de ce constat, notre thèse repose sur l'idée que les acteurs historiques de la téléphonie mobile doivent s'adapter à ce nouvel environnement afin de maintenir leur position, ainsi qu'apprendre à se coordonner avec les nouveaux entrants de l'industrie, car la coordination est nécessaire à l'émergence du marché des services mobiles. Nous commençons donc par faire une analyse historique de l'émergence de l'industrie des services mobiles afin de positionner les enjeux de la coordination. Ensuite, nous étudions des projets « open source » de systèmes d'exploitation pour smartphones pour analyser l'intérêt d'une stratégie ouverte. Enfin, nous construisons un modèle de simulations évolutionnistes afin d'analyser les stratégies des acteurs en lien avec la structure de l'industrie et son effet sur la structure technologique.

TITLE**Emergence and evolution of an industry: the case of mobile data services**

Abstract

The telecommunications industry currently undergoes a dramatic evolution. Faced with the development of new uses on mobile phones, incumbents of the mobile phone industry (network operators and devices manufacturers) must adapt to a new technological and competitive environment. This new environment technologically relies on expansions of uses of digital objects (software and contents that can be either of professional, personal or leisure use) and thereby serves as a launching pad for actors more or less mature coming from software industries, copyright-based industries or the Internet industry. Based on this observation, our thesis rests on the idea that incumbents of the mobile phone industry must adapt to this new environment in order to maintain their position, and must learn to coordinate with those new actors as coordination is required for this market to emerge. We therefore start with a historical analysis of the emergence of the mobile services industry so as to position the issues at stake regarding coordination. We then focus on “open source” projects for smartphone operating systems in order to analyse the interest of an open strategy. Last, we design an evolutionist simulation model so that to analyse the actors' strategies linked with the structure of the industry and its effects on the technological structure.

MOTS-CLES**Téléphonie mobile, système d'exploitation mobile, changement technologique, changement organisationnel, analyse historique, simulation évolutionniste.**

KEYWORDS**Mobile phone, mobile operating system, technological change, organisational change, historical analysis, evolutionary simulation**

LABORATOIRE DE RATTACHEMENT

GREThA, UMR CNRS 5113, Université Montesquieu-Bordeaux IV,

Avenue Léon Duguit, 33 608 Pessac Cedex, France.

Remerciements

Mes premiers remerciements vont à Yannick Lung, sans qui ce travail n'aurait probablement pas existé. Bien avant le début de mon doctorat, il a su me donner le goût de l'économie industrielle et de l'innovation, puis m'a donné l'opportunité de réaliser mes recherches dans de bonnes conditions de travail ainsi qu'une grande liberté dans mon cheminement scientifique.

Je tiens également à remercier les membres de mon jury. D'une part, mes rapporteurs, Koen Frenken et Alain Rallet, dont les travaux et les conseils ont grandement nourri mon travail de recherche, mais qui m'ont aussi autorisé à terminer ce travail dans de bonnes conditions. D'autre part, Jérôme Vicente et Murat Yildizoglu, dont j'ai pu bénéficier des conseils à différentes étapes de mes recherches. Enfin, une mention spéciale pour Marie Coris qui, au-delà de l'important appui scientifique qu'elle m'a fourni, m'a apporté chaque fois que cela a été nécessaire une supervision et un soutien sans failles.

Au sein du GREThA, de nombreuses personnes méritent amplement mes remerciements, sans pouvoir être exhaustif, je tiens à en citer quelques-unes. L'équipe E3I et ses ramifications actuelles : Christophe, Claude D., Éric, Marie, Marie-Claude, Matthieu M., Murat, Vanessa, Vincent. Mon travail doit beaucoup à nos discussions formelles et informelles. Mes colocataires anciens et actuels des bureaux 342 et 357 : Aurélie, Aurélien, Dayane, Diego, Éric, Jean-Philippe, Laurent, Luc. Une mention spéciale pour Aurélie qui – comme Gabrielle, Ji-Yong, Sofya – me supporte maintenant depuis de nombreuses années universitaires, tout en étant une présence amicale sur laquelle je peux compter. Je remercie aussi les doctorants dans leur ensemble d'avoir fait que le GREThA soit aussi bien un espace de discussions scientifiques qu'un lieu convivial et motivant. Au-delà d'une logique de laboratoire, je tiens à remercier les personnes qui à l'Université m'ont transmis le goût de la recherche et de l'enseignement : Claude L., Dominique J., Marie-Claude, Sophie et beaucoup d'autres.

Pour finir, je remercie ma famille et mes proches qui m'ont soutenu pendant ces longues études et qui depuis bien longtemps ont contribué à ma formation intellectuelle et critique, tout en m'offrant le meilleur entourage que l'on puisse souhaiter.

Sommaire

Introduction générale.....	4
– Chapitre 1 – Une approche historique de la dynamique industrielle.....	18
Introduction du Chapitre 1.....	20
1. Une grille de lecture historique de l'émergence des services mobiles.....	24
1.1. Avant les services mobiles : le développement de la téléphonie mobile.....	24
1.2. Une grille d'analyse de la dynamique industrielle des services mobiles.....	29
2. Une périodisation de la trajectoire des services mobiles.....	37
2.1. La genèse des services sur téléphone mobile : les services de personnalisation des terminaux.....	38
2.2. La généralisation des services sur téléphone mobile : les services en mobilité.....	44
2.3. Connecting people ? : les services de mobilité.....	53
Conclusion du Chapitre 1.....	59
– Chapitre 2 – L'émergence de plateformes logicielles pour les services mobiles.....	61
Introduction du Chapitre 2.....	63
1. Des services mobiles aux plateformes mobiles.....	65
1.1. Une approche systémique par les plateformes.....	65
1.2. Les tenants de la construction collective des plateformes mobiles.....	69
2. The strategic trade-offs for beneficial open innovation: the case of “open source” consortia in mobile OS development.....	79
2.1. A conceptual framework.....	81
2.2. The consortia: open innovation in progress?.....	88
2.3. Discussion: towards horizontal cooperation between platforms?.....	93
2.4. Summary, limitations and future research.....	96
Conclusion du Chapitre 2.....	98

– Chapitre 3 – L'architecture technologique et organisationnelle des systèmes d'exploitation pour smartphones : un modèle de simulation.....	100
Introduction du chapitre 3.....	102
1. Les fondements théoriques et empiriques du modèle de simulation.....	105
1.1. La représentation des systèmes d'exploitation pour smartphones comme systèmes technologiques complexes.....	107
1.2. L'évolution des systèmes d'exploitation : projets et organisations.....	119
1.3. La question de la valeur des solutions.....	128
2. Un modèle de simulation de l'évolution architecturale des systèmes d'exploitation mobiles.....	132
2.1. Le modèle.....	132
2.2. Les résultats des simulations.....	155
Conclusion du Chapitre 3.....	174
 Conclusion générale.....	 176

Introduction générale

« Small is more beautiful and more profitable than big; versatile, compatible, adaptable, are better than rigid. A programmable product is better than a dedicated one. A product capable of modular growth is superior to one with defined and static scale and potential. A product with greater speed of operation and response is preferable to a slower one. Any product capable of joining a network or becoming the center or an element of a system is better than an isolated one. Distributed "intelligence" is more efficient than centralized control.

This new scale of values is transmitted to users through advertising, turning consumers into a further reinforcement of the new innovative path. » [Perez, 1986, p. 19]

Lors d'une de ses dernières allocutions importantes à la tête d'Apple, Steve Jobs présentait la stratégie d'Apple, relative à l'iPhone, en ces termes¹ : *« Google aime se définir comme "ouvert", et iOS et l'iPhone comme "fermés". Nous trouvons ça plutôt déplaisant et de nature à cacher les vraies différences entre nos deux approches. (...) En vérité, je pense que l'argument ouvert contre fermé n'est qu'un écran de fumée qui essaye de cacher le vrai problème : "qu'est-ce qui est le mieux pour le client : fragmenté ou intégré ?". Nous pensons qu'Android est très, très fragmenté et que cette fragmentation augmente chaque jour. Comme vous le savez, Apple pousse le modèle intégré pour que l'utilisateur ne soit pas obligé d'être un administrateur système. Nous voyons beaucoup d'avantages à ce qu'Apple soit l'administrateur système et pas l'utilisateur. C'est une grande force par rapport à Google : quand nous vendons à un client qui veut juste que son produit marche, nous pensons que l'intégré triomphe à chaque fois du fragmenté. »*

En effet, plus que d'offrir des technologies radicalement innovantes, l'iPhone doit son succès à sa capacité à offrir des services fonctionnels (en particulier une navigation Internet facilitée) et à en extraire de la valeur. Cette problématique est partagée par l'ensemble de l'industrie : l'émergence des services mobiles s'inscrit, avant tout, dans le cadre d'une *innovation architecturale* [Henderson & Clark, 1990].

Nous adoptons ce cadre, car les services mobiles naissent de la rencontre d'acteurs industriels et de technologies hétérogènes, cette rencontre étant facilitée technologiquement par la convergence numérique. Pour pouvoir saisir ces nouvelles opportunités technologiques, les industriels ont un rôle majeur à jouer. C'est dans cette perspective que s'inscrit cette thèse, en développant une analyse de la dynamique industrielle – définie comme l'évolution des relations des firmes entre elles et vis-à-vis de la technologie. L'industrie qui se structure autour de l'émergence des *services mobiles*² fait face à des tensions dont le double débat (ouvert-fermé,

1 Allocution prononcée le 19 octobre 2010, pour l'annonce des résultats financiers, traduite par Mac4Ever (http://www.mac4ever.com/articles/humeur/1361/steve_jobs_sur_apple_et_ses_concurrents/) à partir de la retranscription de MacWorld (http://www.macworld.com/article/154980/2010/10/jobs_transcript.html).

2 Nous qualifions de *service mobile* l'ensemble des services issus de l'échange de données numériques sur le téléphone mobile, afin de les différencier du service de téléphonie (communication vocale).

fragmenté-intégré) présenté par Steve Jobs est un élément fondamental. La coordination des acteurs industriels permet une meilleure intégration de la technologie, c'est-à-dire que les différents éléments de la nouvelle architecture technologique relative aux services mobiles doivent bien s'adapter les uns aux autres. Pour autant, cette coordination met en relation des acteurs historiques de la téléphonie mobile (opérateurs de réseaux et fabricants de terminaux mobiles) avec des acteurs venant du domaine logiciel, Internet ou électronique. L'ouverture n'est donc pas automatiquement la stratégie naturelle, face au risque, pour ces différentes firmes, de voir leur échapper leurs technologies, connaissances, clients et avantages divers. Dans cette optique, la problématique au centre de notre travail peut être formulée de la manière suivante :

« Face à l'émergence du marché des services mobiles, comment se reconfigure le système des relations entre firmes et entre les firmes et la technologie ? »

Pour introduire ce travail, nous commencerons par définir les services mobiles selon une approche systémique introduisant la notion de modularité (1.). Ensuite, nous verrons l'articulation qu'il est possible d'opérer entre la structuration organisationnelle de l'industrie des services mobile et la structure technologique des services mobiles (2.). Cela nous amènera à établir notre problématique sur les bases d'une coévolution de la structure technologique et de la structure organisationnelle, à partir de laquelle nous justifierons les méthodes historiques et évolutionnistes employées (3.). Finalement, nous présenterons rapidement les différents chapitres de cette thèse (4.).

1. L'émergence des services mobiles comme système complexe

Les services mobiles recouvrent une grande variété d'usages : du service bancaire au service de courrier électronique, ou encore du service d'information commerciale au service de géolocalisation. Cette variété résulte directement de la diversité d'activités et de technologies à la base de ces services. Un élément de canalisation de notre travail consiste à limiter notre analyse aux services mobiles « grand public », c'est-à-dire d'exclure les services « sur mesure » mobilisés en interne par une entreprise. En prenant alors le point de vue des usagers, les services mobiles sont un ensemble de fonctions disponibles sur un téléphone mobile, lui-même relié à un réseau de téléphonie mobile. L'émergence des services mobiles correspond alors à deux évolutions : l'évolution des terminaux et l'évolution des réseaux. D'un point de vue systémique, réseaux et terminaux forment déjà un système : le système de téléphonie mobile. Nous pouvons même parler d'un système complexe, dans la mesure où les différents éléments qui forment ce système sont fortement interdépendants [Frenken, 2006a]. L'émergence des services mobiles consiste donc à l'extension du système de téléphonie mobile par l'adjonction de services, souvent existants sur d'autres équipements (services logiciels et Internet déjà présents sur ordinateurs, pour l'essentiel).

À la manière de Simon [1962], la compréhension d'un système complexe passe par sa décomposition. Cette idée est mobilisée par Ulrich [1995] afin de présenter un produit à partir : (i) des services qu'il offre, (ii) du lien entre ces services et les composants qui en sont à l'origine et (iii) des interfaces reliant ces composants. Il met alors en avant l'existence de processus de production modulaires, les modules étant les composants du système tel qu'il est décomposé. Les services mobiles associés au système de téléphonie mobile, en formant un système complexe, peuvent se structurer en sous-systèmes autonomes (modules). Cette propriété est indissociable de la production de systèmes logiciels [Parnas, 1972]. Langlois & Garzarelli [2008] identifient trois atouts à la modularité : elle facilite la coordination qui va dépendre de la structure du système, elle permet des économies de substitution et, enfin, elle encourage la spécialisation associée à un usage extensif des connaissances localisées.

Néanmoins, le concept de modularité, seul, semble limité pour traiter de l'innovation architecturale. En effet, une fois posée l'idée que l'architecture qui évolue est modulaire, la notion de modularité doit être raffinée afin de tenir compte de la structure hiérarchique des relations d'interdépendances entre les modules. Dans cette optique, notre travail va également mobiliser les travaux de Baldwin & Woodard [2009] qui nous permettent d'analyser le système au travers d'une plateforme et de ses composants complémentaires, ainsi que les travaux de [Murmann & Frenken, 2006] étudiant l'évolution d'un système complexe représenté sous la forme d'une hiérarchie par niveaux (*hierarchy of nested components*).

2. Changement technologique et organisationnel : quelle forme d'organisation pour l'émergence des services mobiles ?

Les propriétés des services mobiles sont la modularité, la complémentarité, la cumulativité. La production de connaissances connexes à de tels biens nécessite donc la coordination de compétences et de connaissances complémentaires et diversifiées. C'est donc un processus collectif, localisé, historiquement déterminé. La réponse industrielle consiste à initier des dynamiques d'interactions fortes entre firmes, aussi bien horizontalement (au regard de la recherche de la masse critique, de la recherche de standard), que verticalement (partage de compétences pour la R&D, le marketing, etc.), et qu'obliquement (dans le but d'organiser la modularité entre technologies complémentaires). Pour Rallet [1995], la numérisation comme technique générique adoptée par l'ensemble des acteurs industriels de la Société de l'information (informatique, télécommunication et audiovisuels) ne signifie pas pour autant une convergence des techniques. Les différents secteurs participants, eux mêmes décomposables en sous-secteurs, font des usages spécifiques de cette technique. L'augmentation de la complexité des différents sous-produits proposés par ces acteurs se traduit par une augmentation de la division du travail entre les différentes sous-spécialisations sectorielles. La numérisation correspond donc surtout à l'utilisation d'un même tuyau pour un nombre grandissant d'usages.

Par analogie avec la modularité dans la conception, la production et l'usage (« modularity in conception, production and use ») de Baldwin & Clark [2000], nous identifions trois niveaux de coordination des acteurs industriels :

- la conception : la conception des modules est indépendante au niveau de chaque module (la composition interne de chaque module n'a pas besoin d'être publique, puisque seule l'interface est en relation avec les autres modules) et interdépendante entre les modules (la présence d'un architecte est nécessaire afin d'assurer la cohérence entre l'ensemble des modules). Chaque firme doit donc s'assurer de détenir l'ensemble des licences nécessaires ;
- la production : les modules sont produits séparément en suivant une logique de variété et de flexibilité conséquente de la modularité. Par ailleurs, pour chaque firme va se poser la question de se rattacher à un standard dont découlera l'ensemble de biens et services auxquels chaque module pourra s'intégrer ;

- l'usage du produit final : l'utilisateur doit pouvoir remplacer certains modules sans complexifier les démarches de maintenance et de réparation. De plus se pose la question de la tarification : un revenu commun devant donner lieu à la rémunération de chaque module, ainsi que de l'activité d'intégration et de la création de contenus. Cette tarification doit donc tenir compte des droits de propriété, aussi bien que des externalités de réseau.

Notre travail se limitant aux aspects industriels de l'émergence des services mobiles, nous mettons en avant trois idées clés :

- l'existence d'un architecte définissant les conditions de l'intégration technologique des services mobiles,
- la création de normes et de standards technologiques,
- le rôle des droits de propriété.

L'architecte

La conception et la production de services mobiles nécessitent la coordination d'acteurs hétérogènes ayant des intérêts divergents (acteurs historiques de la téléphonie mobile et acteurs des industries logicielles et Internet), voire d'acteurs n'ayant pas d'intérêt économique particulier (les pouvoirs publics, organes de régulation, etc.).

La présence d'un coordinateur est incontournable pour mener à bien de tels projets modulaires. Frigant [2005] identifie deux tendances dans la littérature économique sur le rôle concret que doit jouer ce coordinateur : d'un côté, l'intégrateur final se base sur des relations commerciales avec des fournisseurs de composants ; de l'autre, il agit comme un intégrateur-système en mobilisant plus de connaissances que nécessaires à un simple assemblage.

Dans le cadre de notre étude de l'émergence des services mobiles, nous préférons la seconde approche pour plusieurs raisons. En passant par le marché, le coordinateur perd peu à peu de sa capacité à renouveler l'architecture globale du produit/système, car : (i) l'innovation est reportée sur les modules, il ne bénéficie que dans une faible mesure d'apprentissages croisés à partir de modules dont seule l'interface lui est désormais familière ; (ii). il réduit progressivement son univers d'innovation potentielle en s'enfermant dans des trajectoires et des routines stables. Également, le réseau d'acteurs industriels participant à l'évolution du système est instable, pour une industrie en cours d'émergence. Il est alors délicat d'identifier les différents partenaires potentiels, un choix hasardeux ayant des effets sur la suite de l'évolution du réseau d'acteurs aussi bien que sur la structure de la technologie développée ainsi [Callon, 1999; Le Masson et al., 2009]. Dans une logique de résistance des acteurs historiques de la té-

léphonie mobile, ceux-ci doivent-ils par leur choix d'architecture, ouvrir leur produit à ces nouveaux usages (et par conséquent à de nouveaux entrants), ou est-ce que les nouveaux usages doivent s'adapter aux spécificités du système technique de la téléphonie mobile ? Cette question nous rappelle que la coordination peut aussi se réaliser de manière collective par la création de standards.

La création de normes et standards

Par définition, un système modulaire permet de masquer de l'information (*information hiding*) [Parnas, 1972], les seules informations nécessaires à la construction du système étant reportées sur les interfaces. Le niveau de compatibilité des interfaces est un enjeu majeur dont les acteurs doivent tenir compte dès la phase d'émergence. La firme peut éviter d'avoir à développer une interface spécifique en adoptant une interface générique lui offrant ainsi un plus grand nombre d'opportunités en termes de modules et de marchés. C'est là que les notions de normes et de standards interviennent. Grâce aux effets de réseau et à la préférence des consommateurs pour la compatibilité, une firme ou un groupe de firmes peut s'organiser pour imposer sa technologie comme standard. Ce sera le résultat d'un processus dynamique et conflictuel, une *guerre des standards*.

La compatibilité peut aussi se faire par l'intervention ou la persuasion d'un acteur extérieur par la définition d'une norme. C'est notamment le cas avec Internet, puisque dès le départ cette technologie avait vocation à être une interface entre des machines incapables de communiquer entre elles. D'où la création du W3C qui a pour fonction d'étudier et choisir les différents standards et protocoles qui vont être utilisés sur Internet. Il n'empêche que la mise en place, même exogène, de standards et de normes ne permet pas de nourrir toutes les dimensions de la production et de l'innovation de contenus informationnels. En effet, l'innovation ne pourra être possible et offrir un résultat cohérent qu'à condition d'un partage effectif entre les différentes parties prenantes d'un certain nombre de connaissances, dont la détention peut devenir un outil majeur de concurrence en cas de rupture de la relation. Ce stade est dès lors critique : l'innovateur doit arbitrer entre le risque de perdre son innovation au profit d'une autre firme et le risque de ne pas pouvoir mener à bien son projet faute de partenaires. Une forme intermédiaire de standardisation peut alors s'avérer prometteuse : la standardisation collective par la coordination [Coris, 2006]. Cette stratégie implique essentiellement les bénéficiaires potentiels de ce standard avec comme contrepartie d'opérer une gestion concertée des droits de propriété sur les technologies connexes au futur standard.

Les droits de propriété

Tous les acteurs n'ont pas le même intérêt dans le réseau. Pour Callon [1999], dans un réseau industriel émergent, l'acteur à l'origine des connaissances doit intéresser d'autres acteurs à participer à ce réseau, en leur donnant des moyens de découvrir la valeur qu'ils pourraient en tirer (processus de traduction). Or, dans le cas des services mobiles, nombre d'acteurs arrivent avec des connaissances, voire des objets techniques, qui ne peuvent trouver leur valeur que par un processus d'intéressement réciproque. Un moyen d'opérer cet intéressement est de rendre la technologie accessible et réutilisable librement. On parle dans ce cas d'architecture libre ou ouverte (par opposition à une architecture propriétaire ou fermée). Dans cette optique, l'interface peut être modifiée collectivement, à tout moment, par tous et selon les besoins de chacun. De même pour chaque module logiciel du système émergeant, le code étant accessible, chacun peut étudier et modifier le fonctionnement d'un autre module afin d'améliorer le fonctionnement global du système. Cela offre une certaine décentralisation, souvent qualifiée de production ou de conception communautaire. Elles correspondent aux débuts de l'Internet et elles restent encore très présentes dans ses rouages à travers les serveurs et bien entendu dans les communautés de logiciel libre. Cette approche pose cependant problème si l'on adopte une vision standard de l'appropriation de l'innovation. À l'opposé, l'architecture propriétaire est hiérarchique et centralisée puisqu'elle dépend du bon vouloir du ou des détenteurs des droits de propriété sur ce qu'ils veulent bien dévoiler et à qui. Ce type d'architecture répond à des besoins de stabilité et de sécurité de l'ensemble du système.

3. La coévolution de la technologie et de l'industrie

Les trois idées clés que nous venons de présenter permettent de voir le lien fort qui existe entre structures organisationnelles et structures technologiques. Ainsi, l'organisation de l'industrie doit s'adapter aux difficultés propres à l'assemblage de technologies hétérogènes, la coordination s'opère grâce à un intégrateur système. En parallèle, le développement de systèmes modulaires grâce à la création d'interfaces standardisées permet l'existence d'une organisation industrielle elle-même modulaire, facilitant ainsi la coordination de firmes aux compétences hétérogènes et aux trajectoires historiques propres. Il en ressort que la structure technologique d'un nouveau produit est indissociable de la structure industrielle connexe : il y a coévolution entre les deux, dans la mesure où les organisations parties prenantes évoluent au fur et à mesure de l'émergence du produit et que le produit subit lui aussi l'influence de cette dynamique.

Partant de ce constat, notre thèse repose sur l'idée que les acteurs historiques de la téléphonie mobile doivent s'adapter à ce nouvel environnement, afin de maintenir leur position, ainsi qu'apprendre à se coordonner avec ces nouveaux acteurs, afin de permettre l'émergence de ce marché. La problématique au centre de notre travail est ainsi : « *Face à l'émergence du marché des services numériques sur téléphone mobile, comment se reconfigure le système des relations entre firmes et entre les firmes et la technologie ?* »

Deux axes ressortent dans cette problématique :

- le changement technologique : comment donner naissance aux nouvelles technologies que sont les services mobiles, en tant qu'innovations architecturales, nées de la rencontre de la téléphonie mobile et des services logiciels et Internet ? ;
- le changement organisationnel : quelles stratégies adopter pour assurer la coordination avec les différents acteurs de cette nouvelle industrie ?

Même si la période étudiée est relativement courte (1992-2011), l'industrie des services mobiles présente un rythme d'évolution très rapide, offrant à notre analyse une grande variété d'expérimentations technologiques et organisationnelles.

4. Le plan de la thèse : une analyse historique et évolutionniste

Trois chapitres vont constituer le développement de cette thèse.

Le premier chapitre dresse une analyse historique de l'évolution récente de l'industrie des services mobiles, mettant en avant trois étapes spécifiques sur le plan technologique, des relations entre acteurs et des sources de la concurrence. Pour y parvenir, nous commençons par développer un cadre théorique basé sur une réactualisation des théories propres à analyser l'émergence des services mobiles. Ce cadre se décompose en trois blocs : le changement technologique, la structure industrielle et les enjeux concurrentiels. Une fois ce cadre posé, nous réalisons une étude de l'évolution historique de l'industrie des services mobiles depuis 1992, afin d'en tirer un ensemble d'éléments structurant l'évolution de l'industrie.

Nous mettons ainsi en avant trois étapes spécifiques dans l'émergence de cette industrie. Nous identifions de cette manière un ensemble de services emblématiques de chacune de ces étapes, une évolution dans les rapports de force entre acteurs et une évolution des enjeux concurrentiels sur lesquels une firme peut construire son avantage. L'intérêt de cette approche est de faciliter l'étude de l'émergence *in vivo* des services mobiles, en mettant en avant les éléments structurels aussi bien technologiques qu'organisationnels de l'évolution de cette industrie. Cette analyse englobante – en intégrant les différentes expériences industrielles au niveau international et en couvrant la période 1992-2011 – se différencie de bon nombre de travaux sur les services mobiles en particulier ou la téléphonie mobile en général. En effet, nous essayons de couvrir l'ensemble des technologies relatives aux services mobiles, là où l'économie s'est surtout intéressée à la mise en place des réseaux (du point de vue de la régulation, de la standardisation, etc.) ou à des monographies de marchés de services mobiles très spécifiques (commerce mobile, Internet mobile, histoire de plateformes précises), qui ne tiennent pas suffisamment compte des interactions propres à un panier complet de service.

Dans le second chapitre, nous nous centrons sur les plateformes logicielles permettant le fonctionnement des services mobiles. En effet, ces plateformes – entendues comme un ensemble de technologies au centre du système et mobilisées par d'autres technologies – cristallisent les besoins de coordination entre acteurs. La construction de ces plateformes logicielles est une étape essentielle à l'émergence d'une offre pérenne de services mobiles. L'approche par les plateformes permet d'étudier la reconfiguration des relations entre acteurs autour des

trois questions clefs présentées plus haut : la création de standards de compatibilité, la structure de la coordination entre les acteurs et la question des droits de propriété relatifs aux plateformes.

Ces reconfigurations sont analysées dans la deuxième partie de ce chapitre, qui propose une étude de cas relative à la production "open source" de systèmes d'exploitation pour smartphones par trois organisations : Symbian Foundation, Open Handset Alliance (promoteur d'Android en association avec Android Open Source Project) et LiMo (pour Linux Mobile, un système basé sur Linux). L'objectif de ces études de cas est d'analyser la cohérence d'une stratégie d'*open innovation* pour produire les standards (comme résultats de la coordination) nécessaires à un objet aussi complexe qu'un système d'exploitation mobile. Le choix de ce cas s'appuie sur le rôle structurant des systèmes d'exploitation sur l'évolution technologique et organisationnelle de l'industrie. Par ailleurs, l'intérêt de cette démarche est de pouvoir étudier les choix concrets des acteurs à un niveau assez fin et, surtout, de pouvoir repositionner ces stratégies dans l'histoire individuelle des différentes firmes étudiées.

Le dernier chapitre propose un modèle évolutionniste de simulations dont l'objectif est de mettre en concurrence les stratégies individuelles des plateformes avec les stratégies agrégées au niveau du marché, représenté par un ensemble de plateformes. Ainsi, nous synthétisons d'abord un ensemble d'observations sur la manière de représenter un système complexe tel qu'un système d'exploitation mobile. Ensuite, nous présentons des faits stylisés sur les stratégies de coordination et de droits de propriété permettant son évolution. Enfin, à partir de ces éléments, nous simulons différentes configurations industrielles dédiées au développement de systèmes d'exploitation pour smartphones.

Ce développement prend la forme d'une innovation architecturale, dans la mesure où les agents doivent assembler un ensemble de technologies pour produire ce système. Notre objectif est alors d'analyser la structure et la performance des architectures obtenues au regard des stratégies employées, tout en tenant compte, dans une certaine mesure, de l'effet des stratégies des concurrents. Nous obtenons alors un ensemble de propositions sur la pérennité des avantages technologiques. Une articulation entre stratégies individuelles et structure de l'industrie est également mise en évidence, avec une prise en considération de la complexité et de la dynamique de ces stratégies. Ici, l'intérêt de mobiliser un modèle de simulation est double. D'une part, la création d'un modèle de simulation repose sur la représentation de l'objet étudié. Elle nous permet donc d'établir un certain nombre de clarifications empiriques grâce à cet exercice de formalisation. D'autre part, les simulations nous permettent de représenter l'industrie des services mobiles de façon systémique et, par conséquent, de faire émerger les proprié-

tés relatives aux interactions variées qui se nouent à l'intérieur du système, d'une manière beaucoup plus complète que ne le peut l'étude de cas.

Il en résulte alors qu'en portant l'analyse au niveau de l'industrie, plutôt que de la firme, nous obtenons des résultats bien plus éclairants. Au terme de ce travail, nous pouvons également voir que de nombreux acteurs ont finalement réussi à saisir les opportunités technologiques offertes par l'émergence des services mobiles. Pour autant, les formes organisationnelles qui y concourent présentent une importante diversité.

– Chapitre 1 –

Une approche historique de la dynamique industrielle

Table des matières du chapitre 1

– Chapitre 1 – Une approche historique de la dynamique industrielle.....	18
Introduction du Chapitre 1.....	20
1. Une grille de lecture historique de l'émergence des services mobiles.....	24
1.1. Avant les services mobiles : le développement de la téléphonie mobile.....	24
1.1.1. La construction d'un réseau de téléphonie mobile.....	25
1.1.2. Les bases d'une démocratisation de la téléphonie mobile.....	26
1.2. Une grille d'analyse de la dynamique industrielle des services mobiles.....	29
1.2.1. Le changement technologique : une lecture historique par les trajectoires....	30
1.2.2. La structure industrielle : gouvernance, spécialisation et connaissance.....	32
1.2.3. Les enjeux concurrentiels : partage de la valeur et attractivité.....	34
2. Une périodisation de la trajectoire des services mobiles.....	37
2.1. La genèse des services sur téléphone mobile : les services de personnalisation des terminaux.....	38
2.1.1. Le changement technologique : quand le téléphone mobile s'éveille au Monde numérique.....	39
2.1.2. La structure industrielle : une poignée de précurseurs.....	41
2.1.3. Les enjeux concurrentiels : le bricolage d'un marché.....	43
2.2. La généralisation des services sur téléphone mobile : les services en mobilité....	44
2.2.1. Le changement technologique : le Téléphone devient un Terminal.....	44
2.2.2. La structure industrielle : les prémices d'un ménage à trois.....	47
2.2.3. Les enjeux concurrentiels : l'abolition des frontières nationales et techniques	49
2.3. Connecting people ? : les services de mobilité.....	53
2.3.1. Le changement technologique : le terminal comme central.....	53
2.3.2. La structure industrielle : la remise en cause des spécialisations.....	54
2.3.3. Les enjeux concurrentiels : la remise en cause des modèles d'affaires.....	56
Conclusion du Chapitre 1.....	59

Introduction du Chapitre 1

L'objet de ce chapitre est d'expliciter la *dynamique*³ propre à l'émergence de l'industrie des *services mobiles*⁴. Pour y parvenir, nous bénéficions d'une importante base conceptuelle, dans la mesure où, dans sa globalité, l'industrie des télécommunications est un terreau très fertile pour la théorie économique. En effet, cette industrie est largement étudiée par les économistes, jusqu'à faire naître une branche spécifique : l'économie des télécommunications, identifiée par le code JEL L96⁵, par exemple. Cette branche s'est intéressée à une diversité de thèmes tels que la régulation (implication des pouvoirs publics et concurrence), la standardisation (compatibilité et guerre des standards), la protection de la propriété intellectuelle, la production (investissement, prix et division des tâches). Pour autant, avec l'émergence d'Internet et de la téléphonie mobile, cette industrie subit une évolution très rapide. Les fondements théoriques de l'économie des télécommunications – basés sur les grands réseaux techniques indépendants et sur la régulation des pouvoirs publics – sont donc révisés. L'objectif de cette révision est de pouvoir tenir compte, aussi, des spécificités des modèles d'affaires de l'économie numérique (quant aux coûts⁶, droits de propriété, distribution, etc.), afin d'appréhender au mieux les particularités de l'industrie des services mobiles.

Dans cette perspective, nous proposons une grille de lecture de la dynamique industrielle des services mobiles. L'objectif est de structurer les différentes problématiques économiques rencontrées par les acteurs industriels des services mobiles, grâce à un découpage historique. Cette périodisation met en avant le sentier d'évolution de l'industrie, au travers d'un enchaînement d'enjeux économiques clés. Certes, « *il y a toutes les chances que l'Histoire soit plus inventive que les théoriciens qui tentent de la comprendre* » [Jullien, 2011, p. 77]. C'est pour cela que nous construisons une grille suffisamment générale pour pouvoir comprendre – au

3 Au sens de *dynamique industrielle* : le système de relations des firmes — entre elles et vis-à-vis de la technologie — tout au long de ses transformations historiques [Carlsson, 1992].

4 Pour alléger notre propos, nous qualifions de *service mobile* l'ensemble des services issus de l'échange de données numériques sur le téléphone mobile, afin de les différencier du service de téléphonie (communication vocale).

5 Notons que la base de données RePEc, compilant les travaux de recherche en économie, comptabilise 685 documents indiquant le code L96, contre par exemple, 318 pour l'automobile (L62), ou 330 pour la chimie (L65).

6 En accord avec la réforme de l'orthographe de 1990, les i et les u ne prennent pas d'accent circonflexe (cout, paraître), excepté en cas d'ambiguïté (dû, du).

Firme	Région	Abonnés (en millions)	Firme	Région	Abonnés (en millions)
China Mobile	<i>Chine</i>	493	Orascom	<i>Afrique / Asie</i>	89
Vodafone	<i>Europe</i>	303	Verizon Wireless	<i>USA</i>	86
Telefonica Moviles / O2	<i>Europe / Amérique latine</i>	206	AT&T Mobility	<i>USA</i>	82
America Movil	<i>Amérique latine</i>	198	Telkom Indonesia	<i>Asie</i>	80
Telenor	<i>Europe / Asie</i>	172	Telecom Italia Mobile	<i>Europe / Amérique lat.</i>	72
T-Mobile	<i>Europe / USA</i>	150	VimpelCom	<i>Russie</i>	61
China Unicom	<i>Chine</i>	145	NTT DoCoMo	<i>Japon</i>	55
Orange	<i>Europe</i>	129	BSNL	<i>Inde</i>	52
Bharti Airtel	<i>Inde</i>	111	Turkcell	<i>Europe</i>	49
MTN Group	<i>Afrique</i>	108	China Telecom	<i>Chine</i>	47
Mobile TeleSystems	<i>Europe</i>	101			

*Tableau 1: Les principaux Opérateurs de Réseaux Mobiles dans le monde en 2009
(source: Morgan Stanley Research [2009], abonnés aux 1er ou 3ème trimestre 2009)*

Firme	Ventes (unité)	Ventes (%)
Nokia	97869,3	22,8
Samsung	69827,6	16,3
LG	24420,8	5,7
Apple	19628,8	4,6
ZTE	13070,2	3,0
RIM	12652,3	3,0
HTC	11016,1	2,6
Motorola	10221,4	2,4
Huawei Device	9026,1	2,1
Sony Ericsson	7265,5	1,7
Autres	153662	35,8

*Tableau 2: Les principaux Fabricants de Terminaux Mobiles dans le monde en 2011
(source: Gartner, Press releases, 11 août 2011, ventes au 2e trimestre 2011)*

Firme	Activités
Apple	systèmes mobiles haut de gamme
Tencent, Mixi, Facebook	réseaux sociaux
Skype	téléphonie IP
Amazon	commerce, cloud computing
Google	recherche, vidéos, publicité, applications
Adobe	contenus et applications
Rakuten, eBay	commerce
Gree	jeux mobiles
Yahoo!	recherche, messagerie instantanée

*Tableau 3: Exemples de Producteurs de Services Mobiles
(source: d'après Morgan Stanley Research [2009])*

niveau industriel – la diversité des expériences locales aussi bien que les transformations profondes liées à l'émergence des services mobiles.

La genèse de cette réflexion s'inscrit plus particulièrement dans l'analyse de deux transformations majeures : l'évolution des frontières de l'industrie des services mobiles et l'accélération du changement technologique. En effet, les services mobiles émergent par la création d'un tissu productif par trois catégories d'acteurs hétérogènes :

- les opérateurs de réseaux mobiles,
- les fabricants de terminaux mobiles,
- les producteurs de services mobiles.

Les principaux acteurs dans ces catégories sont présentés dans les Tableaux 12, 13 et 9 (infra, p. 143). Nous retenons cette catégorisation, car elle correspond aux acteurs nécessaires à l'existence de services mobiles grand public ; or, ce sont ces services qui sont au centre de nos propos. Pour autant, cette catégorisation permet aussi de tenir compte d'activités majeures, quoique moins visibles pour les usagers finaux, comme la construction de l'infrastructure physique du réseau, la production des composants électroniques des terminaux et la fourniture des logiciels intermédiaires nécessaires au fonctionnement des services finaux. Ainsi, pour Funk [2009a], la téléphonie mobile, comme l'industrie des télécommunications dans son ensemble, était historiquement composée de deux filières, celle des opérateurs de réseaux et celle des fabricants de terminaux. Avec l'arrivée des services mobiles, les acteurs de ces filières historiques font face à l'entrée d'acteurs extérieurs à l'industrie des télécommunications. Les producteurs de services mobiles, issus des industries culturelles, logicielles et Internet, font partie de ces nouveaux entrants et provoquent un glissement majeur des frontières de l'industrie. Qui plus est, ce glissement est concomitant avec la libéralisation de l'industrie des télécommunications : tous ces acteurs doivent alors trouver de nouvelles formes de collaborations, associées à un renouvellement des modèles économiques sous-jacents. De fait, chacune des catégories d'acteurs bénéficie des innovations des autres. Ainsi, les fabricants de terminaux peuvent accélérer le renouvellement de leur parc, en proposant des terminaux aptes à utiliser des réseaux et services toujours plus évolués. Les opérateurs bénéficient de l'extension des usages du téléphone mobile grâce à l'intensification de l'usage des réseaux qui en découle. Les fournisseurs de services gagnent à multiplier leurs canaux de distribution grâce à des réseaux et des terminaux toujours plus performants.

Parallèlement, les collaborations qui vont se nouer sont potentiellement précaires du fait de la vivacité du changement technologique auquel fait face ce nouveau marché. À la manière de Lanthier [1998, p. 586], nous considérons qu'il « *faut éviter de faire de la maturation d'un système ou d'une filière un processus qui va de l'invention à l'innovation, puis à la sclérose. [...] Au principe de ce processus on retrouve une dynamique issue à la fois de la perméabilité de la société à l'endroit de la nouvelle filière et de combinaisons inédites de techniques multi-sectorielles déjà existantes* ». S'il est relativement facile de dater l'apparition des premiers services mobiles au milieu des années 1990, il nous semble acceptable de considérer que l'émergence des services mobiles est toujours en cours. Par exemple, en prenant le taux de croissance élevé d'un marché comme caractéristique de sa phase d'émergence⁷, le consultant IDC (spécialisé sur les TIC) déclare que « *by 2015, more U.S. Internet users will access the Internet through mobile devices than through PCs or other wireline devices. As smartphones begin to outsell simpler feature phones, and as media tablet sales explode, the number of mobile Internet users will grow by a compound annual growth rate (CAGR) of 16.6% between 2010 and 2015* »⁸. Ainsi, nous subdivisons cette émergence en trois périodes historiques dont la première démarre en 1992 et la dernière se poursuit au moment de notre rédaction. Cette périodisation correspond à trois étapes successives que l'on peut observer sur les différents marchés régionaux avec des temporalités différentes. Mais surtout, elle nous permettra de décrypter – par une lecture historique de l'émergence des services mobiles – l'évolution des enjeux économiques auxquels doivent faire face ces acteurs.

Concrètement, dans la section 1., nous présentons le cadre servant à analyser le jeu des acteurs face à l'évolution des frontières de l'industrie et à l'accélération de l'innovation. Cette analyse est structurée au travers de trois dimensions clés : le changement technique, la structure industrielle et les enjeux concurrentiels. Dans la section 2., nous mettons en application cette grille d'analyse, à partir d'une revue historique de l'émergence des services mobiles, afin de mettre en avant une périodisation de cette émergence et, par conséquent, l'évolution des enjeux économiques propres à chacune de ces périodes.

7 Par exemple, Klepper [1997, p. 148] décrit l'étape intermédiaire de création d'une industrie (ou l'étape de croissance, *growth stage*) comme l'étape où la production croît fortement. Cette étape se positionne entre une étape d'exploration initiale et une étape de maturité.

8 Source : IDC, Press release, 12 septembre 2011, <http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS23028711>

1. Une grille de lecture historique de l'émergence des services mobiles

Dans une large mesure, le contexte technologique et économique relatif à l'émergence des services mobiles est indissociable du développement de la téléphonie mobile. C'est pourquoi nous commencerons par faire un historique rapide associé à un aperçu conceptuel des éléments clés de ce développement de 1870 à 1992 (1.1.). Pour résumer, nous verrons ici l'apparition de la téléphonie mobile civile, ainsi que celle des technologies numériques et cellulaires permettant la construction d'un réseau de grande ampleur, donnant lieu à la banalisation de la téléphonie mobile que l'on observe aujourd'hui. Ainsi, en se partageant les mêmes technologies et marchés, certaines continuités existent entre les questions théoriques soulevées par ces deux histoires. Mais de nouvelles lumières doivent être apportées, une fois posé le contexte économique et technologique de la transition qui s'opère à partir de 1992 (1.2.). Nous opérerons cet éclairage grâce à une analyse théorique de la dynamique industrielle divisée en trois blocs : le changement technique, la structure industrielle et les enjeux concurrentiels.

1.1. Avant les services mobiles : le développement de la téléphonie mobile

L'origine technologique des communications mobiles se trouve dans les découvertes faites sur les ondes électromagnétiques, dès la fin du XIXe siècle. Ainsi, Maxwell démontre en 1870 que les ondes électromagnétiques voyagent aussi dans le vide. En 1887, Hertz réussit à produire des ondes. Associant ces deux découvertes, Marconi parvint, en 1895, à réaliser les premières expériences de radiotélégraphie, officialisées par un brevet en 1896 et par une première émission entre la France et l'Angleterre en 1899. Les premières utilisations à grande échelle datent de la Première Guerre mondiale, en permettant l'échange de messages télégraphiques au sein des Marines combattantes. Cette utilisation, très spécifique, malgré son extension aux marines commerciales et à l'aviation civile et militaire, préfigure seulement une partie de ce que sont aujourd'hui les télécommunications mobiles [Agar, 2003]. Il s'agit avant tout de rendre les équipements réellement mobiles grâce à la miniaturisation et de créer un réseau de grande ampleur grâce à l'interconnexion des réseaux mobiles et filaires (1.1.1.). Ensuite, les technologies numériques et cellulaires vont renforcer cette dynamique d'extension du réseau mobile, associées à la dérégulation dont un des objectifs est d'offrir une nouvelle

base industrielle et économique à ces réseaux (1.1.2.). L'illustration 1 présente les dates marquantes de cette période.



Illustration 1: Chronologie de la préhistoire des services mobiles (1870-1992)

1.1.1. La construction d'un réseau de téléphonie mobile

Pendant plusieurs décennies, on parle surtout de télégraphie puis de téléphonie *sans fil* : la mobilité n'est possible que par un moyen de transport connexe (bateau, voiture, etc.), à cause d'antennes et d'équipements volumineux et gourmands en énergie. Pour se rapprocher du terminal mobile actuel, les équipements radioélectriques doivent gagner en autonomie. Ce sont les progrès de l'électronique – en particulier, la miniaturisation – qui vont permettre de dépasser ces limites. En particulier, l'évolution des batteries permet des gains majeurs d'autonomie et de mobilité, auxquels vont s'ajouter de nombreuses améliorations des autres composants physiques. Pourtant, il faudra attendre 1973 pour que Motorola présente le premier terminal mobile ébauchant l'allure et le fonctionnement des téléphones mobiles actuels.

Du côté du réseau, des offres commerciales embarquées dans des automobiles sont proposées dès 1947 aux États-Unis ou 1956 en Suède. Mais le succès de ces offres est loin d'égaler la banalisation de la téléphonie mobile observée à partir des années 1990. Pour Funk [2007], la téléphonie mobile comme d'autres industries fait face à un *startup problem* : dès sa création, le réseau de téléphonie mobile a besoin d'une masse critique d'utilisateurs afin de produire un effet d'entraînement. Ce point de vue repose sur les *rendements croissants d'adoption* [Arthur, 1989], permettant des *économies d'échelles de la demande* aussi appelées *externalités* (ou *effets*) *de réseau* [Varian, 2004]. Cette externalité va être *directe* (sa valeur augmentant avec le

nombre d'utilisateurs) ou *indirecte* (sa valeur augmentant par la fourniture de biens complémentaires). Pour obtenir cette masse critique, la solution la plus évidente est d'interconnecter les réseaux de téléphonie filaire et hertzienne. Bien qu'abordable techniquement, cette solution soulève des questions économiques.

La construction d'une telle infrastructure nécessite des investissements lourds. D'autant plus que le passage d'un usage militaire (financé sur fonds publics) à des usages commerciaux soulève la question de la tarification du service. La fourniture du service de téléphonie mobile est caractérisée par : (i) des coûts fixes élevés (construction du réseau hertzien et interconnexion avec le réseau filaire) ; (ii) des coûts marginaux non linéaires (engorgement, infrastructure localisée, dés-économies d'échelle en l'absence d'automatisation) ; (iii) des difficultés à identifier la capacité à payer d'utilisateurs potentiels d'une technologie innovante. L'économie des télécommunications s'est donc orientée vers une tarification comprenant deux parties coordonnées [Laffont & Tirole, 2001] : la tarification de *l'accès* sous forme d'abonnement, afin de financer l'infrastructure et la tarification de *l'usage*. En présence d'externalité de réseau, la coordination de ces prix consiste à opérer une surtarification de l'usage et une sous-tarification de l'accès [Curien, 1987]. Le but est d'encourager l'entrée sur le réseau de nouveaux utilisateurs et de ce fait améliorer encore la valeur du réseau. L'attractivité du réseau peut aussi être obtenue par une discrimination par les prix [Shapiro & Varian, 1999]. Finalement, le réseau de téléphonie mobile sera surtout proposé dans des conditions précises, en tant que complément coûteux de l'infrastructure filaire. Ainsi, il est installé là où aucun réseau filaire n'est envisageable (avions, bateaux, climat extrême, faible densité de population) ou dans des zones à très forte densité de population, à destination d'une clientèle professionnelle dotée d'une forte capacité à payer. En parallèle, des expériences de téléphonie mobile sans connexion avec le réseau filaire apparaissent. Par exemple, aux États-Unis, le régulateur des télécommunications (la *Federal Communications Commission* ou FCC) autorise les sociétés privées à établir des liaisons radio sur ondes courtes pour des usages privés, en 1959. En 1963, une liaison interurbaine hertzienne est exploitée entre Chicago et St Louis par la société MCI, en contournement du monopole d'AT&T.

1.1.2. Les bases d'une démocratisation de la téléphonie mobile

Cependant, dans les zones urbaines, les fréquences radioélectriques sont rapidement engorgées par la multiplication des usages hertziens. Les pouvoirs publics sont alors partie prenante de l'évolution de ces usages en direction de la téléphonie mobile, conformément aux préroga-

tives qu'ils détiennent sur l'attribution des fréquences, à travers des instances nationales et internationales. En particulier, ils doivent trouver un compromis avec les stations de radio en plein âge d'or et les forces armées ou de secours, bénéficiaires historiques des technologies de communication hertziennes. Leur tâche est facilitée grâce à deux innovations issues des Bell Labs. D'une part, la technologie cellulaire (voir Encadré 1), initiée en 1947, permet une réutilisation des fréquences, mais elle n'est mise en application qu'à la fin des années 1970 [Zysman et al., 2000]. D'autre part, le transistor permet (à partir de 1947 aussi) une très nette amélioration des émissions hertziennes, tous usages confondus, en améliorant la qualité et la puissance du signal. De plus, les transistors, à la base de l'invention du microprocesseur, accélèrent l'informatisation, devenant le noyau d'un traitement numérique (plutôt qu'analogique) des informations. Au niveau du réseau téléphonique, l'informatisation facilite l'automatisation (suppression de l'opérateur, gestion de la facturation, etc.), tout en améliorant de nouveau

Encadré 1 : Les notions de cellule, numérisation et génération dans la téléphonie mobile

La **technologie cellulaire** consiste à découper un territoire en *cellules*. Le principe est d'augmenter le nombre d'antennes tout en réduisant leur puissance afin de délimiter la taille de leur cellule. Ainsi, une fréquence radio utilisée dans une cellule donnée peut être réutilisée dans une autre cellule pour acheminer une autre conversation. De même, un usager qui se déplace d'une cellule à une autre libère une fréquence dans sa cellule de départ et reçoit une nouvelle fréquence dans la cellule d'arrivée, sans rupture de la communication. Le corollaire est la réduction de la consommation électrique des terminaux, ceux-ci émettant un signal moins puissant grâce à l'augmentation du nombre d'antennes.

Dans le domaine de la téléphonie, la **numérisation** consiste à transformer un signal analogique (la voix) en signal numérique (à maxima, des données binaires). Cette conversion suppose plusieurs étapes dont voici les plus importantes :

- le *filtrage anticrênelage* qui consiste à nettoyer le signal des impuretés
- l'*échantillonnage* consiste à enregistrer le signal analogique (continu) à intervalle régulier, afin de le transformer en signal numérique discret. Cet intervalle, également nommé *fréquence*, est exprimé en kHz. Il en résulte un arbitrage : plus la fréquence est faible, plus la quantité d'informations perdues est importante par rapport au signal analogique, mais moins le volume de données numériques à transmettre est important.
- le *codage* dont la fonction est de compresser les données précédentes, en ne conservant que les informations non redondantes.

Par conséquent, là où les télécommunications analogiques envoient des informations à un débit fixe et continu (mode synchrone), même en cas de silences, les télécommunications numériques envoient des informations discrètes qui peuvent être découpées en *paquets* (mode asynchrone). Un même canal de transmission peut alors supporter plusieurs conversations (*multiplexage*) dès lors que chaque paquet a une adresse de destination et un indicateur permettant de retrouver sa place dans le fichier qui est reconstitué sur le terminal de son destinataire.

La numérisation est liée à l'émergence du transistor, car ce sont les transistors qui vont opérer cet enchaînement codage-transmission-décodage. Les progrès effectués sur les transistors améliorent alors d'autant la rapidité et la fluidité de ces opérations.

Les évolutions successives des réseaux de téléphonie mobile sont très fréquemment présentées sous forme de **générations**. Ainsi la 1^{re} génération (1G) correspond aux réseaux cellulaires et analogiques initiés à la fin des années 1970 et exploités durant les années 1980. La seconde génération (2G) entérine la numérisation complète de ces réseaux, à partir de 1992. La troisième génération (3G) se démarque par une augmentation notable des débits de transmission des données, initiée en 2001. La quatrième génération (4G) marque la convergence avec le réseau IP, le réseau des équipements connectés à Internet, normalisée en 2009. Des générations intermédiaires (2,5G, 3,75G...) existent en tant qu'évolutions mineures des technologies de réseau.

l'usage des fréquences hertziennes (par le multiplexage et la transmission par paquets). Au niveau du terminal, le passage au numérique accélère la miniaturisation : un simple microprocesseur grâce à son ubiquité peut réaliser les tâches jusqu'alors dédiées à différents composants analogiques.

À la fin des années 1970, ces innovations technologiques vont permettre une accélération du développement des réseaux de téléphonie mobile. Mais il faut les associer à l'autre événement majeur de cette époque : la dérégulation du secteur des télécommunications. En effet, depuis 1945, le secteur des télécommunications est caractérisé par des monopoles nationaux, sous administration publique (sauf aux États-Unis, où AT&T est une société privée soumise à une régulation publique). Jusqu'aux années 1980, le téléphone étant presque le seul service de communication existant, il paraissait normal de confier à une même entreprise la construction de l'infrastructure et la gestion du service. Cette vision repose sur la notion de monopole naturel. Dans une industrie telle que l'industrie des télécommunications caractérisée par des coûts fixes élevés (construction de l'infrastructure) et des coûts variables presque nuls, les économies d'échelle sont très fortes, conduisant à l'émergence d'un monopole par effet d'entraînement. Or cette idée de naturalité est contestée d'un point de vue théorique. Pour Curien [2005, p. 45], « *c'est la présence d'un monopole de fait qui induit fallacieusement une structure économique de monopole naturel, et non pas une situation présumée de monopole naturel qui saurait justifier le maintien d'un monopole de fait !* » Il s'appuie pour cela sur les effets de réseau. Quand de tels effets opèrent, seuls deux équilibres stables sont possibles : le réseau est trop petit, il disparaît ; le réseau dépasse un seuil de masse critique, par effet boule de neige il attire tous les usagers prêts à payer pour ce service. De plus, pour Foray [1993, p. 100], « *[l']effet du premier innovateur est particulièrement fort en présence d'effets de réseaux : la période de protection légale, même limitée dans le temps, permet la construction rapide d'une base installée, qui maintiendra longtemps la position dominante du premier innovateur* ». Or, l'industrie des télécommunications apporte une grande importance à la constitution et à la protection d'un important portefeuille de brevets [Griset, 2002].

En parallèle, à partir des années 1980, trois types d'attaques ont remis en cause ces monopoles [Curien & Gensollen, 1992] :

- la multiplication des services finals (télématique, téléphonie mobile...) : les opérateurs téléphoniques n'ayant pas de réelle légitimité à effectuer aussi ces services, les réseaux sont ouverts à des prestataires spécialisés ; d'où un débat sur la distinction à opérer entre infrastructure et service ;
- des critiques croissantes sur les capacités réglementaires à assurer la qualité du service à un prix optimal ; critiques apparues aux États-Unis dans les années 1970 : qualité excessive du service, tarifs excessifs, innovation tirée par le progrès technique plus que par la demande finale ;
- les limites de la gestion des monopoles publics : dénonciation du manque d'incitation à minimiser les coûts de production, la pesanteur budgétaire, les rigidités de gestion du personnel fonctionnaire, l'absence de contrôle actionnarial.

Les services liés à la téléphonie mobile faisant partie des nouveaux services à développer, la dérégulation des télécommunications va offrir de nouvelles avancées à la téléphonie mobile. De nombreux acteurs s'engouffrent dans ce nouveau créneau, suivis par des utilisateurs de plus en plus nombreux. C'est donc dans les années 1980 que les opérateurs de télécommunications vont généraliser l'interconnexion des réseaux fixes et mobiles ; entérinant le téléphone mobile comme une continuité sans fil du réseau de téléphonie fixe.

1.2. Une grille d'analyse de la dynamique industrielle des services mobiles

La numérisation croissante des réseaux de téléphonie mobile, qui marquera la fin des réseaux mobiles analogiques en 1992, permet un accroissement des opportunités d'évolution des services mobiles. Pour autant, le système de téléphonie mobile est un système complexe dans lequel le changement technologique est soumis à certaines règles et contraintes (1.2.1.). Par ailleurs, les opportunités offertes par la technologie ne sont pas la seule entrée pour comprendre la dynamique industrielle liée à l'émergence des services mobiles. Pour ce marché, il faut aussi étudier l'évolution de la structure industrielle (1.2.2.). En effet, structure technologique et structure industrielle sont fortement reliées, d'autant plus qu'il s'agit de donner une base industrielle à une technologie émergente. Avec l'évolution de la technologie, les enjeux concurrentiels se déplacent (1.2.3.). Il s'agit donc d'identifier les axes assurant la solidité d'une

stratégie face aux réactions des concurrents et de la demande, au moins de manière temporaire.

1.2.1. Le changement technologique : une lecture historique par les trajectoires

La lecture de l'innovation technologique sous la forme de *trajectoire* est intimement liée au caractère *complexe* du système technique de la téléphonie mobile. L'innovation se fait de manière séquentielle, incrémentale et localisée. C'est l'unique moyen de gérer l'incertitude sur les résultats de l'innovation due aux très nombreuses interdépendances au sein du système, au prix, cependant, d'un haut niveau d'irréversibilités technologiques une fois les composants du système adoptés [Rosenberg, 1969; Murmann & Frenken, 2006]. Cela explique la lenteur d'adoption des technologies numériques par l'industrie des télécommunications [Helpman & Trajtenberg, 1996]. En effet, pour Rallet [1995], ces technologies sont « emblématiques », car ce sont des technologies *génériques*⁹ utilisées par différents secteurs. Pour autant, un usage économique des innovations concomitantes doit passer par une cristallisation de ces techniques en techniques *spécifiques* (ou *de production*). Willinger & Zuscovitch [1993] montrent que ce processus est lui-même la source d'irréversibilités : l'adoption d'une nouvelle technologie spécifique réduit l'incertitude sur ces avantages par apprentissage, ce qui crée une irréversibilité au détriment d'autres technologies potentiellement plus avantageuses, mais non explorées.

Cependant, l'évolution technologique du secteur est aussi indissociable de sa dérégulation, puisqu'un des effets attendus est la remise en cause des anciennes trajectoires technologiques [Lipartito, 2011]. Cela, dans la mesure où les firmes ont des difficultés à saisir des opportunités technologiques en dehors de leur domaine d'expertise [Cohen & Levinthal, 1990]. Effectivement, le système technologique qui émerge repose sur un réseau de firmes qui dépasse les frontières historiques de l'industrie des télécommunications [Funk, 2009a]. Le changement technique en œuvre dans l'émergence des services mobiles se rapproche alors plus d'une innovation architecturale [Henderson & Clark, 1990] : il s'agit de modifier l'architecture structurant les différents composants technologiques, plus que de créer de nouvelles technologies spécifiques. L'objectif est de greffer un nombre croissant de sous-systèmes technologiques au système de téléphonie mobile [Yoo et al., 2005]. Pour y parvenir, une étape importante consiste à réduire les interdépendances au sein du système, en le décomposant en modules in-

9 Équivalent francophone du concept de *general purpose technology*.

dépendants [Sanchez & Mahoney, 1996; Baldwin & Clark, 2000]. En introduisant de la modularité, le système devient plus flexible, ce qui permet l'adjonction de composants, par des interfaces standardisées. Ainsi, cela facilite l'exploration de différentes alternatives par différents acteurs, sans risquer de perturber le fonctionnement primaire du système de téléphonie mobile.

Le processus de standardisation est alors un élément essentiel de la dynamique technologique d'un service aux multiples trajectoires. Tout d'abord, la standardisation peut s'opérer sur l'architecture même du bien, un certain nombre d'interfaces ou de composants étant stabilisés au sein d'un *dominant design* [Abernathy & Utterback, 1978]. Par contre, du fait du rythme très rapide des changements technologiques au sein des sous-systèmes relatifs aux services mobiles, il convient d'adopter une vision plus modulaire du *dominant design*. Concrètement, les différents sous-systèmes sont potentiellement à des moments différents d'un cycle technologique en quatre étapes : discontinuité technologique (variation), incubation (compétition), *dominant design* (sélection), changement incrémental (rétention) [Murmann & Frenken, 2006]. Ensuite, il faut différencier standards de qualité et standards de compatibilité [Foray, 1993]. Le standard de qualité définit les caractéristiques (ou fonctions) et le niveau de qualité minimum de la technologie. Cette dimension est d'importance dans l'industrie des télécommunications mobile, car l'incertitude sur la qualité du service a longtemps servi d'argument aux monopoles de la téléphonie pour refuser l'interconnexion avec les réseaux mobiles. Le standard de compatibilité est un élément essentiel pour l'existence du réseau, puisque l'absence de compatibilité est un frein aux externalités de réseau. Durant la première génération mobile analogique, une personne voulant se déplacer d'un pays à l'autre voyait son téléphone mobile inutilisable. Ce phénomène fut le plus flagrant aux États-Unis, où d'un État à l'autre, voire d'une ville à l'autre, les standards de téléphonie mobile étaient différents. Avec la dérégulation, cette question reprend une certaine importance [Economides, 1996; Dang-Nguyen & Pénard, 2000], la disparition des monopoles pouvant entraîner la multiplication de services (de téléphonie ou numérique) similaires, mais non compatibles. Enfin, le standard peut être fermé ou ouvert, selon (respectivement) qu'un acteur industriel peut faire valoir (ou non) des droits de propriété sur les technologies connexes [Brusoni & Fontana, 2011]. Le cas extrême de standard fermé est le *standard local* [Steinmuller, 2003], uniquement défini pour un usage interne. Le choix opéré dans ce domaine a un effet important sur le niveau d'adoption d'une technologie, mais peut aussi être utilisé stratégiquement afin de jouer sur la structure de l'industrie.

1.2.2. La structure industrielle : gouvernance, spécialisation et connaissance

L'équilibre choisi entre exploration et stabilisation par la standardisation peut être un levier stratégique pour établir ou modifier des rapports de force dans l'industrie. Ainsi, des acteurs peuvent avoir des intérêts divergents relativement à la cristallisation technologique du système ou quant à la réduction de sa variété technologique. Un processus de standardisation d'une technologie aboutit lorsque l'ensemble des parties prenantes s'accorde sur un certain nombre de caractéristiques de cette technologie. Or cet accord peut prendre deux formes différentes [Foray, 2002]. Soit l'adhésion est tacite, c'est-à-dire qu'elle résulte de la domination progressive d'une situation technologique, on parle dans ce cas de *standard de fait* ou *de facto*. Soit l'adhésion est formelle, c'est à dire finalisée par un compromis entre les agents ou par une décision de l'autorité publique, on parle alors de *norme de jure*. Quelle que soit la forme prise, certains acteurs (on parle de *sponsors*) peuvent recourir à des stratégies pour orienter cette décision, car ils détiennent les droits de propriété ou bénéficient d'un effet d'apprentissage sur cette technologie. Deux stratégies dominent alors, soit les différents sponsors rendent leurs technologies compatibles (compétition à l'intérieur du standard), soit ils optent pour une compétition entre leurs standards (guerre des standards) [Besen & Farrell, 1994]. Le choix stratégique va dépendre deux éléments : la nature de la compétition et les rapports de pouvoir entre les concurrents.

Or ces deux éléments nécessitent un approfondissement du fait des spécificités du système étudié. Dans cette industrie, même si certaines firmes proposent des modules concurrents, la plupart des acteurs n'ont pas toutes les compétences technologiques liées aux différents modules du système. Il s'agit alors pour elles de faire des choix en matière de spécialisation technologique (ou diversification) et de gouvernance de la production du système (intégration ou désintégration). Dans cette lignée, les standards émergent afin de coordonner la division du travail découlant de ces choix initiaux [Steinmuller, 2003]. Dans une logique de division du travail qui passerait par un marché des technologies, la nature de la compétition peut être analysée à la lumière de l'*open innovation* [Chesbrough, 2006]. L'idée principale de ce concept est que les firmes réalisent leurs innovations à partir de connaissances développées en externes, tout en devenant elles-mêmes pourvoyeuses de connaissances pour d'autres firmes. Dès lors, la compétition ne se fait plus uniquement sur les produits, mais aussi sur la fourniture de technologies par des firmes très spécialisées. Les compromis sur la création de standards doivent donc s'adapter à un usage intensif des droits de propriété intellectuelle [Simcoe,

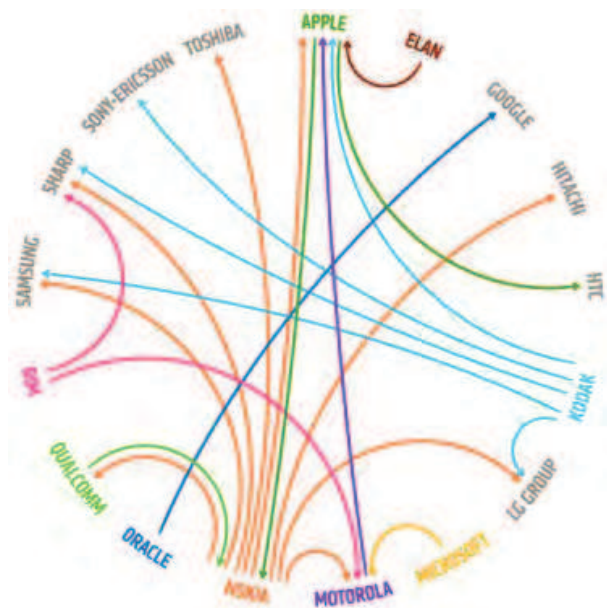


Illustration 2 : Procès en cours ou finalisés par des accords de licence, octobre 2010

(source : <http://news.designlanguage.com/post/1252039209>, d'après Halliday J. et Arthur C., « Microsoft sues Motorola over Android – and all the other mobile lawsuits, visually » The Guardian – Technology Blog, 5 Octobre 2010)

2006], la construction d'un portefeuille de technologies permettant d'influencer les rapports de force. L'Illustration 2 donne une idée de l'étendue des conflits sur les brevets de téléphonie mobile, utilisés comme barrières contre les concurrents ou comme sources de revenus en cas d'accords.

Seulement, la structuration d'une industrie autour de l'émergence d'un système aussi complexe ne peut se réduire à un simple marché des technologies. Dans cette optique, Brusoni et al. [2001] proposent une grille de lecture adaptée à l'émergence d'un produit complexe, donnant une place importante à la diffusion de la connaissance et articulant plus précisément les questions de spécialisation et de gouvernance, autour de différentes structures de réseaux de firmes. En présence d'un changement technologique irrégulier, l'échange de connaissances permettant la compatibilité et l'assemblage des différents sous-systèmes ne peut se réaliser par les mécanismes de marché. (voir p. 56, pour une application de cette grille aux services mobiles). Un couplage organisationnel¹⁰ est nécessaire : si les interdépendances entre les sous-systèmes sont prévisibles, il sera faible (on parlera d'intégration-système) ; si les interdépendances sont imprévisibles, il sera fort (ce sera de l'intégration verticale). Pour autant, il soulève la question du niveau de granularité (de finesse) utilisé pour l'analyse du système : quelle est l'étendue du système que l'on peut analyser ainsi ? Pour van den Ende [2003], les techno-

¹⁰ C'est-à-dire, la mise en place d'interactions vouées à l'échange de connaissances entre organisations.

logies propres au réseau et celles propres aux services ont des cycles de vie différents. Par conséquent, chacun de ces deux sous-systèmes peut connaître un mode de gouvernance (couplage, spécialisation, intégration) différent selon leur maturité respective, sachant que le système global va lui aussi voir son mode de gouvernance évoluer. Gille [2007] offre un moyen de structurer les différents cycles de cette industrie grâce au mécanisme de double hélice développé par Fine & Whitney [1996]. Selon cette logique, la gouvernance intégrée en début de cycle va progressivement se désintégrer grâce à la stabilisation de la technologie autour de standards et *dominant designs*, permettant la modularisation et, par conséquent, une fragmentation du marché. Puis, l'augmentation de la modularité sur des trajectoires différentes va donner lieu à de nouvelles tensions sur l'interopérabilité (standardisation des interfaces entre modules) poussant à une nouvelle phase d'intégration, par la recomposition du marché. Seulement, les acteurs industriels ne sont pas passifs quant à cette dynamique, ces changements remettant en cause leurs avantages sur des segments d'un marché fragmenté ou leur emprise sur l'industrie. D'autant plus que la dérégulation est elle-même dépendante du sentier. En s'adaptant aux stratégies des acteurs, elle est pour eux une source tout aussi importante d'incertitude [Rallet, 1995]. Ainsi, alors que la dérégulation des années 1980 avait vocation à amener la concurrence au sein des marchés nationaux ; les années 1990 sont marquées par la globalisation de la concurrence [Lipartito, 2011].

1.2.3. Les enjeux concurrentiels : partage de la valeur et attractivité

Que ce soit pour analyser l'évolution des standards, des rapports de force ou encore de la structure de l'industrie, il faut bien entendu se pencher sur la réaction de la demande face aux différentes stratégies présentées. En cohérence avec le couperet qu'exerce la demande sur les innovations technologiques et organisationnelles, des innovations commerciales doivent être proposées. Il faut de « *new and innovative ways of organizing the relationship between demand and supply, with pricing strategies that take into account network externalities, the specificity of information and the ability to differentiate and discriminate, thanks to digital technologies* » [Brousseau & Pénard, 2007, p. 82].

La logique de tarification en deux parties coordonnées (cf. p. 26) devient obsolète du fait des difficultés à identifier ces parties. En effet, la fourniture de services numériques sur téléphones mobiles repose sur trois couches technologiques, comme tout service issu d'un réseau [Curien, 2005] :

- une couche basse qui correspond à l'infrastructure, celle-ci renvoie aux équipements matériels qui constituent le système de téléphonie évoqué précédemment ; par analogie avec l'informatique, c'est le *hardware* ;
- une couche haute, les services finals, correspondants à l'ensemble des services disponibles pour l'utilisateur, en premier lieu le service de téléphonie, mais aussi les services mobiles numériques qui nous intéressent ici ; dans le monde informatique, c'est le *software* ;
- enfin, une couche médiane, l'infostructure, qui permet d'organiser la circulation des données sur l'infrastructure, mais aussi – cela va être essentiel pour notre travail – assurer les interactions entre les deux autres couches, donc par extension permettre le fonctionnement des services numériques sur le terminal mobile. En informatique, ce serait le système d'exploitation (en anglais, operating system ou OS).

Les acteurs industriels ayant une implication très hétérogène sur ces différentes couches, la question du partage de la valeur est un sujet épineux, en particulier pour justifier des investissements dans une industrie connaissant d'importants effets de réseau. Une partie de la littérature économique s'intéresse aux stratégies à utiliser dans ce type d'industrie au travers de la notion de marché biface ou multiface. Cette notion fait référence à un marché qui doit attirer deux ou plusieurs types d'utilisateurs finaux, dont l'activité sur le marché est différente : par exemple, l'utilisateur final d'un service et les fournisseurs de biens complémentaires ou liés à ce service. Les effets de réseaux opèrent dans la mesure où la croissance du nombre d'utilisateurs d'un type donné attire des utilisateurs du ou des autres types, et réciproquement. Dans le cas des services mobiles, le détenteur d'une plateforme qui agrégerait de tels services doit attirer des utilisateurs pour ces services, mais aussi des développeurs (voir de nombreux exemples Evans et al. [2006]). Dans cette optique, il s'agit alors d'identifier la source d'effet de réseau, les différentes parties prenantes, les investisseurs potentiels (sponsoring, publicité, par exemple), etc. afin de mettre en place une architecture de subventions croisées et de prix différenciés, et ainsi générer un phénomène d'attraction entre catégories d'utilisateurs.

Ces stratégies ne peuvent pas entièrement expliquer l'attractivité des services mobiles. En effet, pour attirer des usagers, un travail doit aussi être effectué pour assurer la visibilité et la lisibilité des usagers. Face à un nouveau produit, le choix du consommateur dépend du marketing, mais aussi de sa propre expérience passée de consommateur et de nouvelles compétences qu'il va acquérir individuellement ou socialement par l'usage de ce nouveau produit [Babutsidze, 2011]. Il en résulte une certaine inertie des choix des consommateurs, sur laquelle pourraient buter des stratégies trop innovantes ou des acteurs industriels trop inconnus. Par ailleurs, au côté de l'utilisateur purement consommateur, il convient de considérer des usagers individuels ou industriels eux-mêmes actifs sur l'évolution de l'offre de services mobiles. L'utilisateur peut être à la source de l'innovation en adaptant le système à ses propres besoins [von Hippel, 1988] ou en cas de compatibilité entre les sous-systèmes, en opérant lui-même l'assemblage [Matutes & Regibeau, 1988].

2. Une périodisation de la trajectoire des services mobiles

Dans cette section, nous opérons la périodisation de l'émergence des services mobiles sur la période allant de 1992 à nos jours. Cette périodisation en trois étapes s'appuie sur la grille d'analyse de la dynamique industrielle développée dans la section précédente autour du changement technologique, de la structure industrielle et des enjeux concurrentiels. Les résultats de l'articulation de ces deux dimensions (théoriques et historiques) sont résumés dans le Tableau 4. De cette manière, nous mettons en avant l'évolution concrète du panier de services mobiles ainsi que la forme et la source du leadership, cela pour chacune des périodes.

	Changement technologique	Structure industrielle	Enjeux concurrentiels
1ère Période : Services de personnalisation	Numérisation des réseaux et des terminaux <i>Services de personnalisation des terminaux</i>	Exploration de relations innovantes entre fabricants de terminaux et producteurs de services <i>Arbitrage par les fabricants de terminaux</i>	Technique grâce à la modularité <i>Détenir l'infrastructure</i>
2e Période : Services en mobilité	Réseaux haut débit et terminaux multimédias <i>Services Internet mobiles</i>	Spécialisation , concentration, internationalisation et nouveaux entrants producteurs de services <i>Arbitrage (relatif) par les opérateurs de réseaux</i>	Industriel par la standardisation et l'interopérabilité <i>Détenir l'infrastructure</i>
3e Période : Services de mobilité	Réseaux convergen ts et terminaux modulaires <i>Services individualisables</i>	Diversification et nouvelle vague d'entrants <i>Arbitrage par l'utilisateur</i>	Informationnel par la réactivité aux usages <i>Détenir le service final</i>

Tableau 4: Dynamique industrielle des services mobiles

Ainsi, la première période (2.1.) – qui démarre en 1992, date du passage aux réseaux mobiles numériques ou réseaux de 2e génération (2G) – marque l'apparition de l'infrastructure technologique nécessaire à l'émergence des services mobiles. Ceux-ci émergent autour de contenus dont l'objet est de personnaliser les terminaux (sonneries, logos, etc.). C'est l'étape où le marché se construit techniquement puis industriellement. C'est-à-dire que les fabricants de terminaux mobiles introduisent la modularité, tout en amorçant le dialogue avec les producteurs de services mobiles pour définir les frontières de ce nouveau marché. L'espace

concurrentiel est alors technique par l'ouverture à des technologies autres que la simple téléphonie, mais de nombreuses asymétries apparaissent, notamment sur le partage de connaissances et de droits de propriété. Cela va encourager le passage à l'étape suivante (2.2.), au tournant du siècle quand, l'accès technique aux données s'améliorant, les services de l'univers fixe sont transposés sur les téléphones mobiles. C'est l'étape majeure, car, désormais, les opérateurs de réseaux mobiles intègrent les services mobiles dans leurs stratégies de Recherche et Développement. On observe, parallèlement, une transposition des pratiques autour de l'information, de la standardisation et de l'interopérabilité. Une industrie des services mobiles est identifiable. Enfin, la dernière étape (2.3.), actuellement en cours, correspond à l'autonomisation des services mobiles au sein de l'univers numérique. C'est un aboutissement : les usagers peuvent mobiliser une grande diversité de services selon leurs besoins. Les firmes doivent aussi se diversifier afin de répondre à cette demande, ce qui conduit à une diversité des stratégies dépassant le cadre traditionnel de leur industrie. L'Illustration 3 présente les dates marquantes de ces trois périodes historiques.

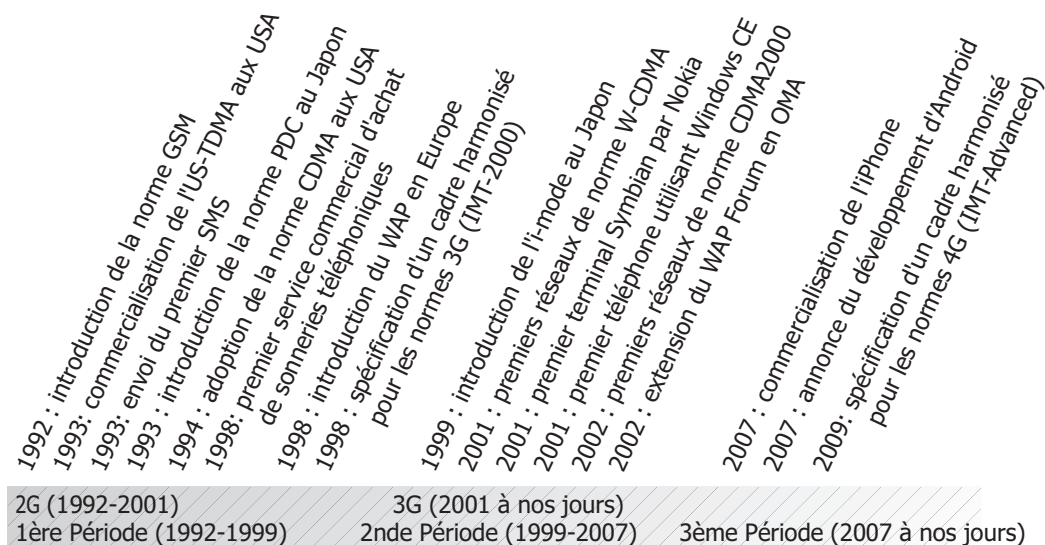


Illustration 3: Chronologie de l'émergence des services mobiles (1992 à nos jours)

2.1. La genèse des services sur téléphone mobile : les services de personnalisation des terminaux

En 1990, les acteurs des télécommunications mobiles étaient loin de voir les perspectives d'un marché des services mobiles, alors inexistant. Nous allons voir que ce marché résulte d'une importante avancée technique (2.1.1.) : la numérisation des réseaux et des terminaux mobiles. Puis les acteurs industriels doivent aussi s'approprier ce nouveau champ technique

(2.1.2.) ; or rares sont ceux qui saisissent immédiatement ces nouvelles opportunités. L'enjeu stratégique et concurrentiel (2.1.3.) est alors, pour ces précurseurs, de s'approprier et d'exploiter une technologie à la pérennité et à la rentabilité incertaine.

2.1.1. Le changement technologique : quand le téléphone mobile s'éveille au Monde numérique

Le tournant numérique va avoir lieu à partir de 1992, quand la Commission européenne finalise la norme GSM¹¹ en Europe. Cette impulsion des pouvoirs publics, encore impliqués dans la régulation du secteur, vient de la volonté de ne pas reconduire les nombreuses incom-

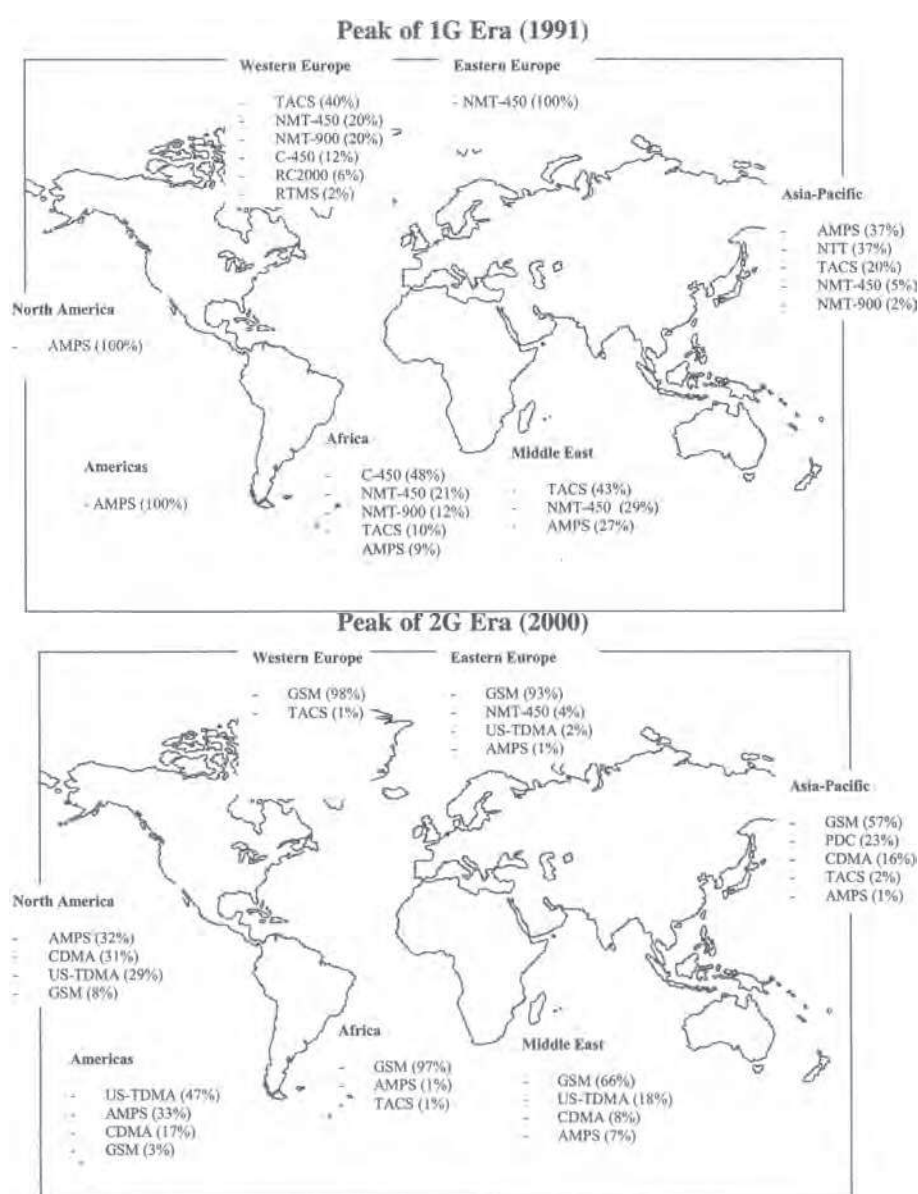


Illustration 4 : Les normes 1G et 2G et leur répartition géographique

(source : Steinbock [2003, p. 46-47])

patibilités présentes entre les réseaux mobiles analogiques : rien qu'en Europe, il coexistait six standards ramifiés en onze variantes en 1990 [Bekkers, 2001]. Un marché de téléphonie mobile européen numérique unifié apparaît et fait des émules, puisqu'en 1996, 103 pays l'avaient rejoint [Agar, 2003]. Ce phénomène n'est pas circonscrit à l'Europe, pour en avoir une idée, l'évolution des normes de téléphonie mobile et leurs parts de marché géographiques sont présentées par l'Illustration 4. Le réseau de téléphonie mobile n'est plus sujet à l'engorgement des fréquences comme à l'ère analogique et il se standardise internationalement. L'action conjointe des opérateurs de réseaux mobiles et des fabricants de terminaux mobiles dans ce cadre harmonisé se traduit par une baisse notable des couts qui, associée à la dérégulation, ouvre le marché à un nombre encore plus grand d'usagers [Poupée, 2003].

Les rendements croissants d'adoption sont à l'œuvre, et même les États-Unis vont finalement se rallier à cette norme en 2001. Auparavant, leur choix avait été de privilégier la compatibilité avec le réseau analogique en place. La FCC n'imposant pas de norme unique, deux normes non compatibles vont d'abord coexister. On les différencie sous le nom d'US-TDMA et CDMA¹² : la première, aussi connue sous le nom de Digital AMPS est issue de la norme 1G AMPS (les deux sont compatibles), et est adoptée en 1990, mais ne sera commercialisée qu'à partir de 1993 ; la seconde, développée à partir de 1989 par Qualcomm (équipementier de réseaux mobiles), est adoptée comme norme en 1994. Il en résulte une plus faible diffusion à la fois de la téléphonie et des normes numériques : en 1997, la téléphonie mobile n'a qu'un taux de pénétration de 20 % (en comparaison de 40-50% dans les pays scandinaves), sachant que 60 % de ces abonnements sont basés sur les normes analogiques [Edquist, 2003]. Le Japon ne suit pas, restant fidèle à la norme PDC, isolée des autres normes. De même pour la Corée du Sud, qui choisit la norme CDMA.

Il n'empêche que cette dynamique cherche avant tout à développer un marché de *téléphonie mobile*, pas un marché de *services mobiles*. Au milieu des années 1990, le compromis est essentiellement que les réseaux de données sont accessibles par ordinateur et que le téléphone sert à la voix. Dans cette mesure, le téléphone mobile s'est construit comme prolongement du téléphone fixe. Ils appartiennent au même *paradigme technologique* [Dosi, 1982] : l'univers des configurations et des innovations possibles du téléphone mobile est limité à l'univers conceptuel (« la vision du Monde ») développé pour le téléphone fixe. Il en découle un *dominant design* identique entre téléphonie fixe et téléphonie mobile. Pour ouvrir la voie à une in-

12 Selon que l'on assigne un Temps ou un Code spécifique aux différents usagers qui se partagent une même chaîne de fréquence : *Time Division Multiple Access* et *Code Division Multiple Access*.

industrie des services mobiles, de nouvelles potentialités doivent être envisagées pour le téléphone mobile, un nouveau paradigme doit émerger.

L'architecture numérique du réseau GSM va encourager ce changement, grâce à l'envoi du premier SMS, en 1993. Par conséquent, elle impulse le développement de terminaux capables de traiter des données, car le SMS permet de transporter de petits fichiers. C'est donc le premier et, pendant longtemps, le principal moyen d'accéder aux données sur un téléphone mobile, ce qui en fait le service mobile emblématique de la 2G¹³. La barre du milliard de SMS envoyés par jour est atteinte en 2002 [Steinbock, 2005]. Pourtant, ce mode de communication a connu une diffusion très différente selon les pays : la première utilisation commerciale remonte à 1995 et doit faire face à une très faible interopérabilité entre les opérateurs de réseaux mobiles, tout en se limitant à la fonction de messagerie. D'autant plus que les fabricants de terminaux mobiles aussi sont en monopoles nationaux ou régionaux, d'où un marché des terminaux très fragmenté [Musso, 2008]. Par exemple, sur le marché américain, les problèmes de compatibilité des SMS entre opérateurs ne seront résolus qu'en 2002 [Funk, 2004].

Le SMS va être un élément visible de la convergence des fonctionnalités qui s'opère entre téléphones et ordinateurs, nécessitant des innovations sur les appareils (écran, clavier, etc.). De manière plus discrète, la convergence va aussi se faire sur le fonctionnement interne des terminaux. Nous voyons apparaître des embryons d'applications mobiles (à minima : jeux, horloge, gestionnaire de fonds d'écrans, de sonneries, etc.) et de systèmes d'exploitation qui les font fonctionner en association avec une interface utilisateur. Encore une fois, les technologies numériques permettent la multiplication de nombreuses fonctionnalités de traitement des données numériques, sans affaiblir l'autonomie ou l'ergonomie de l'appareil. Ceci ouvre la voie à de nouveaux usages sur téléphone (lecteur MP3, tuner radio, appareil photo, etc.).

2.1.2. La structure industrielle : une poignée de précurseurs

Le laps de temps entre l'apparition de l'opportunité technologique et la création d'un tissu productif révèle le besoin d'une évolution conjointe des représentations dans l'ensemble de l'industrie de la téléphonie mobile. Funk [2007] parle d'une évolution des modèles mentaux (*mental models*). C'est ce qui explique pourquoi seuls de rares nouveaux entrants ont d'abord saisi ces opportunités. En effet, même si opérateurs de réseaux et fabricants de terminaux en

13 En effet, en s'en tenant aux technologies de réseau mobile de la 2G, le SMS est une technologie propre au réseau GSM, mais ses caractéristiques sont reprises par les réseaux concurrents du GSM : réseaux US-TDMA et CDMA sur le continent américain et PDC au Japon. Pour rappel, voir Encadré 1, supra.

arrivent à envisager l'introduction de services mobiles et la collaboration avec des producteurs de services mobiles, une offre de services doit être développée et intégrée sur les terminaux mobiles, tout en tenant compte de leur fragmentation technique.

Dans cette perspective, l'architecture technologique de la norme GSM se révèle particulièrement adaptée au développement de services mobiles. D'une part, les spécifications de la norme GSM, relatives au SMS, sont publiques. Le producteur de services mobiles peut donc les utiliser, à charge pour le fabricant de terminaux mobiles d'intégrer les applications nécessaires à la reconnaissance du SMS comme fichier de personnalisation de l'équipement. D'autre part, le réseau GSM couvre un large éventail de technologies numériques permettant de développer de nouveaux usages indépendants du service de téléphonie. Dans le cas précis du SMS, ce nouvel usage s'appuie sur le système de signalement prévu à l'origine pour envoyer des informations de l'opérateur vers l'utilisateur : signal d'appel, identification de l'appelant, durée de l'appel, etc. Cette flexibilité dans l'usage et la recombinaison des technologies renvoie plus largement à la *modularité*, largement facilitée dans le cas du GSM par l'architecture numérique. Grâce à l'indépendance entre les différents modules (ici, les différents signaux numériques échangés entre les terminaux des usagers), associée à leur interopérabilité, deux tendances sont observables pour les biens informationnels [Bourreau et al., 2007]. D'une part, au sein même de sa firme, le fabricant de terminaux mobiles peut introduire de nouveaux services sans avoir à redévelopper toute l'architecture logicielle de son équipement. Il bénéficie alors d'économies de variété et peut se livrer à une meilleure différenciation des produits, et donc des prix. D'autre part, des relations entre fabricants de terminaux mobiles et producteurs de services mobiles peuvent se nouer sur des éléments spécifiques.

Dans les faits, ces premières relations réunissent un acteur de chacune des trois branches, autour d'une expérience dépassant rarement les frontières nationales. Un embryon industriel existe, mais, du fait des contingences techniques et concurrentielles, les projets les plus aboutis furent le fait d'alliances sur de la R & D ou de projets entièrement pilotés en interne par les fabricants de terminaux mobiles. Particulièrement en Europe, où les fabricants de terminaux mobiles étaient indépendants quant aux choix des spécifications des terminaux [Baldi & Thaung, 2002]. En effet, le jeu d'interdépendance complexe entre les brevets à la base de la technologie GSM permet à un oligopole¹⁴ de dominer à la fois le marché des terminaux et celui de l'infrastructure [Bekkers et al., 2002]. L'ouverture technique du réseau mobile aux services de personnalisation (sonneries, fonds d'écran, jeux basiques) doit passer par eux. À l'op-

14 Ericsson, Siemens, Motorola, Nokia et Alcatel.

posé du puissant système technologique et industriel du GSM, la Corée du Sud se révèle un exemple intéressant. Le gouvernement, en organisant la coopération technologique et financière entre opérateurs de réseaux mobiles et fabricants de terminaux mobiles, offre un climat particulièrement innovant aux firmes locales qui ne peuvent participer au système GSM, faute de brevets à échanger. Il en ressort un développement rapide des services mobiles, ces services permettant aux différents opérateurs de réseaux mobiles du pays de se différencier sur un marché où règne une concurrence féroce [Yoo et al., 2005].

2.1.3. Les enjeux concurrentiels : le bricolage d'un marché

Il se trouve que le premier service commercial de vente de sonneries n'est lancé qu'en 1998, en Finlande, par V.-M. Paananen en association avec l'opérateur Radiolinja¹⁵ [Shalit, 2002]. Les acteurs doivent trouver et définir de nouveaux lieux de concurrence propres à ces nouvelles technologies. En effet, pour un marché de sonneries sur téléphone mobile (mais cela est généralisable à d'autres services), « *these element – content, phones, networks, servers, portals marketing and billing – form a system. If one is missing, the ringtone service won't exist. And the same applies to other services. So it's this ecosystem that's critical to generate value* » [Steinbock, 2005, p. 269]. Donc pour permettre aux usagers d'accéder à des services de personnalisation, l'enjeu industriel n'a pas été de créer un réseau de télécommunication, mais plutôt de créer un écosystème technique, commercial et concurrentiel pour ces services.

Ainsi, à l'espace technique, offert par l'architecture numérique, doit s'ajouter un espace commercial marchand étroitement lié à l'espace organisationnel. Au-delà de la simple rentabilité, les arrangements techniques, commerciaux et concurrentiels n'ont pas toujours abouti en avantages compétitifs viables. Même si le SMS offre une technologie bien intégrée à l'architecture des réseaux et terminaux GSM, assortie d'un système de facturation simple, la pérennité des services de personnalisation est questionnée du fait d'une mauvaise définition des droits. En effet, en 2001, la plupart des sites Internet proposant des sonneries ne payaient pas de royalties [ibid.]. Dès lors, nombre de fournisseurs de contenus n'ont pas su développer de modèles d'affaires à la fois rentables et respectueux des droits de propriété intellectuelle.

Il n'empêche que cette première phase de « bricolage » a permis d'encourager une dynamique technique autour de l'ajout de fonctionnalités sur la téléphonie mobile : apparition des écrans en couleur, amélioration des équipements (rendus audio, mémoire, microprocesseur,

¹⁵ Radiolinja est aussi le réseau sur lequel avait eu lieu le premier appel GSM. Notons toutefois que cet opérateur n'a été fondé qu'en 1988, il n'est pas l'opérateur historique de Finlande.

etc.) et des réseaux. De même, avec l'explosion du nombre d'abonnés et l'internationalisation de la concurrence au sein de la téléphonie mobile, la dynamique d'émergence des services mobiles – jusqu'alors relativement lente en comparaison avec la vivacité de cette industrie – s'accélère nettement. En particulier, alors qu'il est à l'origine une fonction accessoire de la norme GSM, le succès inattendu des SMS permet l'évolution de la mentalité des acteurs : le téléphone mobile peut aussi être un support pour des usages numériques grand public, pas seulement professionnels.

2.2. La généralisation des services sur téléphone mobile : les services en mobilité

Lors de la deuxième période (telle que définie par notre périodisation), la donne change radicalement. Au niveau du *dominant design* des téléphones mobiles (2.2.1.), en plus d'être un téléphone, le terminal devient un portail légitime vers des services numériques. Or cette reconnaissance des services mobiles se centre sur une modification de la structure industrielle (2.2.2.). D'une part, les opérateurs de réseaux mobiles vont s'impliquer dans le développement des services mobiles, jusqu'à devenir le point de coordination entre firmes et d'intermédiation vis-à-vis des usagers. D'autre part, les fabricants de terminaux mobiles voient leur importance se réduire et leur rôle se redéfinir au profit des industries culturelles et logicielles. Un espace concurrentiel apparaît entre les acteurs des médias et les acteurs historiques de la mobilité (2.2.3.), afin de pénétrer ce nouveau marché tout en maintenant leurs spécialisations et de développer une économie globale et diversifiée des services numériques. Le réseau d'utilisateurs étant déjà constitué, l'enjeu est d'améliorer la lisibilité des usages possibles.

2.2.1. Le changement technologique : le Téléphone devient un Terminal

Dans la plupart des esprits, la généralisation des services mobiles correspond à l'avènement de « l'Internet mobile », bien que ce concept nécessite une clarification. Comme pour Internet, les données numériques accessibles par téléphone mobile circulent sur le réseau téléphonique, mais contrairement à l'ordinateur, l'équipement mobile est beaucoup moins malléable pour l'utilisateur. C'est-à-dire qu'opérateurs de réseaux mobiles et fabricants de terminaux mobiles décident des fonctionnalités présentes sur l'équipement, aussi bien que des limites à l'intérieur desquelles les utilisateurs peuvent les faire évoluer. Les contenus accessibles par téléphone mobile sont limités par des questions de compatibilité logicielle, mais aussi physique via l'interface matérielle dont l'utilisateur dispose (clavier, écran...). Il faut donc passer par une

sorte de filtre qui va réduire les données disponibles sur Internet à un ensemble plus limité de données lisibles sur un terminal mobile. En effet, une fois le réseau numérique mis en place et l'ubiquité de l'équipement intégré dans les pratiques des utilisateurs, l'accessibilité à des contenus mobiles devient un problème et un moteur essentiel de l'innovation sur les réseaux et les équipements mobiles.

C'est pour cela que le WAP (Wireless Application Protocol) est lancé en 1998, à l'initiative d'acteurs européens de la téléphonie, réunis au sein du WAP Forum (intégré depuis dans l'Open Mobile Alliance¹⁶, OMA). Étant donné que ce protocole doit permettre d'accéder à Internet, de nombreuses similarités sont à noter entre le WAP et Internet. Ainsi, le WAP fonctionne avec un langage de programmation proche des principaux langages présents sur Internet¹⁷ et se consulte par un navigateur mobile¹⁸ permettant une présentation graphique et une navigation simplifiée. Ensuite, l'appareil mobile peut interagir avec le réseau Internet grâce à une passerelle qui lui donne accès au réseau IP¹⁹. Néanmoins, son succès reste relatif face, en particulier, à un système concurrent : l'i-mode. L'i-mode est lancé en 1999 par NTT DoCoMo, au Japon, qui est de loin le pays pionnier dans le développement de contenus et services mobiles. Son succès est rapide grâce à l'impulsion qu'il a donnée au développement des équipements (3D, écrans couleur, etc.) et à une architecture ouverte relativement stable et malléable. En 2002, nombre de ces avancées ont été reprises par le WAP Forum qui en devenant l'OMA a voulu intégrer les idées des concurrents et réactualiser le WAP selon les nouveaux standards de l'Internet. C'est le WAP 2.0 qui en sera la dernière évolution. De même, l'OMA a élargi les réflexions sur l'interopérabilité entre opérateurs et la stabilité des contenus en fonction des différents équipements. Le W3C (sorte de régulateur / normalisateur d'Internet) s'associe d'ailleurs à cette démarche à travers la « Mobile Web Initiative ». Les nouveaux usages qui en découlent légitiment le téléphone mobile dans son nouveau *dominant design*. Le téléphone mobile est désormais un *terminal* numérique mobile. Ainsi il s'agit d'adapter, sur les équipements mobiles, des contenus et services culturels, médiatiques et logiciels que nous trouvons sur nos ordinateurs.

16 Regroupement d'acteurs de la mobilité (fabricants de terminaux mobiles, opérateurs de réseaux mobiles, producteurs de services mobiles, etc.) dont la fonction est d'assurer l'interopérabilité entre les différents opérateurs et réseaux mobiles, de définir les services disponibles et de promouvoir le WAP.

17 Le WML (Wireless Markup Language), proche de l'HTML (Hypertext Markup Language) et du XML (Extensible Markup Language).

18 Browser ou microbrowser, à la manière d'Internet, ayant permis en leur temps l'émergence du World Wide Web.

19 Le réseau des équipements connectés à Internet.

Pays	Abonnés 3G (en millions)	Pénétration 3G (%)	Évolution sur 1 an	Pays	Abonnés 3G (en millions)	Pénétration 3G (%)	Évolution sur 1 an
USA	136,6	48	31	Pologne	15,4	35	27
Japon	106,3	96	12	Chine	14,5	2	941
Corée du Sud	38,8	80	15	Brésil	13,3	8	148
Italie	34,3	42	28	Taiwan	11,3	44	69
Royaume-Uni	29,5	38	34	Russie	9,6	5	51
Allemagne	26,5	26	30	Malaisie	7,9	26	32
Espagne	24,7	46	22	Canada	7,3	32	62
Indonésie	19,2	12	57	Arabie saoud.	7	17	55
France	18,8	32	32	Turquie	6,8	11	
Australie	16,7	65	21	Afrique du S.	6,7	14	33

Tableau 5 : Pénétration de la 3G sur ses 20 marchés principaux (2nd trim. 2010)

(source : Morgan Stanley [2010, p. 5])

Mais pour réaliser vraiment ce rapprochement, une autre évolution a eu lieu, le passage au haut débit (à l'image de l'ADSL sur les réseaux filaires) : c'est la troisième génération (3G). Cette transition correspond à un renouvellement profond des trajectoires technologiques [Bekkers et al., 2011] car, au côté de l'accélération du débit, le réseau doit être plus flexible pour faire face à une demande de débit beaucoup plus imprévisible. La 3G est finalisée aux alentours de 2001, au travers de deux normes principales, évolutions respectives des deux principales normes 2G antérieures. D'un côté, le W-CDMA – une évolution du GSM – est porté par le 3GPP²⁰. De l'autre, le cdma2000 est constitué dans la lignée du CDMA (principale technologie concurrente du GSM, pour rappel voir Illustration 4, supra, p. 39). La 3G nécessite une reconstruction intégrale du réseau de téléphonie mobile, son introduction passe donc par plusieurs étapes. Dans le cas des réseaux GSM, on assiste à la mise en place de normes réseaux intermédiaires entre la 2G et la 3G : GPRS et son amélioration EDGE, normes aussi portées par le 3GPP. Ces deux normes introduisent des augmentations incrémentales du débit mobile, ainsi que la connexion en continu. Très soutenu à partir de 1998, l'engouement pour la 3G se réduit à l'automne 2000 [Pénard, 2001]. Cette nouvelle technologie très contraignante en matière de coût et aux retombées financières incertaines n'a que difficilement attiré les opérateurs qui, *de facto*, pouvaient facilement se retrouver en situation de monopole. Pour Thorngren [2006], l'augmentation de débit des réseaux mobiles ne se traduisant pas par une hausse équivalente des revenus, l'incitation à construire de tels réseaux est faible, d'autant que la 3G est en concurrence avec d'autres technologies potentiellement moins coûteuses (comme

20 Organisation née de la collaboration d'organismes de standardisation, en particulier l'European Telecommunications Standards Institute (ETSI, organisme européen à l'origine de la norme GSM) et l'Association of Radio Industries and Businesses (ARIB, principal organisme japonais).

le Wifi). Donc même si les licences sont aujourd'hui attribuées, des discussions sont encore en cours sur l'évolution de ce réseau et des acteurs qui y participent. Ainsi, le Tableau 5 illustre la pénétration encore faible de la 3G sur les principaux marchés. D'autant que les niveaux actuels s'expliquent en grande partie par la croissance très rapide de la période récente, alors que ces réseaux sont en place dans certains pays depuis 2001.

2.2.2. La structure industrielle : les prémices d'un ménage à trois

Les succès contrastés dans l'adoption de ces technologies s'expliquent par la forte incertitude qui apparaît conformément à une évolution technologique de l'ensemble des couches du système mobile. Il en ressort une compétition complexe entre acteurs qu'il convient d'expliquer.

Du côté du réseau, la régulation des pouvoirs publics est encore relativement présente aux premières étapes de leur création. Ainsi, les premières recherches sur le W-CDMA vont être portées par l'Union européenne dès le début des années 1990, avant même la création d'offres commerciales pour le GSM [Bekkers et al., 2011]. Ensuite, les travaux de l'Union européenne sur cette norme sont repris au Japon, alors que les acteurs du GSM (en Europe) sont occupés à la construction du réseau GSM. Les autorités japonaises changent de stratégie, afin de ne pas reconduire l'isolement connu sous la 2G avec la norme PDC. Grâce à cette norme, elles espèrent associer un nombre plus large d'acteurs à leurs travaux sur la 3G afin d'augmenter les chances d'adoption comme norme internationale. L'idée, par ce biais, est de s'insérer dans le marché mondial et ainsi créer un levier pour les acteurs locaux (l'opérateur de réseaux mobiles DoCoMo, Sony et Matsushita pour les fabricants de terminaux mobiles) dans la compétition vis-à-vis des géants du GSM : Nokia et Ericsson [Radhika, 2003]. Cette stratégie est aussi suivie par la Corée du Sud, où, même en partant de la norme CDMA, les fabricants de terminaux mobiles locaux (Samsung et LG) parviennent à gagner suffisamment d'expérience sur leur marché pour conquérir des parts sur les marchés GSM et W-CDMA [Yoo et al., 2005]. Par contre, on peut voir dans le refus de la FCC de se positionner sur une norme unique de 3G (contrairement aux désirs des Européens), un soutien formel à l'initiative du 3GPP2, de proposer une alternative au W-CDMA [Glimstedt, 2001].

De leur côté, les services mobiles intéressent aussi bien les opérateurs de réseaux mobiles en augmentant la valeur ajoutée des abonnements, que les fabricants de terminaux mobiles par le renouvellement des terminaux, ou les producteurs de services mobiles par l'extension de leur nombre d'utilisateurs. Seulement, dans les services mobiles, l'intégration verticale est diffi-

cile, du fait du niveau élevé de technicité des différents sous-systèmes relatifs aux services mobiles, ainsi que des compétences qui en découlent [Rallet, 1995]. Ceci réduit les possibilités d'exploitation de l'ensemble du système au sein des frontières d'une seule firme. Dans cette seconde période, les précurseurs vont voir se remodeler les formes des réseaux/alliances entre des firmes spécialisées à la portée désormais internationale. Ainsi, pour Funk [2009b], l'existence d'une intégration verticale à l'échelle de l'industrie au Japon et Corée a permis la définition des standards de l'Internet mobile (en particulier l'i-mode), grâce à une coordination des spécifications technologiques acceptées par l'ensemble des acteurs (en particulier les fabricants de terminaux). En Europe, le WAP devait faire face à une grande disparité technologique et industrielle. Du fait de son étendue, le marché GSM – auquel s'adossait le WAP – comprenait une grande variété de terminaux mobiles. La construction d'une technologie compatible ne pouvait alors qu'opérer sur les plus petits dénominateurs communs de ces terminaux. Alors que le WAP devait s'adapter à une variété de terminaux, les terminaux devaient s'adapter à l'i-mode. Dès lors, pour la résolution des problèmes de l'Internet mobile, l'approche doit être intégrée et non modulaire, dans la mesure où l'Internet mobile doit mobiliser de nombreuses ressources physiques et logicielles des terminaux, s'il cherche à fournir des usages plus variés, ergonomiques et esthétiques que le WAP. En particulier, il faut pouvoir intégrer les évolutions des nombreux composants de ce nouveau système. Le retour à une approche modulaire n'est possible qu'après l'apparition d'un *dominant design*. Nous retrouvons l'idée de Brusoni et al. [2001], selon laquelle l'intégration système n'est possible comparative-ment à l'intégration verticale que lorsque les interactions entre les différents composants sont bien connues.

Concrètement, les promoteurs de l'i-mode accordent une place importante aux producteurs de services mobiles. Par là même, c'est un système complet d'offre et d'accès aux contenus, développé avec l'aide de 4000 firmes intervenant dans les contenus mobiles (développeurs, distributeurs, agrégateurs, etc.). Cela se traduit par l'existence de 12 000 sites officiels et 100 000 sites non officiels créés spécifiquement pour l'i-mode. De son côté, le WAP reste très orienté vers les acteurs traditionnels des télécommunications, qui présagent un avenir surtout pour les services mobiles dédiés aux professionnels. Donc le WAP consiste seulement à un système de navigation qui, malgré l'importante avancée technique pour le transport de données, n'a pas donné lieu à un service intelligible commercialement [Steinbock, 2005]. Pour autant, nous observons la multiplication de plateformes (ou « portails »), principalement portées par les opérateurs de réseaux mobiles : l'i-mode de NTT DoCoMo, Live ! de Vodafone, Get It Now de Verizon Wireless, etc. L'outil mobile est en effet trop limité pour la recherche

et le traitement de l'information, l'utilisateur est incité à se reporter sur des services d'*infomédiation* [Brousseau & Curien, 2001]. Il faut présélectionner, documenter et agréger les services si l'on veut que le marché fonctionne. Les opérateurs de réseaux mobiles ont un rôle important à jouer grâce à leur capacité à mettre en avant et à tirer profit des services mobiles, liée à une proximité avantageuse envers les usagers : possibilité de facturer des micropaiements, base installée de clients connus, image de marque, information sur la localisation des usages, réseau de succursales et infrastructure du réseau elle-même [Steinbock, 2005].

En parallèle, le début des années 2000 voit s'estomper les relations nationales entre opérateurs historiques et fabricants de terminaux mobiles. Dès lors, à la prolifération des gammes, nous pouvons ajouter une prolifération des marques due aux nouvelles relations entre des oligopoles mondiaux issus de vagues de concentration [Musso, 2008; Lipartito, 2011]. Cette dynamique fut d'abord néfaste au niveau de l'offre (augmentation des coûts de portabilité, limitation des économies d'échelle et de variété) et de la demande (limitation des effets de réseau, réduction de la diversité de services compatibles avec un terminal et augmentation du risque de créer des laissés pour compte en cas d'abandon d'une technologie). Mais une inversion du rapport de force entre fabricants de terminaux mobiles et producteurs de services mobiles – au profit de ces derniers – s'opère. En effet, il y a « *singularité de l'économie des industries culturelles : la tempérance de l'aléa de production par la maîtrise de la distribution* » [Chantepie, 2004, p. 9], ce qui se généralise à l'ensemble des biens informationnels [Shapiro & Varian, 1999]. Or, les canaux de distribution offerts aux producteurs de services mobiles sont suffisamment nombreux pour leur permettre de contourner les fabricants de terminaux mobiles : applications encastées sur le terminal, partenariat avec un développeur d'OS, distribution/agrégation sur des sites internet, vente liée (par ex. des sonneries vendues avec un CD), réseau de distribution réel (magasins), portails mobiles (WAP ou Java), etc. [Jaokar & Fish, 2006]. Les producteurs de services mobiles peuvent donc concurrencer les services développés par les opérateurs de réseaux mobiles ou les fabricants de terminaux mobiles, d'autant mieux que les plus matures d'entre eux (Microsoft, Sun, Disney, Murdoch, etc.) sont rompus aux stratégies globales. Une illustration de cette tendance est présentée dans l'Encadré 2.

2.2.3. Les enjeux concurrentiels : l'abolition des frontières nationales et techniques

Partant de ces constats, il convient d'opérer une clarification sur la diversité des services mobiles disponibles. À cette période, les services de personnalisation des terminaux restent

très populaires. Les terminaux évoluant, leur personnalisation gagne en possibilités. Pour autant, l'utilisateur ne connaissant pas la stratégie d'intégration connexe à l'offre qu'il a choisie, son point de vue va plutôt être celui d'une position sur un continuum ouvert / fermé. Si la personnalisation est fermée, l'utilisateur n'accède qu'à des contenus propriétaires, correspondants aux spécifications du fabricant de terminaux mobiles (potentiellement influencées par des partenaires opérateurs de réseaux mobiles ou producteurs de services mobiles). À l'opposé, la personnalisation sera de plus en plus ouverte, selon :

- la possibilité pour l'utilisateur d'accéder à ses propres contenus de personnalisation (par le biais d'un appareil photo intégré, de logiciel de création, etc.) ;
- le niveau de compatibilité logicielle, c'est-à-dire si le système d'exploitation ou les services embarqués du terminal mobile sont compatibles avec un nombre important de formats de contenus (codecs audio, vidéo, formats d'image, etc.) ;
- le niveau de compatibilité du terminal avec des réseaux mobiles (2G, 3G, Internet mobile, etc.) ou physiques (connexions filaires, infrarouges, etc.) avec d'autres équipements numériques (terminal mobile, ordinateur, autoradio, etc.).

Cette distinction ouvert / fermé est aussi valable pour les services transposés à partir d'Internet. En revanche, ces services sont beaucoup plus divers, puisqu'ils correspondent à l'ensemble des contenus et services culturels, médiatiques et logiciels que l'on peut trouver dans l'univers numérique fixe. Pour les analyser, nous allons distinguer deux catégories principales pour ces services : (i) les flux informationnels unilatéraux (les « contenus ») qui nécessitent peu d'adaptations pour une transposition mobile et (ii) les services interactifs qui nécessitent des adaptations au moins sur les aspects graphiques, au plus sur l'interactivité afin d'être lisibles et utilisables. Concrètement, les premiers renvoient aux flux informationnels diffusés en temps réel (news, météo, etc.) et aux contenus culturels et de loisirs (musique, vidéo, TV, etc.). Les seconds comprennent les services interactifs, qu'ils soient communautaires (email, messagerie instantanée, réseaux sociaux, etc.), d'information (plans, calendriers, horaires, etc.), d'achat ou de réservation (m-commerce²¹, réservations, etc.) et, donc, toutes autres formes de logiciels (jeux vidéo, bureautique, création, etc.).

21 Commerce mobile, par analogie au e-commerce.

Encadré 2 : Symbian et Windows CE, la démocratisation des Smartphones

Suite au succès de l'i-mode, la nature même du téléphone mobile évolue : il devient un terminal numérique multifonction, accessible à un large public, encourageant la démocratisation des Smartphones. Or ces Smartphones vont cristalliser la convergence entre deux univers : l'informatique et les télécommunications. Ainsi, d'un côté, pour les firmes liées aux technologies de l'information, guidées par Microsoft, le téléphone mobile n'est qu'une nouvelle boîte pour leurs produits. L'intégration doit donc être horizontale pour offrir des services « Anytime, anywhere ». De l'autre, pour les firmes traditionnelles des télécommunications, symbolisées par Nokia, les fabricants de terminaux doivent réguler toute la chaîne (intégration verticale), car l'univers mobile est bien plus complexe que celui du PC. L'objectif étant d'offrir des services « Here, now ».

L'illustration concrète donnée par Microsoft est celle du système d'exploitation pour terminaux portables, Windows CE. Microsoft est déjà active sur les terminaux portables non communicants au travers des Pocket PC, c'est pourquoi elle tente, à partir de 1998, d'imposer sa plateforme dans l'univers mobile. La stratégie est bien entendu horizontale (au niveau de la couche « service final »), puisqu'au-delà de ses capacités financières, Microsoft dispose d'une très grande base installée d'utilisateurs dans l'univers fixe et plus important, d'une communauté de 640.000 développeurs, auxquels il fournit, en 2001, le code source de son sys-

tème d'exploitation.

Seulement, Microsoft souffre d'une mauvaise image sur sa façon de mener des collaborations industrielles, la faisant peiner à développer des alliances avec des firmes qui pourraient lui apporter les compétences propres à la mobilité. À cela s'ajoute la stratégie de Nokia, qui vise à créer une coalition pour freiner l'expansion de Microsoft. Sa vision est simple : Nokia a surtout un avantage en ce qui concerne le design des téléphones et d'image de marque, donc offrir un système d'exploitation ouvert lui permet d'affaiblir les concurrents qui misent tout sur la technologie. Cela va passer par le système d'exploitation pour mobile Symbian. Celui-ci est issu d'une trajectoire ancienne des PDA, la plateforme EPOC (système d'exploitation des Psion), détenue par Ericsson, Nokia, Motorola. Cette plateforme est un exemple de coordination partielle, grâce aux licences croisées, en particulier entre Nokia et Palm (le principal concurrent). La stratégie de standardisation va être renforcée par la création de l'Open Mobile Architecture Initiative (OAI qui donnera naissance à l'OMA en 2002, en s'associant au WAP Forum), dans lesquels Nokia joue un rôle de leader.

Très clairement, cela lui a permis de concurrencer les leaders japonais et américains, puisqu'en 2009, Symbian est le système d'exploitation de la moitié des Smartphones (face à Apple, Microsoft et RIM pour les principaux), mais son leadership va progressivement s'étioler.

L'orientation pour les acteurs entre un positionnement ouvert ou fermé peut alors être motivée par les effets de réseaux. Différentes stratégies sont à envisager selon le type de service offert [Economides, 1996, p. 678]. Il est important de mobiliser une masse critique d'utilisateurs pour les *services interactifs* afin d'initier un effet d'entraînement [Liebowitz & Margolis, 1994]. Ces services, lorsqu'ils sont issus de l'Internet fixe, ont presque atteint cet objectif avant même leur transposition aux réseaux mobiles (par exemple les messageries instantanées ou les sites de réseaux sociaux). Pour les *flux informationnels*, l'externalité de réseau à générer est indirecte : la masse des utilisateurs incite le producteur à améliorer la qualité/diversité des contenus diffusés. Néanmoins, il faut tenir compte aussi des services non universels : dans certains cas – où le service relève de régions spécifiques, de niches ou de clubs – l'externalité de réseau n'est pas basée sur un usage massif [Briscoe et al., 2006]. Les utilisateurs gagnent plus en utilité si le service est exclusif ou donne accès à des communautés d'utilisateurs spécifiques.

Pour autant, une stratégie basée sur les effets de réseau peut se retrouver en compétition avec la stratégie de l'opérateur de réseaux mobiles. Ce qui compte plus que l'ampleur de l'offre de service, c'est la simplicité d'accès : le portail qui fonctionnera le mieux sera le pre-

mier auquel on accède, donc celui de l'opérateur de réseaux mobiles [Noam, 2006]. On est dans une logique de *walled gardens* (de « prés carrés »). En fournissant des portails vers les services mobiles, les opérateurs de réseaux induisent une opposition entre deux types de modèles d'affaires : leur modèle consistant à assembler des contenus à haute valeur ajoutée et celui des fournisseurs de service cherchant à développer l'accès à un nombre toujours plus grand de leurs services [Brousseau & Pénard, 2007]. Les relations opérateurs de réseaux mobiles/producteurs de services mobiles sont alors fortement conflictuelles, ce qui rend la dynamique instable.

D'autant plus que l'intérêt porté par les opérateurs de réseaux envers les détenteurs de droits sur les contenus mobiles est aussi à relativiser par l'idée que « *content is not king* » [Odlyzko, 2001]. En effet, la distribution de contenu reste un revenu secondaire pour les opérateurs de réseau, ils ne sont que partenaires d'une vitrine sécurisée pour les contenus culturels. Le partage de la valeur se situe entre deux extrêmes selon la perspective que l'on a : par le réseau ou par le contenu. Ainsi, avec le WAP, l'élément central était le réseau (pilote par les opérateurs), mais avec l'i-mode et l'arrivée en force des fournisseurs de contenus, la relation a tourné à l'avantage du contenu [Maitland, 2006]. Dès lors, de nouveaux systèmes de facturation doivent être trouvés. Par exemple, l'i-mode a séduit du fait d'une facturation au volume (nombre de paquets transmis) et non à la durée. Dans cette optique, Pénard [2001] explique les difficultés de l'émergence de la 3G par les doutes existants quant à la possibilité de maintenir, avec la 3G, le modèle de subvention d'accès existant sur le GSM : subvention d'accès (abonnements attractifs) financée par l'usage (communications), en particulier par les appels depuis des lignes fixes.

Or, les investissements liés à la création de contenus sont complémentaires aux investissements liés au développement des infrastructures. En effet, la distribution sur les réseaux de contenus numériques augmente l'utilité de ces réseaux grâce à un transfert de valeur, c'est-à-dire une capture de la capacité à payer, des contenus vers les réseaux [CERNA, 2004]. Ces stratégies concurrentielles, parfois contradictoires, empêchent la détermination de standards et de dominations uniques au sein d'une dynamique stable et linéaire. D'une part, l'innovation modifie les structures de coût et les avantages technologiques [Varian, 2004]. D'autre part, elle remet en cause les alliances entre fabricants de terminaux et fournisseurs de services en induisant un va-et-vient entre fragmentation et intégration selon le cycle technologique propre à chacune de ces industries (réseaux et services / contenus) [van den Ende, 2003; Gille, 2007].

2.3. Connecting people ? : les services de mobilité

Aujourd'hui, l'univers des contenus et services mobiles est à la fois caractérisé par des monopoles stabilisés, par de nombreux conflits sur des monopoles en devenir, mais aussi par des espaces de concurrence durable. Hormis quelques exceptions notables comme les pays asiatiques, cette phase est encore relativement peu avancée dans la plupart des pays développés. Nous verrons que l'évolution technique conduit de nouveau à modifier la manière dont on doit appréhender le terminal mobile (2.3.1.). Cela nous conduit à noter plusieurs faits marquants sur l'évolution des firmes présentes dans cette industrie (2.3.2.), avec comme point focal un recentrage des problématiques concurrentielles autour des usages et des usagers (2.3.3.).

2.3.1. Le changement technologique : le terminal comme central

À la troisième période, l'outil mobile n'est plus uniquement un prolongement/transposition de l'ordinateur. Au contraire, l'ordinateur peut tendre à être l'appui passif du téléphone mobile. C'est l'idée des « trois écrans » : le mobile va nous permettre de capturer notre « inspiration » à tous moments (agenda personnel, idées, photos, etc.), l'ordinateur va nous permettre de configurer, éditer et stocker tout cela et le téléviseur va nous permettre de visualiser [Jaokar & Fish, 2006]. Or cette perméabilité entre équipements passe par une nouvelle vague d'évolutions technologiques, afin de permettre aux usagers de fluidifier la réorganisation des différents services numériques autour d'usages personnalisés. Du côté des réseaux, il s'agit d'interconnecter l'ensemble des réseaux nécessaires aux usages mobiles, jusqu'alors caractérisés par trois formes d'hétérogénéité [Akyildiz et al., 2004] : les technologies d'accès, les architectures / protocoles de réseau et les types de services demandés. La solution choisie pour y parvenir par le 3GPP et 3GPP2 est de créer un système de réseaux sans fil entièrement basé sur IP. L'intérêt est de pouvoir échanger des données entre des équipements très différents sur un réseau unique, chaque équipement ayant une identification (adresse IP) unique. De la communication personne à personne, nous passons à une communication machine à machine. Une des applications les plus importantes dans l'univers mobile est l'IP Multimedia Subsystem (IMS) dont la fonction est de fournir un cadre commun à la transposition des services Internet sur téléphone mobile²². Ainsi au côté des 3GPP et 3GPP2, nous retrouvons l'OMA (cf. p. 45) et l'Internet Engineering Task Force (IETF). Ce dernier et le W3C forment les organes de

22 Pour une description détaillée, voir Camarillo & Garcia-Martin [2008].

standardisation d'Internet. Nous assistons donc à une nouvelle étape dans la construction conjointe des standards de l'univers numérique, associant un panel toujours plus large d'acteurs.

Du côté des terminaux, l'individualisation repose sur une nette amélioration des capacités des terminaux, au travers d'un nouveau *dominant design* beaucoup plus flexible et, en cela, plus proche d'un ordinateur axé vers la mobilité. Dans la logique d'une architecture IP, le terminal doit gérer un degré plus important d'opérations réseau (transfert de l'infrastructure du réseau vers le terminal) ; ces améliorations ayant aussi un impact certain sur les usages. Cela rapproche les terminaux des ordinateurs ultraportables permettant une plus grande diversité des usages. Le terminal est lui-même une plateforme. D'où cette notion de *services de mobilité* : alors qu'auparavant, les services n'étaient que des transpositions dans l'univers mobile de services existants sur les ordinateurs (on mettait artificiellement des services « en mobilité ») ; de nouveaux services sont désormais développés pour tenir compte du caractère nomade de leur usage. Dans cette nouvelle dynamique, l'utilisateur est lui-même capable de créer de la valeur en assemblant des fonctionnalités. Également, les usages évoluent grâce à la géolocalisation (ou LBS pour *Location-Based Services*) autonome du terminal par rapport aux antennes-relais ou au réseau local utilisé. Cela peut aider l'utilisateur dans ces déplacements, tout en lui apportant certaines informations commerciales, culturelles sur les endroits où il se déplace. Les possibilités sont très variées. Ce système est très prisé en Asie, où il a permis le développement de jeux en réseaux où les déplacements réels des utilisateurs sont pris en compte afin de réaliser les déplacements dans le jeu (location-based games).

2.3.2. La structure industrielle : la remise en cause des spécialisations

Il en résulte une réorganisation de la concurrence : avec l'internationalisation et l'accroissement du marché, l'opérateur historique de réseaux mobiles doit faire face à une concurrence accrue. Même si les réseaux mobiles sont détenus par un oligopole, de nouveaux opérateurs de réseaux mobiles apparaissent aux États-Unis et en Europe. Ce sont les MVNO²³ qui vendent des services voix et données en louant l'accès au réseau d'autres opérateurs de réseaux mobiles. Un MVNO ne peut pas rémunérer un producteur de services mobiles aussi bien que le ferait le détenteur du réseau. Par contre, ils élargissent les canaux de distribution pour les producteurs de services mobiles, ceux-ci pouvant même créer leur propre MVNO,

23 Acronyme de Mobile Virtual Network Operator, par opposition aux opérateurs propriétaires du réseau qualifiés de Mobile Network Operator (MNO, traduit par opérateur de réseaux mobiles).

comme Universal Mobile ou M6 Mobile en France. Associés à l'évolution technique des terminaux qui permet de contourner les portails des opérateurs de réseaux mobiles, les *walled gardens* ne sont plus une stratégie valable [Jaokar & Fish, 2006; IDATE, 2008]. Les stratégies des opérateurs doivent alors évoluer. L'enjeu est de passer d'une stratégie de maximisation des revenus liés à l'usage du réseau (mesurée par l'ARPU, pour *Average Revenue Per User*) à une stratégie qui tiendrait compte de l'ensemble des revenus générés par les services mobiles selon l'idée que les revenus ne viennent pas uniquement de la facturation de l'échange de données (achat du service, abonnement au service, produits liés, etc.). Ces revenus étant partagés entre de plus en plus d'acteurs, donc il faut tenir compte de la rentabilité réelle pour l'acteur concerné que l'on mesurera par l'AMPU (pour *Average Margin Per User*) [JuniperResearch, 2007].

De même, les fabricants de terminaux mobiles subissent une concurrence dans leur domaine par une grande variété d'acteurs. Google avec le projet Android et Apple avec l'iPhone sont les plus médiatisés, or nombre d'acteurs de l'électronique, qui n'étaient jusqu'alors que des équipementiers invisibles mettent aussi sur le marché leurs propres modules voire des terminaux, en bénéficiant d'une image de marque grandissante auprès d'usagers de mieux en mieux informés sur la diversité des technologies finales disponibles. Il en ressort une coexistence de deux structures industrielles fournissant des terminaux et services mobiles (cf. Tableau 6, p. 56), dans la mesure où le changement technologique est relativement irrégulier :

- une structure verticalement intégrée (cadran IV) : c'est la stratégie adoptée par Apple (l'iPhone) et RIM (le BlackBerry). L'idée est d'offrir une architecture entièrement verrouillée sur les aspects à forte valeur ajoutée (streaming, Internet, etc.) ne laissant une certaine liberté qu'à la marge (sonneries, fonds d'écrans, etc.). Les relations avec les autres acteurs sont donc très codifiées à travers des systèmes d'exclusivité. L'innovation est maintenue grâce à une masse d'utilisateurs très importante qui offre à ces équipementiers une certaine autonomie. Cela est d'autant plus fort pour Apple, qui s'appuie sur un système de produits compatibles relativement diversifiés (ordinateurs, iPod, iPad et les logiciels connexes).
- une structure de réseau faiblement couplé (cadran III) : l'exemple phare est Google qui – grâce à l'architecture ouverte (open source) d'Android – permet aux acteurs de second rang ou aux nouveaux entrants de pénétrer ce marché. Ainsi, les fabricants de terminaux mobiles qui n'ont pas les moyens d'être à la pointe des nombreuses technologies numériques présentes sur ce marché bénéficient de ressources externes sur des besoins techniques spécifiques. Certains fabricants de terminaux mobiles pourront par exemple installer différentes

plateformes logicielles sur leurs terminaux selon le niveau de gamme ou de fonctionnalités de l'appareil.

Pour autant, les opérateurs de réseaux mobiles ont toujours un rôle d'arbitre sur l'industrie dans son ensemble. La forte proportion de vente liée d'abonnement et de terminaux en fait des interlocuteurs privilégiés des fabricants de terminaux mobiles, d'autant que le prix des terminaux ne connaît qu'une baisse relative due à leur forte évolution technologique. Le lien est aussi notable avec les producteurs de services mobiles, puisque le fabricant de terminaux mobiles peut s'occuper de la facturation du service en lui-même.

Interdépendances (niveau du produit)			
Rythme du changement technologique (niveau des composants)			
	Prévisible	Imprévisible	
	Régulier	I - <i>Découplage</i> Spécialisation Pas d'intégration Coordination par les mécanismes de marché	II – <i>Couplage faible</i> Spécialisation Intégration Coordination par l'intégration-système
	Irrégulier	III - <i>Système couplage faible</i> Spécialisation Intégration Coordination par l'intégration-système	IV – <i>Couplage fort</i> Pas de spécialisation Intégration Coordination par l'intégration verticale

Tableau 6: Déterminants du couplage organisationnel

Source : traduction d'après Brusoni et al. [2001, p. 611].

2.3.3. Les enjeux concurrentiels : la remise en cause des modèles d'affaires

Suite à ces avancées techniques, les opérateurs de réseaux mobiles ne peuvent plus avoir un modèle viable uniquement fondé sur la quantité de temps passé à téléphoner. L'augmentation de la vitesse ne se traduisant pas automatiquement par une augmentation des revenus, il faut désormais discriminer les usagers et multiplier les canaux de vente [Thorngren, 2006]. Ainsi, pour Benkler [2006], il faut faciliter l'expansion de contenus personnalisés créés par les usagers ou de services de communications entre les usagers ; contenus qui ne rapportent pas de droits d'auteurs, mais augmentent la valeur de l'accès au réseau. Cela remet en cause le poids des producteurs de services mobiles : c'est la différence entre un modèle d'affaires s'intéressant à un consommateur (« *content is king* ») et un modèle basé sur l'utilisateur (« *content is not king* »). C'est le passage d'une logique de diffusion de services à une logique de personnalisation/agrégation de services.

Ainsi, pour [Brousseau & Pénard, 2007, p. 107], l'idée sous-jacente aux stratégies et modèles d'affaires est que « *there is no optimal model but models that result in the best practical compromise between the specific nature of the assembled goods, the disparity and nature of users' preferences, production constraints faced by the function provider (level of costs, share of fixed costs in total costs, etc.), and the structure of competition between platforms* ». Donc concrètement, chaque type d'usage renvoie à des formes propres d'organisation industrielle et ne bénéficie pas nécessairement à tous les acteurs. Nous pouvons illustrer par l'opposition des modèles d'Apple avec l'iPhone et de Google avec Android.

Tout d'abord, ces deux firmes bénéficient de l'évolution des terminaux mobiles : en raison de la convergence technique des équipements électroniques, les terminaux mobiles deviennent l'assemblage de composants génériques développés par les grandes firmes de l'électronique (processeurs, mémoire, batteries, etc.). Il en ressort une place grandissante de ces dernières dans la dynamique d'innovation. Par ailleurs en banalisant les technologies propres aux terminaux, il est devenu de plus en plus aisé pour certaines firmes de l'électronique de développer leurs propres architectures de terminaux, agissant dès lors aussi bien sur les marchés intermédiaires des composants que sur le marché final des terminaux, au détriment des acteurs historiques comme Nokia. Les « prés carrés » s'en trouvent encore une fois réduits. Pour autant, de nombreux conflits liés aux droits de propriété intellectuelle sont initiés afin de maintenir ces avantages (cf. Illustration 2, p. 33).

Ensuite, le développement de contenus protégés s'oppose à la dynamique des effets de réseau [Jaokar & Fish, 2006] : pour lancer des effets de réseau, il faut encourager les flux de contenus libres (comme ceux créés par les utilisateurs), alors que l'industrie des médias n'a aucun intérêt à encourager ces flux gratuits. Ainsi, West & Mace [2010] expliquent le succès de l'iPhone par la présence d'un navigateur parfaitement intégré, offrant donc une réelle expérience d'Internet mobile. Cette volonté d'améliorer l'accessibilité aux contenus est au centre des stratégies d'agrégateurs de contenus et de technologies que sont Apple et Google. Néanmoins, sa mise en oeuvre repose sur deux philosophies différentes. Effectivement, malgré son échec dans le lancement d'un PDA en 1993 (le Newton), Apple va s'appuyer en 2007 sur le succès de son iPod pour commercialiser l'iPhone, un terminal téléphonique associé à un système d'exploitation et à un ensemble de services mobiles. Avec l'iPhone, elle propose un système propriétaire, mais facile d'accès pour des développeurs tiers qui n'ont que 99 \$ à déboursier pour proposer des services sur ce système. Cette stratégie a été payante, puisque l'App Store – le site Internet qui centralise les services ainsi développés – compte 50 millions d'utilisateurs, 85 000 applications, soit 2 milliards de téléchargements (en 2009). C'est bien une plate-

forme technologique, car contrairement à un marchand, Apple ne coordonne pas les stratégies de prix entre applications complémentaires, ce qui dénote une forte asymétrie d'information sur la qualité des services [Hagiu, 2007]. Le bémol est donc que les faibles barrières à l'entrée sur cette plateforme ne signifient pas pour autant du profit pour les développeurs tiers. L'objectif est de développer les synergies de son propre écosystème (iTunes, iPod, iPad...), au détriment parfois des opérateurs de réseau mobile et des fournisseurs de contenus devant se plier aux exigences d'Apple. Google suit la même logique, par le biais d'une architecture libre. En effet, en faisant don de la plateforme Android (un système d'exploitation associé à des services mobiles) à l'Open Handset Alliance en 2007, Google permet à des fabricants de terminaux d'économiser d'importants coûts de développement pour le système d'exploitation de leurs terminaux. Néanmoins, Google y trouve tout son intérêt, à plus long terme, en étendant l'usage de ses applications (GMail, GoogleMaps, ...), dans le but d'asseoir son modèle économique basé sur la publicité en ligne.

Conclusion du Chapitre 1

L'évolution des modèles économiques liés aux services mobiles laisse en suspens la fin de l'histoire de l'émergence des services mobiles. En effet, la dynamique de cette industrie devient difficile à isoler d'une dynamique plus large correspondant à l'univers numérique dans son ensemble. Par exemple, les réseaux mobiles de 4e génération qui se mettent progressivement en place au moment de la rédaction de ce chapitre ont pour vocation de ne plus différencier les différents terminaux qui s'y connectent. Ils suppriment ainsi la frontière qui existait jusqu'alors entre téléphonie et Internet grâce à un réseau entièrement basé sur les protocoles Internet, quel qu'en soit l'usage. Le corolaire est donc que les services eux-mêmes doivent être conçus dès le départ aussi bien pour un usage sédentaire que pour un usage mobile. De tels éléments, s'ils sont confortés par les usages, marqueraient un aboutissement réel à cette dynamique d'émergence.

Par notre analyse historique de la dynamique d'émergence des services mobiles, nous avons cherché à éclairer les étapes fondamentales de cette émergence au travers du changement technologique, de la structure industrielle et des enjeux concurrentiels. L'évolution du panier de services et du jeu d'acteurs qui en découle marque fondamentalement les trajectoires de cette industrie. Par conséquent, cet éclairage peut servir de base à l'avenir pour poursuivre l'analyse de l'évolution de cette industrie. Mais dans l'immédiat, un tel agenda relevant surtout de suppositions et de prospectives, il s'agit maintenant pour nous d'approfondir l'analyse des interrelations entre technologies et structure industrielle. Ainsi, dans le chapitre suivant, nous allons nous intéresser aux projets visant à développer un pilier essentiel des services mobiles : les systèmes d'exploitation pour smartphones.

– Chapitre 2 –

L'émergence de plateformes logicielles pour les services mobiles

Table des matières du chapitre 2

– Chapitre 2 – L'émergence de plateformes logicielles pour les services mobiles.....	61
Introduction du Chapitre 2.....	63
1. Des services mobiles aux plateformes mobiles.....	65
1.1. Une approche systémique par les plateformes.....	65
1.2. Les tenants de la construction collective des plateformes mobiles.....	69
1.2.1. La question de la compatibilité.....	70
1.2.2. La structuration des relations industrielles.....	72
1.2.3. Vers une stratégie d'open innovation ?.....	75
2. The strategic trade-offs for beneficial open innovation: the case of “open source” consortia in mobile OS development.....	79
2.1. A conceptual framework.....	81
2.1.1. The mobile OS market competition.....	81
2.1.2. How to pin down open innovation?.....	83
2.1.3. The standards settings as a proxy of organizational coherence.....	85
2.2. The consortia: open innovation in progress?.....	88
2.2.1. The consortia: from philosophy to practice.....	88
2.2.2. An undecided involvement on vertical cooperation within platforms.....	90
2.3. Discussion: towards horizontal cooperation between platforms?.....	93
2.4. Summary, limitations and future research.....	96
Conclusion du Chapitre 2.....	98

Introduction du Chapitre 2

La dynamique industrielle relative à l'émergence des services mobiles se traduit, du point de vue de ses acteurs, par un éventail de décisions stratégiques relatives aux opportunités technologiques et à l'organisation du processus d'innovation. Par la mise en avant de faits stylisés et d'enjeux clés, nous avons proposé, dans le chapitre précédent, une périodisation de l'évolution de ces décisions au cours de l'émergence de l'industrie des services mobiles. À l'origine limité à des technologies visant à personnaliser les terminaux et à la formation d'alliances restreintes, l'éventail des décisions s'accroît notablement à cause de la convergence numérique et à cause de l'internationalisation des relations entre acteurs industriels aux origines sectorielles plus variées. Dans ce chapitre, nous allons aborder en détail un exemple précis d'innovation relative aux services mobiles : les projets de développement de systèmes d'exploitation pour smartphones.

Cet exemple semble particulièrement pertinent pour notre analyse de la dynamique de changement technologique et organisationnel propre à l'émergence des services mobiles. Ces projets existent sur l'ensemble des périodes présentées dans le chapitre précédent. En effet, l'apparition des smartphones – en combinant les caractéristiques d'un téléphone mobile avec celles d'un *assistant numérique personnel* (*Personal Digital Assistant*, PDA) – est étroitement associée à la numérisation complète des réseaux mobiles (évolution technologique qui marque le début de notre périodisation). D'un point de vue prospectif, nous partageons également l'idée que les smartphones sont la future norme de la téléphonie mobile et le support physique le plus commun pour les services mobiles²⁴. Plus près de notre travail de recherche, les systèmes d'exploitation pour smartphones sont un exemple majeur de coordination entre les différents acteurs de l'industrie des services mobiles (opérateurs de réseaux mobiles, fabricants de terminaux et fournisseurs de services mobiles).

Dans la première section de ce chapitre (1.), nous développons cette idée en deux temps. Dans un premier temps (1.1.), nous posons les bases d'une approche systémique où les systèmes d'exploitation mobiles sont le noyau technologique du système global qui permet l'existence et le fonctionnement des services mobiles. Ils assurent la liaison technologique au sein de ce système qui comprend l'infrastructure (elle-même constituée par les réseaux et terminaux mobiles) et le service mobile tel qu'il est perçu par l'utilisateur final. Dans un second temps

24 Cette idée est par exemple proposée par IDC, cité dans l'introduction du chapitre 1.

(1.2.), nous verrons que la mise en relation des différents composants technologiques repose sur trois questions économiques : la création de standards de compatibilité, la coordination des acteurs industriels et la diffusion volontaire de connaissances (*open innovation*²⁵).

Dans la seconde section de ce chapitre (2.)²⁶, nous réalisons une étude de cas, pour approfondir la question de la variété des moyens stratégiques mis en œuvre pour assurer la dynamique du changement technologique et des relations entre firmes. Nous nous intéressons à trois consortiums « open source²⁷ » apparus récemment : Symbian Foundation, Limo Foundation et l'Open Handset Alliance. Notre but est d'étudier la pertinence pour ces consortiums d'utiliser un environnement « open source » afin de réaliser la reconfiguration de l'organisation du processus d'innovation propre aux systèmes d'exploitation mobiles d'un point de vue technologique aussi bien qu'organisationnel. Pour juger de la cohérence de cette stratégie, nous analysons la capacité de ces consortiums à produire des standards, comme corolaire du développement de systèmes d'exploitation innovants. Nous commencerons (2.1.) par construire un indicateur d'ouverture (basé sur le concept d'*open innovation*). Cet indicateur nous permettra, ensuite (2.2.), de montrer que ces consortiums présentent une forme originale d'*open innovation*, au détriment d'une capacité clairement identifiable à produire leurs propres standards par des collaborations verticales. Enfin (2.3.), nous discuterons plusieurs scénarios de construction de standards, par des collaborations horizontales entre les consortiums.

25 La diffusion est abordée au travers du concept d'*open innovation* que l'on peut définir comme une évolution du processus d'innovation, c'est-à-dire le passage d'une innovation centralisée et soumise à des droits de propriété importants (*closed innovation*), à une innovation basée sur une plus grande perméabilité dans la circulation et la diffusion des connaissances et des technologies.

26 Cette section est en anglais car elle a été publiée sous la référence Querbes-Revier [2011].

27 Nous parlons d' « open source » entre guillemets, afin de différencier le fait de révéler le code source d'un logiciel (*open source* sans guillemets) d'une philosophie de développement communautaire de logiciels, basée sur la distribution libre du code source, mais aussi sur des méthodes de développement originales : usage intensif des mailing-lists, financement par des fondations, partage sur des sites Internet (comme SourceForge), etc.

1. Des services mobiles aux plateformes mobiles

Dans le chapitre précédent, nous avons montré que l'émergence de l'industrie des services mobiles repose sur la rencontre de trois catégories d'acteurs : les opérateurs de réseaux, les fabricants de terminaux et les fournisseurs de services mobiles. Au travers de l'étude des projets de développement de systèmes d'exploitation mobile, notre objectif est d'approfondir les modalités et les évolutions de la rencontre entre ces acteurs. C'est pourquoi, dans la première sous-section (1.1.), nous étudions les systèmes d'exploitation mobile en tant que *plateformes* technologiques. Le concept de *plateforme* nous permet de positionner les systèmes d'exploitation relativement aux services mobiles tout en abordant la complexité technologique inhérente à la production de services mobiles fonctionnels. Cela nous amène à la seconde sous-section (1.2.), où nous étudions la dimension organisationnelle de ces projets – la rencontre évoquée plus haut – puisque la forme d'organisation des projets de développement de ces plateformes a justement vocation à résoudre les problèmes liés à leur complexité. La réussite de ces projets repose sur la création de standards de compatibilités, facilitant la coordination entre acteurs aux compétences hétérogènes (du réseau au logiciel, en passant par l'électronique ou les contenus culturels) (1.2.1.). Pour autant, la création même de ces standards peut être l'objet d'une coordination (1.2.2.) par la création collective de standards volontairement partagés, selon une logique d'*open innovation* (1.2.3.).

1.1. Une approche systémique par les plateformes

Selon notre périodisation de l'émergence de l'industrie des services mobiles, à la première période, les acteurs qui ont introduit les premiers services mobiles ont bénéficié de la flexibilité permise par la numérisation complète de l'infrastructure de téléphonie mobile. Nous avons abordé ce point au travers du concept de *modularité* [Baldwin & Clark, 2000]. En réduisant la complexité des solutions techniques à mettre en œuvre, la modularité permet de diminuer l'incertitude et l'irréversibilité des trajectoires technologiques adoptées. En adoptant cette approche, nous pouvons représenter les technologies relatives à la téléphonie et aux services mobiles comme un système articulant des modules technologiques, dont l'évolution repose sur l'ajout et la modification de modules permettant d'élargir les usages au-delà de la téléphonie. Le système représenté ainsi est alors similaire à une *plateforme produit* (*product platform*), telle que définie par Meyer & Seliger [1998, p. 61] : « *we define a product platform as a set*

of subsystems and interfaces that form a common structure from which a stream of derivative products can be efficiently developed and produced ». Pour un producteur de services mobiles, la plateforme produit offre des gains substantiels pour la productivité de la R&D et, par conséquent, elle facilite le développement d'une offre de services plus diversifiée ou plus flexible.

Néanmoins, pour Baldwin & Woodard [2009], cette approche en termes de *plateforme produit* accorde surtout de l'importance à la plateforme en tant que structure technologique réutilisée par les différents produits dérivés²⁸, mais elle limite la compréhension de l'évolution du système. Effectivement, pour eux, à côté du potentiel de réutilisation, le potentiel d'évolution n'est pas le même pour tous les éléments du système : certains éléments concourent à la stabilité du système quand d'autres vont être remplacés, ou vont évoluer dans leur usage, au cours du temps. Les règles définissant cette évolution – ainsi que la liste des composants, le fonctionnement des interfaces et les fonctionnalités de la plateforme – sont inscrites dans l'*architecture de la plateforme* (*platform architecture*). Cette vision permet alors de définir l'architecture de la plateforme comme un système homogène comprenant à la fois la plateforme au cœur de cette architecture et les biens complémentaires qui lui sont liés par des interfaces.

Pour repérer les différentes technologies qui forment ce système, nous nous basons sur la catégorisation proposée par Feijòo et al. [2009] donnant les cinq couches de l'architecture technologique auxquelles les services mobiles doivent s'adapter : l'aspect physique du terminal (écran, ergonomie, processeur...), le système d'exploitation (dédié, évolué...), le mode d'accès au service (navigateur, lecteur multimédia...), l'infrastructure du réseau (vitesse, continuité, droit d'accès...) et la structure logicielle du réseau (portail, facturation, publicité...). De notre point de vue, le système d'exploitation est la plateforme au centre de ce système pour deux raisons. D'une part, les éléments technologiques propres à l'infrastructure du réseau de téléphonie mobile (comprenant les réseaux et les terminaux) sont particulièrement fragmentés. En effet, si un service mobile veut atteindre un grand nombre d'utilisateurs, il doit s'adapter à : (i) un grand nombre de réseaux du fait des différentes générations (2G, 3G, etc.), voire à différentes formes de connectivité (réseaux de téléphonie, réseaux Wifi, connexion Bluetooth, etc.) ; (ii) une variété encore plus grande de terminaux (différentes marques et différentes gammes). L'infrastructure du réseau de téléphonie mobile n'est donc pas compatible avec la définition d'une plateforme – comme élément commun à un ensemble de produits dérivés – que nous avons adoptée.

28 Dans notre représentation, les services mobiles sont ces produits dérivés.

D'autre part, les systèmes d'exploitation, en assurant l'interface entre l'infrastructure et les services mobiles, répondent beaucoup mieux à la définition d'une architecture de plateforme. Ils sont des éléments de l'*infostructure* [Curien, 2005], dans la mesure où ils assurent la circulation des données entre l'infrastructure et le service final qu'est le service mobile. D'autres éléments logiciels présents sur les téléphones mobiles répondent aussi à cette définition : les langages de programmation, les logiciels médiateurs (*middleware*), les systèmes de spécifications technologiques. Mais pour rendre compte de la notion d'architecture des interfaces qui relie la plateforme avec ses composants, c'est bien le système d'exploitation qu'il faut considérer : en effet, le système d'exploitation réalise ses propres opérations et détient ses propres fonctions – c'est un système en lui-même. Il définit également les interactions et les ajouts possibles que l'on pourra faire en termes de produits dérivés et complémentaires. C'est donc la plateforme au centre de l'architecture logicielle propre au fonctionnement des services mobiles.

Gueguen [2008] – en étudiant l'évolution des systèmes d'exploitation pour « terminaux mobiles intelligents » (c'est-à-dire les smartphones et les PDA) sur la période 1998-2006 – montre l'absence d'un marché grand public des smartphones avant le début des années 2000²⁹. Auparavant, les PDA sont les plus présents, mais correspondent à une trajectoire spécifique d'évolution, du fait de leur complémentarité avec les ordinateurs (agenda, outils bureautiques) plus qu'avec les réseaux mobiles (par définition, les PDA ne sont pas connectés). C'est pourquoi il nous semble opportun de chercher les racines de la construction des architectures de plateformes mobiles dans d'autres expériences : la création du WAP et de l'i-mode. Déjà présentées dans le chapitre précédent, l'i-mode et le WAP sont, historiquement, les deux premières plateformes que nous associons au début de la démocratisation des services mobiles. Elles représentent aussi une nette évolution dans la conception des plateformes mobiles³⁰, en introduisant des éléments à la base des systèmes d'exploitation pour smartphones : lecteurs multimédias, navigateurs Internet, sécurisation des services (banque, achats, réservations, etc.).

Le WAP est lancé en 1998, à l'initiative d'un grand nombre d'acteurs de la téléphonie mobile (essentiellement européens), réunis au sein du WAP Forum, créé en décembre 1997 par Ericsson, Motorola, Nokia et Phone.com³¹. Malgré la présence de 335 membres dans ce forum en 2000 [Leavitt, 2000], le pilotage est opéré surtout par des opérateurs de réseaux et des fa-

29 En particulier avec le développement du système d'exploitation Symbian et le succès du BlackBerry de RIM.

30 Le seul outil qui permettait antérieurement l'échange de données sur téléphone mobile était le SMS (et ses équivalents hors du réseau GSM).

bricants de terminaux européens [Steinbock, 2005]. Leur objectif est de créer une plateforme produit permettant la transposition d'un certain nombre de services Internet vers les réseaux et terminaux mobiles. Ils mettent en place une plateforme reproduisant la structure technique d'Internet, mais basée sur ses propres standards et protocoles, offrant une expérience de navigation proche de l'Internet. Du côté de l'architecture, l'articulation du WAP en tant que plateforme avec ses services dérivés se fait par un portail (*gateway*) : celui-ci convertit les services Internet en services compatibles avec les protocoles du WAP. Pourtant, l'importante avancée technique (liée au transport de données de l'Internet vers les terminaux mobiles) ne va pas susciter un usage massif : il manque la coordination verticale nécessaire au développement par des tiers de services adaptés à cette plateforme [Funk, 2007] et les usagers ne sont pas attirés par cet Internet uniquement textuel et lent [Baldi & Thaung, 2002].

Au Japon, l'i-mode est lancé en 1999, par NTT DoCoMo, le principal opérateur japonais de réseaux mobiles. Sur la période 2000-2001, NTT DoCoMo développe des alliances internationales pour faire de l'i-mode le standard de facto de l'Internet mobile. Le résultat est sa propagation au-delà du Japon, allant jusqu'à concurrencer le WAP en Europe. La raison est que, dès le départ, l'i-mode a offert des applications à forte valeur ajoutée (services bancaires) et un modèle d'affaires attrayant³², conséquence d'une coordination verticale propriétaire, permettant l'évolution conjointe du réseau et des services, nécessaire à leur viabilité [van den Ende, 2003]. En reprenant les protocoles d'Internet et en synchronisant la totalité de la chaîne de valeur³³, l'i-mode va offrir l'accès à 40 000 sites Internet (dont de nombreux services à forte valeur ajoutée) en deux ans [Steinbock, 2003]. L'i-mode a un avantage majeur sur le WAP : le WAP est une plateforme qui doit s'adapter à la morphologie de tous les terminaux compatibles, alors que, pour l'i-mode, terminaux et services doivent être adaptés à ce dernier³⁴.

31 Les trois premiers étant des fabricants de terminaux et fournisseurs d'équipements pour réseaux mobiles, le dernier étant détenteur d'une technologie de navigateur Web mobile (microbrowser).

32 Système de facturation de l'utilisateur basé sur la quantité de données échangées plutôt que sur le temps passé à utiliser cette plateforme ; NTT DoCoMo ne prélève que 9 % de ces revenus, le reste étant reversé au fournisseur de services.

33 Le réseau, les terminaux et les services doivent répondre à un cahier des charges très précis pour pouvoir mobiliser cette plateforme.

34 Sachant que l'i-mode pousse à l'amélioration du parc de terminaux du fait d'une interface utilisateur plus attractive (3D, couleurs...).

1.2. Les tenants de la construction collective des plateformes mobiles

En plus d'être les premiers exemples grand public d'architectures de plateformes relativement élaborées, le WAP et l'i-mode nous permettent de voir que la réussite d'une plateforme (en matière d'attractivité pour les usagers et les fournisseurs de services mobiles) repose sur une coordination importante des acteurs industriels développant et utilisant la plateforme. Nous abordons la question de la coordination en la ramenant à trois questions clés d'un point de vue économique : la création de standards de compatibilité entre les technologies, la coordination des acteurs et la diffusion des connaissances par la stratégie de propriété intellectuelle.

En premier lieu (1.2.1.), la coordination est à l'origine de la création de compatibilité entre les différentes technologies nécessaires au système présenté dans la section précédente. Nous abordons cela autour de deux dimensions : (i) la création de compatibilité à l'intérieur du système, permettant l'articulation des services mobiles avec un système d'exploitation donné et renvoyant, par conséquent, à la création de l'architecture d'une plateforme ; (ii) la création de compatibilité externe, avec les architectures concurrentes ou avec des technologies déjà adoptées comme standards dans l'univers numérique (nous avons vu, au travers du WAP et de l'i-mode, l'intérêt de mobiliser les standards utilisés sur Internet, pour attirer des fournisseurs de services mobiles).

En second lieu (1.2.2.), nous nous penchons sur la structuration de la coordination, dans la mesure où l'émergence des services mobiles remet en cause les formes historiques de coordination telles qu'elles existaient dans l'industrie des télécommunications ou dans l'industrie informatique. Nous conservons de ce fait les deux dimensions précédentes, relatives à la coordination verticale à l'intérieur d'une plateforme et horizontale entre plateformes.

En dernier lieu (1.2.3.), nous abordons la question de droits de propriété intellectuelle et de la diffusion des technologies. Du fait des nombreuses interdépendances entre technologies relatives à l'innovation architecturale, le choix opéré quant aux droits de propriété a un impact important sur la coordination des acteurs : l'appropriation des technologies entraîne une marchandisation des échanges de connaissances et des technologies nécessaires à la création de l'architecture de la plateforme. L'*open innovation* est alors une alternative intéressante. Nous en présenterons quelques aspects en préambule d'un approfondissement du concept au regard des systèmes d'exploitation « open source » que nous réalisons dans la seconde section de ce chapitre.

1.2.1. La question de la compatibilité

La recherche de compatibilité est une forme de standardisation. On parle dans ce cas de standards de compatibilité (ou d'interface) que Bekkers [2001, p. 184] définit comme « *a set of technical specifications that define one or more interfaces between network nodes in a way that is sufficient enough to guarantee their interworking* ». Cette définition de la compatibilité recouvre plusieurs réalités, en fonction du niveau d'analyse que l'on adopte. Ainsi, il convient de « *distinguer la compatibilité entre les composants d'un bien-système, l'interchangeabilité entre des composants de biens-systèmes, la portabilité des composants et l'interopérabilité entre différents biens-systèmes* » [Rochelandet & Mbo'o Ida, 2007, p. [2]] (le bien-système correspondant ici à l'architecture plateforme).

La compatibilité et l'interopérabilité entre composants et systèmes émergent de deux manières [Foray, 2002] : de manière informelle, par le ralliement progressif des acteurs à un ensemble de spécifications techniques permettant une domination *de facto* sur le marché, ou de manière formelle, par la mise en place d'un compromis entre les acteurs ou la décision d'une autorité conduisant à la création d'une norme *de jure*. Pour Feldmann [2005, p. 35-36], alors que les standards réseau de la 2G et de la 3G sont issus d'un processus de normalisation formel et partagé par l'ensemble des acteurs, une compétition des standards entre plateformes concurrentes s'opère pour la 4G et plus particulièrement, sur les terminaux, systèmes d'exploitation et applications. Or, la recherche de compatibilité et d'interopérabilité est indissociable des externalités de réseau [Stango, 2004] dans la mesure où une plateforme gagnera en valeur en fonction du nombre de ses usagers (externalité directe) ou en fonction du nombre de services dérivés (externalité indirecte). Cette distinction conduit à différencier les stratégies selon que les acteurs cherchent à générer une externalité directe de réseau grâce à l'interopérabilité horizontale entre différentes plateformes, ou indirecte, grâce à la compatibilité verticale entre une plateforme et ses services dérivés [Choi & Whinston, 2000]. L'externalité directe de réseau est d'autant plus forte quand les usagers d'un système d'exploitation peuvent interagir (échanger des contenus, utiliser les mêmes applications) avec les usagers d'autres systèmes d'exploitation sur un grand nombre de services mobiles. L'externalité est indirecte quand les usagers d'un système d'exploitation peuvent accéder à un grand nombre de services mobiles.

Pour Besen & Farrell [1994, p. 118], dans le cadre d'une compétition horizontale entre plateformes, « *a firm's basic strategic choice is whether to make its products compatible with those of rivals, thus competing within a standard, or to make them incompatible, resulting in competition between standards* ». Face à cette alternative, ils identifient trois formes archéty-

pales de concurrence : (i) les différents concurrents refusent l'interopérabilité d'où une guerre des standards ; (ii) l'ensemble des concurrents veut l'interopérabilité d'où des concessions afin d'adopter une norme commune³⁵ ; (iii) une partie seulement des acteurs veut l'interopérabilité d'où un désaccord entre les acteurs sur la forme de concurrence³⁶. Pour les réseaux de télécommunications, nous pouvons observer une longue tradition de coopération entre acteurs publics et privés pour la définition de normes : par exemple, l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) – fondée en 1865 et rattachée aux Nations Unies en 1947 – œuvre pour la définition de normes internationales propres à assurer l'interopérabilité des réseaux de télécommunications fixes et mobiles. De même, en Europe, l'European Telecommunications Standards Institute (ETSI) œuvre depuis 1988 à l'adaptation de ces normes en Europe (on lui doit entre autres les normes GSM et l'UMTS). Pour autant, ces organismes de normalisation³⁷ (*standard-setting bodies*) adoptent une structure différente pour la définition de normes relatives aux plateformes mobiles. En effet, ces plateformes forment un espace technologique où existent des organismes de normalisation concurrents qui organisent la coordination des acteurs autour d'un ensemble de spécifications techniques et qui assurent leur promotion face aux spécifications concurrentes. Le niveau important d'interdépendances entre les technologies propres aux plateformes mobiles incite à coordonner le processus de standardisation sur l'ensemble du système [Funk, 2009b].

Dès lors, les promoteurs de plateformes mobiles doivent prendre en parallèle des décisions stratégiques sur l'interopérabilité horizontale avec les plateformes concurrentes, ainsi que sur les formes de compatibilité verticale à l'intérieur de la plateforme. L'archétype pour comprendre la complexité des stratégies opérées par les acteurs est la plateforme Java ME (Java Platform Micro Edition). C'est la version mobile de la plateforme Java, développée par la firme logicielle SUN, sous licence libre depuis 2006. Java existe depuis 1995, ce qui lui confère une maturité technique et une base importante de développeurs dans l'univers fixe. Elle va donc être assez naturellement choisie pour constituer une des technologies de base des systèmes d'exploitation mobiles. En 1999, Java ME est intégré au projet Symbian, ainsi qu'à l'i-mode. Les terminaux mobiles équipés en Java apparaissent en 2000 en Asie, puis se pro-

35 Cession de la technologie adoptée à des conditions avantageuses pour ceux qui voient leur technologie délaissée, développement collectif d'une nouvelle technologie, développement par un tiers indépendant, etc.

36 Les firmes leaders devant se protéger de l'imitation de firmes moins avancées, ces dernières cherchant à développer des systèmes interopérables avec ceux des premières.

37 À la manière de West [2007], nous utilisons l'expression organisme de normalisation dans son sens le plus générique couvrant ainsi les organisations regroupant des acteurs publics et privés dans le but d'adopter une norme générale aussi bien que les regroupements d'acteurs privés développant un standard qui leur est propre.

pagent rapidement jusqu'à équiper 450 millions de terminaux en 2006. Cette dynamique d'adoption est encore renforcée dans la mesure où Java fournit les spécifications principales de l'architecture d'Android et du système d'exploitation des BlackBerry (BlackBerry OS). Cette plateforme n'a pas vocation à couvrir l'ensemble des fonctions logicielles disponibles sur un téléphone mobile, pas plus que ne le peut son équivalent sur l'informatique fixe. En revanche, elle a été conçue dès l'origine pour fournir des applications quelle que soit la plateforme (complète) sur laquelle elle est intégrée, sans avoir à réécrire de code. Le principe est de réduire au minimum les dépendances vis-à-vis de sa plateforme support tout en prenant en charge des fonctionnalités suffisantes permettant, par exemple, l'introduction de jeux vidéo évolués sur mobile. Plus récemment, la plateforme Ajax³⁸ s'est propagée aux terminaux mobiles avec l'apparition de navigateurs Internet sur téléphones mobiles (concept né avec le WAP). L'objectif est toujours d'améliorer la compatibilité des services mobiles avec un grand nombre de plateformes puisque, comme dans l'univers fixe, le navigateur permet de contourner la fragmentation logique (plateformes) et physique (terminaux).

Ces exemples de technologies montrent que sur une même plateforme différents services peuvent coexister tout en ayant des caractéristiques de compatibilité et d'interopérabilité différentes. Les stratégies mises en œuvre ne sont donc pas binaires (compatibilité ou non), mais correspondent à des arrangements potentiellement complexes. Cela s'explique par plusieurs enjeux industriels relatifs aux technologies qui constituent ces plateformes et qu'il convient maintenant d'explicitier.

1.2.2. La structuration des relations industrielles

Pour David & Greenstein [1990, p. 20], « *coordination on one standard is the fortuitous by-product of new innovation which embodies new standards and replaces obsolete technology [...]. Thus, the emergence of standards could be analyzed in terms of the degree of coordination achieved between buyers and sellers as consequence of vertical integration or close subcontracting relationships (or the lack thereof) for the purpose of supplying a complete, integrated system* ». La conséquence pour les plateformes mobiles est qu'il est difficile de distinguer un projet collaboratif orienté sur de la R&D d'un regroupement d'acteurs industriels cherchant à développer et promouvoir des normes communes, les deux allant de pair. De plus, en combinant les technologies et modèles économiques d'industries aux histoires diffé-

38 Une synthèse née sur Internet en 2005, combinant les principaux langages et spécifications présents sur Internet, dont Java, dans une architecture « open source ».

rentes, la manière même de concevoir une standardisation coordonnée et ses objectifs varie. D'un côté, il y a celle des acteurs historiques de la téléphonie mobile, qui consiste à privilégier la *coordination verticale*. C'est, à l'origine, la coordination entre l'opérateur historique du réseau de téléphonie et un (rarement plusieurs) fabricant de terminaux, telle qu'elle s'est opérée jusqu'aux années 1980-1990 (période de la dérégulation, selon les pays). Elle leur permet de transformer l'externalité indirecte de réseau (adoption de la plateforme) en économie d'échelle (usage du service), mais au prix d'une réduction de la variété des réponses aux besoins des usagers. Néanmoins, cette solution offre les meilleures réponses en matière de sécurité, mobilité, fonctionnalité (à l'exemple de l'i-mode). De l'autre côté, les industriels de l'informatique et du logiciel adoptent une approche opposée : la *coordination horizontale*. L'exemple extrême, sur la même période, correspond aux monopoles horizontaux détenus par Intel pour les microprocesseurs, Microsoft pour les systèmes d'exploitation. Celle-ci est basée sur l'interopérabilité : maximiser le nombre de services sur une plateforme et, réciproquement, faire bénéficier l'utilisateur de rétroactions positives (effet d'entraînement) grâce aux externalités directes de réseau, l'utilisateur ayant une bonne portabilité de ses contenus. L'objectif industriel est d'attirer une grande communauté de développeurs multiplateformes.

En parallèle, les services mobiles nécessitent un important travail de coordination sur l'architecture des plateformes du fait des spécificités et des contingences de l'usage mobile [Funk, 2001]. Ce qui compte avant tout lors du développement d'un service est sa facilité d'accès [Kelly, 2006]. Ceci explique la coexistence d'une coordination horizontale et d'une coordination verticale dans le développement des plateformes mobiles. Sachant que l'utilisateur n'a qu'un faible champ d'action sur la personnalisation et l'adaptation de son terminal, une standardisation trop poussée viendrait à l'encontre de la différenciation des usages. Et plus particulièrement, un enjeu pour les services mobiles est de dépasser la simple transposition de services fixes (applications et services Internet disponibles sur ordinateur) au profit de services à forte valeur ajoutée tirant parti de la mobilité, tout en requérant une sécurité et une fiabilité parfaite. Cet agenda se retrouve assez clairement dans les statuts de l'Open Mobile Alliance (OMA)³⁹ : « *the mission of the Open Mobile Alliance is to facilitate global user adoption of mobile data services by specifying market driven mobile service enablers that ensure service interoperability across devices, geographies, service providers, operators, and networks while allowing businesses to compete through innovation and differentiation* »⁴⁰. Ou,

39 Créée en 2002, sous l'impulsion de Nokia, par le regroupement entre le WAP Forum et l'Open Mobile Architecture Initiative (OAI).

40 Source : <http://www.openmobilealliance.org/> (consulté le 6 octobre 2011).

encore, au sein de la LiMo Foundation : « *LiMo Foundation is a dedicated consortium of mobile industry leaders working together within an open and transparent governance model—with shared leadership and shared decision making—to deliver an open and globally consistent handset software platform based upon mobile Linux for use by the whole mobile industry* »⁴¹ et de la Wholesale Applications Community (WAC) : « *the Wholesale Applications Community is an open global alliance made up of the world's largest mobile phone network operators and manufacturers and is dedicated to making life easier for developers to create and distribute compelling digital content. WAC was formed to help standardise the mobile applications ecosystem by leveraging its group scale to introduce global initiatives to help simplify the submission, distribution and settlement processes for developers* »⁴².

Cette concurrence entre organismes de normalisations aux objectifs similaires est la partie visible des différents désaccords qui existent sur les technologies à adopter. En effet, les formes de la collaboration évoluent avec les capacités techniques des réseaux et des terminaux mobiles. Avec la grille d'analyse historique développée dans la première partie, nous avons montré que pendant les deux premières périodes les opérateurs de réseaux et les fabricants de terminaux mobiles sont à la base des plateformes mobiles. Plus particulièrement, les opérateurs de réseaux mobiles ont une place centrale dans la coordination de l'écosystème des services mobiles. En perdant leurs monopoles nationaux, ils ont dû apprendre les règles de la concurrence internationale. De plus, ils ont dû diversifier leur domaine d'activité au-delà de la fourniture du simple service de téléphone. Ainsi, ils ont pris le train de l'émergence des services mobiles en mettant en place toute l'*infrastructure*⁴³, nécessaire au bon fonctionnement des services mobiles : création des portails d'accès, des systèmes de facturation, amélioration de l'intelligence logique des réseaux afin d'offrir des services à forte valeur ajoutée. De fait, ce qui compte plus que l'ampleur de l'offre de services mobiles, c'est la simplicité d'accès nécessaire pour les équipements mobiles. Par conséquent, la plateforme la plus attractive est la première à laquelle l'utilisateur accède, donc celle de l'opérateur réseau [Noam, 2006]. C'est une logique de « pré carré » (*walled garden*). Ces plateformes sont le WAP, l'i-mode, ou encore Vodafone Live !, la plateforme lancée en 2002 par l'opérateur britannique Vodafone mêlant l'architecture technologique du WAP et les qualités esthétiques de l'i-mode.

Or, avec l'amélioration technologique des réseaux et des terminaux (en particulier, la démocratisation des smartphones), les pré carrés disparaissent face à la possibilité pour des ac-

41 Source : <http://www.limofoundation.org/en/Press-Releases/> (consulté le 6 octobre 2011).

42 Source : <http://www.wacapps.net/what-is-wac> (consulté le 6 octobre 2011).

43 Voir définition, supra, p. 67.

teurs majeurs de l'informatique et du logiciel d'étendre leurs technologies vers la téléphonie mobile et, ainsi, de tirer parti dans l'univers mobile de leur base installée d'usager venants de l'univers fixe. Face à la bataille des standards qui s'ensuit, « *le critère déterminant renvoie à la capacité à augmenter rapidement sa propre base installée, pour pousser sa technologie dans une spirale vertueuse de rétroactions positives et provoquer le basculement du marché en sa faveur* » [Foray, 2002, p. 140]. Trois moyens doivent alors être mis en œuvre : des « *campagnes d'informations sur la croissance des bases installées* », une « *conquête du secteur d'offre des biens complémentaires* » et des « *stratégies de préannonce sur les futurs produits* ». Ainsi, la création d'organismes de normalisation va servir de pilier à ces stratégies afin d'organiser la promotion des plateformes auprès des usagers et des partenaires potentiels, en plus d'être un espace pour organiser la R&D collectivement et la normalisation. Par exemple, l'implication de Nokia dans la création de l'OMA peut de cette manière être analysée comme une réponse à l'entrée de Microsoft dans l'industrie des plateformes mobiles. Les nouveaux entrants s'appuient également sur cette stratégie : par exemple, Microsoft au travers du Microsoft Developer Network (MSDN) ou encore Google au travers de l'Open Handset Alliance (OHA) chargée de promouvoir la plateforme mobile Android.

1.2.3. Vers une stratégie d'open innovation ?

Une autre décision essentielle pour l'adoption d'une technologie par de nombreux acteurs consiste à choisir des droits de propriété adaptés à un contexte d'innovation où les technologies sont fortement cumulatives et interdépendantes. Selon Foray [1993, p. 91], « *le standard possède certains aspects des biens publics sans en avoir tous les attributs. Il s'agit en particulier d'un bien informationnel non-rival : les caractéristiques d'information et de compatibilité qu'il détermine ne se détruisent pas dans l'usage et peuvent donc être « consommées » un nombre infini de fois. Mais cette non-rivalité n'implique pas la non-exclusion. En d'autres termes, le standard n'est pas un bien intrinsèquement disponible pour tous. Certains agents peuvent être exclus de la production et de l'usage d'un standard particulier* ». Ainsi, la détention de droits de propriété relatifs à un système en cours de normalisation peut avoir un impact majeur sur les choix technologiques qui vont s'opérer. Dans le cas des normes GSM et W-CDMA, Bekkers et al. [2002] et Bekkers et al. [2011] (respectivement) montrent que les détenteurs de brevets essentiels (*essential patent*) pour ces technologies ont fortement influencé les options technologiques de ces projets. Même si le brevet est une pratique moins courante dans le cadre d'une plateforme logicielle (on lui préférera le copyright), la protection d'un objet logiciel peut s'étendre à ses interfaces et donc exclure des dérivés compatibles

[Zimmermann, 1999]. Également, une norme relative à une plateforme mobile peut inclure dans ses spécifications de compatibilité l'emploi d'une technologie protégée. Or, du fait des interdépendances entre les différentes spécifications, une seule technologie protégée peut alors être un moyen d'exclusion pour l'ensemble de la plateforme.

Pour Foray [2002], il y a donc un arbitrage à faire entre desserrer les droits de propriété afin de générer les rétroactions positives permettant une domination du marché (rente faible sur la technologie, mais forte part de marché) ou maintenir ces droits (rente élevée, mais faible part de marché). Dans le cas des plateformes mobiles (en tant que système de technologies interdépendantes), la question du respect des droits de propriété est particulièrement tendue, donnant lieu à de nombreux conflits. En effet, le caractère cumulatif de l'innovation nécessite de s'appuyer sur des technologies existantes, avec le risque que ces technologies soient protégées, comme dans le cas des brevets essentiels présentés au-dessus. De même, les promoteurs des plateformes peuvent être amenés à porter l'imitation à la limite de la légalité dans une optique de création de compatibilité et d'interopérabilité. Par exemple, dans le conflit qui oppose Microsoft et la plateforme Android, deux visions s'opposent. Du point de vue de Microsoft : « *patent-licensing regimes allow companies to build on the shoulders of others. It allows companies to use technology and ideas, after paying reasonable fees. They can spend their resources on new ideas instead of trying to figure out ways to invent around the work done by others. In that way, patent-licensing is very much pro-innovation* »⁴⁴. Microsoft considère que la plateforme Android utilise des technologies propriété de Microsoft, sans autorisation ni paiement de royalties. Le point de vue de Google à propos de la stratégie de Microsoft est que « *failing to succeed in the smartphone market, they are resorting to legal measures to extort profit from others' achievements and hinder the pace of innovation* »⁴⁵. Il est possible d'expliquer une partie de ces différences de point de vue par l'évolution dans la validation des brevets par l'office américain des brevets (USPTO). Selon Gallini [2002], la forte augmentation de la demande de brevets, en particulier par le secteur du logiciel, depuis les années 1990, s'est traduite par un assouplissement des règles de brevetabilité. Le résultat est une perte de clarté sur les frontières du brevet et, par conséquent, des conflits potentiels entre brevets, voire avec des technologies logicielles non brevetables. À cela s'ajoutent les stratégies de firmes qui, grâce à un portefeuille de technologies protégées, cherchent à extraire un maximum de revenus de la part de leurs concurrents directs, voire à empêcher toute forme de concurrence

44 Propos de Brad Smith (General Counsel et Executive Vice President de Microsoft), cités par Steve Lohr, « Microsoft's Patent Strategy Against Android », *New York Times Blogs*, 3 octobre 2011.

45 Cité par Richard Waters, « Samsung in royalty deal with Microsoft », *Financial Times*, 29 septembre 2011.

dans leur domaine technologique [Bessen, 2004]. On parle alors de *patent thicket*, quand il devient impossible d'innover sans entrer en conflit avec des technologies existantes protégées, même si la technologie est complémentaire plutôt que similaire. Ce phénomène est d'autant plus fort pour des plateformes produits complexes couvrant un large champ technologique. La solution envisagée repose sur des accords de licence croisée et de patent pools dont la mise en œuvre peut se faire à l'intérieur des organismes de normalisation [Shapiro, 2000]⁴⁶. Cette stratégie collective de mise en place de normes et de standards illustre bien la notion de *coopétition* [Nalebuff & Brandenburger, 1997] : coopération sur les standards, concurrence sur les applications. Le but théorique est un gain mutuel et une plus grande attractivité pour les usagers [Kelly, 2006].

La coopération sur la production de technologies se retrouve également dans le concept d'*open innovation* : le processus d'innovation contemporain a évolué, dans la mesure où les firmes doivent de plus en plus faire appel à des connaissances et des technologies extérieures pour développer leurs propres innovations [Chesbrough, 2006]. Ce concept n'est pas incompatible avec un système de brevet, puisque par définition le brevet en tant que droit de propriété permet l'échange des technologies protégées sur un marché. Néanmoins, Simcoe [2006] note – en adoptant l'optique de l'*open innovation* – que pour qu'un système de patent pool ou de licence croisée fonctionne, encore faut-il que les différentes parties prenantes aient des technologies à échanger ou à partager. Or les firmes n'interviennent pas nécessairement sur le marché des services dérivés, d'où un faible intérêt pour coopérer sur les plateformes ou bien leur stratégie repose dès l'origine sur la vente de technologies par le biais de licence, la coopération n'est alors pas à l'ordre du jour. À l'opposé, les plateformes libres (ou « open source ») permettent de lever les barrières financières à l'entrée (pas de licence à payer), de bénéficier d'une bonne image auprès de nombreux développeurs, d'encourager la modularité (la dynamique d'innovation étant totalement décentralisée, chaque développeur modifiant ou ajoutant les codes qui lui importent). Mais ces avantages sont à relativiser en l'absence de modèles économiques clairs (nombre de projets survivent grâce à la tutelle de grandes firmes) et d'une faible coordination entre plateformes conduisant à une multiplication de projets équivalents. Néanmoins, les plateformes adoptant une architecture libre sont loin d'être anecdotiques dans les services mobiles. Par exemple, depuis 2009, Nokia a publié le code source de la plateforme Symbian afin d'encourager la *coopétition*. L'idée est d'utiliser Symbian comme plateforme générique, tout en laissant les autres fabricants de terminaux développer leur propre in-

46 À condition que les autorités de régulation de la concurrence n'y voient pas une tentative de collusion anticoncurrentielle.

terface utilisateur. Cela permet aussi d'agrandir la base de développeurs tiers, leur permettant notamment d'offrir leurs services sur le portail Ovi (boutique en ligne de services compatibles avec Symbian) et ainsi contourner encore une fois les « prés carrés » correspondant aux plateformes des opérateurs de réseau.

Malgré tout, West [2007] montre qu'il est réducteur d'analyser la construction collective de standards de compatibilité – et, de notre point de vue, l'architecture de la plateforme qui en découle – à l'aune d'une simple opposition entre stratégie libre et propriétaire. Il s'agit d'adopter une réflexion plus fine permettant de mettre en lumière différentes situations comprises entre ces deux archétypes. C'est à cette tâche que nous nous attelons dans la suite de ce chapitre. À partir d'une grille d'analyse, basée sur la définition d'un *contexte d'open d'innovation* proposée par Pénin [2008], nous allons étudier le degré d'ouverture de trois projets de systèmes d'exploitation : Android, LiMo et Symbian, dont la philosophie affichée est celle de l'innovation « open source ». Notre objectif est d'articuler les choix technologiques et organisationnels relatifs à l'ouverture du processus d'innovation, avec la création de standards de compatibilité partagés verticalement (à l'intérieur du projet de plateforme) et horizontalement (entre les différentes plateformes).

2. The strategic trade-offs for beneficial open innovation: the case of “open source” consortia in mobile OS development

Three consortia dedicated to the provision of “open source” mobile Operating System (OS) for smartphones emerged in 2007 and 2008: the Symbian Foundation, the Open Handset Alliance and the LiMo Foundation, representing respectively the 1st, 3rd and 6th mobile OS in market shares in 2010⁴⁷. These consortia are particularly interesting when addressing the issue of ongoing *architectural innovation* [Henderson & Clark, 1990] in the mobile industry: the re-configuration of the system linking existing digital services to fixed and mobile devices, thanks to the trivialisation of smartphones. Consequently, we analyse the coherence for these consortia of using an “open source” framework, in order to perform the necessary reconfiguration at both the technological and organizational level. This question involves three corpora of the existing literature.

First, at the technological level, the mobile OS is a *complex system*: a set of components with strong interdependencies, which “*constrains the adaptative potential of systems, and, thereby, the possible paths of evolution*” [Frenken, 2006a, p. 3]. In line with Simon [1962], one means of reducing complexity is to hierarchically decompose complex systems into sub-systems. This approach is to be found in the transversal definition of *platform* made by Baldwin & Woodard [2009], which stems from a decomposition in terms of *modularity* [Baldwin & Clark, 2000], with an emphasis on technological hierarchy. It should be recalled that although *platform architecture* is still a modular system, it is itself split into a *platform* as core, together with its *complements*, interoperability being managed by *interface* specifications. At the organizational level, collaboration matters for the mobile industry, because such a complex system requires the coordination of innovations from heterogeneous technological fields [Kelly, 2006; Maula et al., 2006]. According to Funk [2004, p. 202], “*the conventional view is that the design of the architecture and the alliances that firms make with others are the critical issues in platform management.*” So, in line with Le Masson et al. [2009, p. 290], we consider a general framework where “*a collaborative process of platform design can actually be itself a specific platform; we shall call it a ‘platform for platform design’*”. Hence,

47 Regarding the smartphone sales to end users in second quarter 2010; Source: Gartner, *Press Releases*, August 12, 2010.

there is a real interest in analysing these processes at the systemic level, from the very earliest stage, all the more so as the literature has only just started to address this question [Maula et al., 2006; West & Wood, 2008; Le Masson et al., 2009]. In other words, for Henderson & Clark [1990], architectural innovation requires reorganization and the acquisition of knowledge by firms. This approach presupposes, however, that the available elements are readily divisible, which requires a greater formalisation of activities [Gallouj & Weinstein, 1997], the more so as the degree of product decomposability depends on the existing state of knowledge [Buenstorf, 2005].

Second, the characteristics of consortia lead us to operate a selection in the literature dealing with the effect of “open source” communities on industries. The consortia – as sponsor-based, profit-motivated and involving firms – give echo to the idea of *open innovation* (e.g. Chesbrough [2006]), because of their “open source” strategy [West & Gallagher, 2006; West & Lakhani, 2008]. Equally, we have to take into account the fact that sponsor-based communities differ from autonomous ones [West & O’Mahony, 2008]. We need, thus, a clarification of all these concepts: for Pénin [2008], the definition of open innovation does not take into account knowledge accessibility, which is critical here. However, the consortia emerged as a transition from proprietary to “open source” models. For Bonaccorsi et al. [2006, p. 1094], firms tend to hybridize open and proprietary strategy rather than follow a pure model. This idea is consistent with West [2003, p. 1279]: proprietary platform vendors’ strategy evolves from fully proprietary to open standards and, then, to open source, but the strategy is always hybrid (“opening parts”, “partly open”). A certain number of reasons encourage these sponsors to operate this transition: e.g., the market environment [West, 2003], developers’ preference [Sen et al., 2008], users’ involvement in innovation [von Hippel & von Krogh, 2003]. Conversely, a transition to open source supposes an effort to redesign the product’s architecture [Baldwin & Clark, 2006; MacCormack et al., 2006].

Third, to judge the coherence of this organizational strategy, we analyse the ability of these consortia to produce standards, because they encourage the provision of complements [Gawer & Henderson, 2007] and, more generally, facilitate coordination [Simcoe, 2006]. In line with Coris [2006], the consortia could encourage a hybrid form of standardization in which firms work collectively, rather than relying on the market to produce a *de facto* standardization subsequent to standards wars or, imposing a *de jure* standardization (upstream or downstream of the innovation diffusion) [Steinmuller, 2003] on the political and committee-based authorities. This form of standardization supposes a serious involvement of the stakeholders in the interest of the consortium. But while Bonaccorsi et al. [2006] show that free riding is not rational

(even in “hybrid” source projects), Shah [2006, p. 1011] shows that, in these projects, “*activities that permit value appropriation by the firm are sometimes detrimental to value creation within the community*”. So, it seems that organizational coherence – via the provision of standards – has equally to be adjusted via profit motivation.

Clearly, our work is mainly of an exploratory nature, since the organizational and technological platforms have not reached maturity. In the first part, we situate the consortia against a background of mobile OS platform competition. Then, we present an index of this openness, oriented on knowledge accessibility. To complete this conceptual framework, we analyse the standard creation issue as regards profit motivation coherence. In the second part, when we apply this framework to situating the three consortia in terms of an open innovation context, we note a relative difference among the consortia. We then show that the emergence of collective standards within the platform tends to remain uncertain, due to a divergence of concerns for knowledge sharing and a potential fragmentation for end-users. We conclude by discussing different speculative roadmaps for the emergence of collective standards among consortia.

2.1. A conceptual framework

2.1.1. The mobile OS market competition

At the end of summer 2005, the New York Times mentioned the acquisition by Google of a Silicon Valley start-up specialized in mobile phone applications: Android Inc.⁴⁸. The journalist wondered whether Google was interesting in developing new products for mobile phones. This proved to be the case since, two years later, on 5th November 2007, thirty-four companies (including Google) announced their involvement in the development of an “*open platform for mobile devices*”⁴⁹ (Android) within a new inter-firm organization, the Open Handset Alliance (OHA). However, in January, a similar event happened: the creation of the LiMo Foundation by NEC, NTT DoCoMo Orange, Panasonic and Vodafone (LiMo stands for Linux Mobile). As for the Symbian Foundation, its creation was announced on 24th June 2008, by Nokia, together with AT&T, LG Electronics, Motorola, NTT DoCoMo, Samsung, Sony Ericsson, ST-NXP Wireless, Texas Instruments and Vodafone. But the Foundation had, in fact, to

48 John Markoff, “Where to Spend \$4 Billion? Google Has Plenty of Projects in Mind”, *New York Times*, August 22, 2005.

49 Source: Open Handset Alliance, *Press Releases*, November 5, 2007.

wait until 2nd December 2008, when Nokia obtained full ownership of Symbian Ltd, and contributed the Symbian platform for free to the Symbian Foundation. Symbian Ltd was founded in 1998 by Ericsson, Motorola, Nokia and Psion. It aimed to promote and improve Symbian, an OS that stemmed from a former PDA OS: EPOC, the OS of Psion's handheld devices.

The consortia are not, however, the only providers of mobile OS. According to Gartner (Table 7⁵⁰), there are six mobile OS for smartphones active today. The BlackBerry OS is provided by Research In Motion (RIM), a firm which provides both the BlackBerry smartphone and its OS. RIM has a long experience in connected mobile devices, since it provided in 1995 the Inter@ctive Pager, capable of sending and receiving text messages through a specific wireless network, Mobitex. This trajectory is very different from that of Apple or Microsoft. Apple launched its PDA, the Newton, in 1993, but exited the market in 1998, without any real commercial success. At the same time, Microsoft has been active on the PDA via the Pocket PC and its OS (Windows CE), since 1996. Microsoft never left the mobile OS market, continuously improving its Windows CE, known as Window Mobile, since 2003. Apple returned to this market only in 2007, launching the iPhone and its OS (iOS).

Any evaluation of the former trajectories and actors of the mobile OS reveals a relative diversity which requires smartphones - and consequently, their OS - to be situated within the digital technology system. Put concretely, the mobile service (as seen by end-users) “*has to match with a quintuple layer of specifications*” [Feijóo et al., 2009, p. 287]: (i) the handset; (ii) the mobile OS; (iii) the application which runs the service; (iv) the wireless technology;

Operating System	2 nd Quarter 2010		2 nd Quarter 2009	
	units	market shares (%)	units	market shares (%)
Symbian	25,386.8	41.2	20,880.8	51.0
BlackBerry OS	11,228.8	18.2	7,782.2	19.0
Android	10,606.1	17.2	755.9	1.8
iOS	8,743.0	14.2	5,325.0	13.0
Windows Mobile	3,096.4	5.0	3,829.7	9.3
Linux (incl. LiMo)	1,503.1	2.4	1,901.1	4.6
Other OSs	1,084.8	1.8	497.1	1.2
Total	61,649.1	100.0	40,971.8	100.0

Table 7: Worldwide Smartphone Sales to End Users by Operating System in 2Q10 (Thousands of Units)

50 Source: Gartner, *Press Releases*, August 12, 2010.

and, (v) the operator's mobile system (portals, billing system ...). It is all this which constitutes the specificity of mobile OS for smartphones: the OS operates the technological coordination between the hardware and software layers (as it does for computers), but it also requires competences peculiar to the mobile handset and mobile network. The sheer range of the relevant knowledge explains why one single firm is unable to manage everything, while the different types of collaboration help to juggle with the growth of specialized knowledge, the diversity of complementary knowledge and the variations in technological opportunities [Powell & Giannella, 2009].

2.1.2. How to pin down open innovation?

For software firms, “open source” projects now have a major interest in ensuring such collaborations, but this is not the only concept if we choose to delve into the open versus closed debate. Pénin [2008, p. 8] retains three dimensions, based on the definition of *collective invention*⁵¹, to establish whether a project corresponds to *open innovation context*. His definition is particularly appealing for our project, because of its focus on knowledge provision and sharing, critical for *architectural innovation*. We, therefore, use it to construct an index to schematize the multi-dimensional trade-offs between open and closed innovations, in terms of mobile industry specificities.

The first dimension – “*voluntary knowledge disclosure*” – echoes the global tendency towards knowledge sharing displayed by the computer industry, particularly for digital platforms like the OS. Microsoft, for instance, “*released considerable information on the interfaces to help other firms build software applications and compatible computers and networking systems*” for Windows [Gawer & Cusumano, 2002, p. 13]. However, not all knowledge is transferable, *qua* information [Nelson & Winter, 1982] ; it requires a certain amount of translation via a shared codebook, as well as the skills needed to understand it. Grimaldi & Torrisi [2001, p. 1427] apply this idea to the software industry: knowledge is “*articulated codified*” and “*unarticulated codified*” when, the codebook is, respectively, transparent among epistemic communities or inside one epistemic community; and knowledge is “*unarticulated uncoded*” when located in individuals (leaders), organizational routines or processes. However, Brusoni et al. [2001, p. 600] encourage us to discuss the boundaries of epistemic communities, in the case of industries devoted to multitechnology and multicomponents products, be-

51 See Allen [1983] and Nuvolari [2004].

cause of the “*gap between what they make and what they know*”. Taking all this into account, **openness depends on the means designed to perform knowledge disclosure.**

The second dimension – “*openness of knowledge*” – raises the question of the legal ownership of knowledge: does every claimant have access to knowledge? The *proprietary* versus *open* source strategies define the scope for digital platforms. To some extent, using legal tools to appropriate knowledge (like patent and copyright) supposes a relatively public disclosure of knowledge. For Shapiro [2000], however, this strategy encourages the emergence of a “patent thicket”, increasing the probability for a new product (particularly, its complements) to infringe on multiple patents. For this researcher, the problem may be solved by collaboration, such as patent pools and cross licences. This form of collaboration, which reposes on “partial” licensing of modules from platform architecture, has major effects on competition Bourreau et al. [2007, p. 183]. Open architecture, on the contrary, supposes that all the knowledge produced is accessible to everybody. Hence, **the domain of intellectual property is a major index for judging openness** [Powell & Giannella, 2009]. At the same time, its influence varies with its position in the platform architecture. For instance, openness at the platform (core) level provides a good picture of *coopetition* [Nalebuff & Brandenburger, 1997]: cooperation on platform standards, competition on complements.

Thirdly, knowledge has to be continuously extended by “*ongoing interactions among stakeholders*”, via “*frequent interactions and collaborations among as diverse participants as possible*”. In an industrial world of *de-integrated* firms, due to the rise of modularity in technology and in organization [Baldwin & Clark, 2000] [Baldwin & Clark, 2000], **the concrete form of these interactions, outside the boundaries of the firm, is a central issue.** For “open source” communities, Raymond [2001] puts forward two organizational structures: hierarchical, *the Cathedral*, which involves few or more stakeholders according to the stage of software development; and, non-hierarchical, *the Bazaar*, when participation is open to everybody, all the time. O’Mahony & Ferraro [2007] show that hierarchies – based on meritocracy – emerge and evolve inside the “open source” communities. However, in the presence of sponsors, the interaction quality changes [Shah, 2006; West & O’Mahony, 2008]. In this way, the leader’s reputation is a major issue, because its unfair action may deprive the community of the collective innovation, especially if it attempts to compete commercially with the other stakeholders. Consequently, while the non-sponsored “open source” communities benefit from the participation of hobbyist developers, in sponsored ones, the developers are more incentive-oriented. Hence, in a “*platform for platform design*” perspective [Le Masson et al., 2009], because of the volatility and heterogeneity of the interactions, we have also to examine

whether the interactions are between individuals or firms; being surrounded by incentive-based employees reduces hobbyist involvement even more.

2.1.3. The standards settings as a proxy of organizational coherence

At the organizational level, a first source for weakening the platform coherence is the opposing visions of its stakeholders about revenue origin: network, or services [Maitland, 2006]. For telecommunications incumbents, the whole stack of layers must be coordinated (vertical standardization) in order to provide services “Here, now”: i.e., services which derive their functionalities from the network (e.g., location-based services, videophony, etc.). This vertical standardization gives the best results in terms of security, mobility and service efficiency, since the network is the source of revenue. However, for firms coming from software, Internet and media, the mobile phone is only a new box for their products. Because of the services already adopted on desktop and laptop computers, these firms favour horizontal standardization inside a technological layer, to provide their services “Anytime, anywhere”.

However, the mobile OS, compared to desktop computers, is particular, because it needs better integration with both the device and the end-user service [Funk, 2001] to enjoy the easiest access to the embedded mobile services [Kelly, 2006]. But neither the position of the mobile services within the digital technology system, nor the users’ preferences are established. In order to manage these oppositions and uncertainties, mobile OS need the support of systems integrators, i.e. “*companies that rely on wide and dispersed networks of suppliers of specialised components and capabilities, yet maintain broad and deep in-house capabilities*” [Brusoni et al., 2004, p. 5]. In concrete terms, the *system integrator* has to manage the standards setting and selection process to provide the technical compatibility enabling interorganizational coordination [Steinmuller, 2003].

These system integrators follow various strategies in the mobile OS competition. A major distinction may be made “*between giving up control over the platform and simply granting access to the platform in order to open up complementary development*” [Boudreau, 2010]. For Apple and RIM, the system integration is performed in-house: there is no licensing of their mobile OS to competing handset manufacturers; only the interfaces are opened up to complement developers for relatively cheap fees to obtain the SDK⁵² and have access to their online application stores. This is the same for Microsoft, which licenses its mobile OS to

⁵² The Software Development Kit gives the main tools and information for producing applications, services and contents complementary with the platforms.

	Symbian		OHA		LiMo	
	total	<i>including core and founder members</i>	total	<i>including founders</i>	total	<i>including core and founder members</i>
Mobile Network Operator	12 (6.42%)	7 (30.43 %)	12 (16.44 %)	7 (21.21 %)	12 (25.53 %)	6 (42.86 %)
Handset Manufacturer	16 (8.56 %)	6 (26.09 %)	17 (23.29 %)	3 (9.09 %)	9 (19.15 %)	4 (28.57 %)
Semiconductor Company	11 (5.88 %)	4 (17.39 %)	21 (28.77 %)	9 (27.27 %)	4 (8.51 %)	0
Software or Content Editor	40 (21.39 %)	1 (4.35 %)	7 (9.59 %)	7 (21.21 %)	8 (17.02 %)	2 (14.29 %)
Software Solutions Provider	106 (56.68 %)	5 (21.74 %)	16 (21.92 %)	7 (21.21 %)	13 (27.66 %)	2 (14.29 %)
Research Institute	2 (1.07 %)	0	0	0	1 (2.13 %)	0
Total	187 (100 %)	23 (100 %)	73 (100 %)	33 (100 %)	47 (100 %)	14 (100 %)

Table 8: Consortium members by main activity

handset manufacturers: in 2005, Microsoft mainly worked in partnership with original design manufacturers (oriented to low-cost handsets), but it also managed to make profitable collaborations with Mobile Network Operators (MNO), which have the necessary skills and exercise power all over the vertical partners [Evans et al., 2006, p. 195]. Hence, the standards architecture (for accessing the platform) is managed by a single system integrator, according to its vision in terms of horizontality, verticality and platform evolution. For open platforms, because of their organizational architecture, standardized interfaces within the platform help coordination without hierarchical authority, as integration increases transaction costs when the community grows. Meanwhile, by rallying open multitechnological knowledge, the consortia can produce collective standards and, thereby, provide system integration consistent horizontally, vertically and evolutionarily.

But, in a consortium made of potential competitors, this strategy is at the expense of differentiation. Furthermore, in firm networks, for Garud & Kumaraswamy [1995] the distinction between horizontal or vertical interactions become blurred because of knowledge sharing, since former vertical complementors may become horizontal competitors. Hence, beyond the network or service as a source of revenue, the standardization process depends also on stake-

holder trade-offs: either end-users are encouraged to adopt the collective platform or else one particular company's own components. For instance, Tee [2010] reminds us that during the 1998-2008 period, cooperation on the Symbian OS and competition on the user interface induced a fragmentation of the system for end-users. Consequently, technical compatibility standards and system integration matter also at the mobile OS competition level. For Schilling [2009, p. 208], three primary factors explain why end-users acclaim one particular platform (characterized by network externality effects) rather than another: "(i) stand-alone functionality and performance; (ii) size of the installed base; (iii) availability of complementary goods". The average technical performances of handsets (i) are enhanced, thanks to the trivialization of smartphones. So, new opportunities appear for firms able to encourage synergy / interoperability between the different platforms they own, particularly, between desktop and mobile devices. This means that, thanks to interoperability [Besen & Farrell, 1994], there is a better portability of end-user contents and its ensuing bandwagon effect (resulting from the direct network externality with "desktop-installed" base), thereby attracting a vast community of developers and media / software providers. The point is to "mobilize" the installed base of end-users (ii). This idea is reinforced by the economic models underlying the provision of complementary goods (iii). For Evans et al. [2006], platforms follow an original pricing strategy, via the concept of *multisided platforms*. For instance, in mobile handset history, this strategy was followed by Palm: in 1996, it released the Palm OS SDK under a royalty-free license, disclosing the source code of certain applications (to guide developers in software writing). This encouraged the registration of 400,000 developers providing 26,000 applications, under Palm's standards. Hence, the platform (Palm OS) took advantage of a virtuous circle in which the provision of applications was subsidized by Palm PDA sales, themselves accelerated by the provision of applications, and so on. For smartphones, the handset manufacturers follow the example of Palm: they subsidize online application stores to sell devices (phones, tablets, computers, and so on). The mobile network operators subsidize handsets to increase the use of networks. Equally, Google has a strong market share in Internet services. By transposing these services onto mobile devices, it secures its on-line advertising model. Consequently, fragmentation may occur when many firms have control of platform evolution and implementation, because the stakeholders have opposing visions of which side subsidizes the other side.

2.2. The consortia: open innovation in progress?

In order to further explore the issues shown in the first part, we need now to focus on the consortia. That is why we have collected data portraying the consortia's membership on 15th June 2010, as well as information available from consortia's websites about their strategies.

2.2.1. The consortia: from philosophy to practice

Each consortium respects the “open source” philosophy: from the outset, LiMo was a Linux offshoot under Foundation Public License (FPL); the OHA announced its code source availability on 21st October 2008, under Apache Software License (ASL) 2.0; and the Symbian platform code was released in open source, royalty-free, under the Eclipse Public License (EPL) 1.0, on 4th February 2010. In addition, from a purely technological perspective, mobile OS is software. Therefore, most of the knowledge is incorporated in the code and its documentation. To extend the disclosure of knowledge, the consortia made extensive use of knowledge diffusion tools, providing substantial information via their respective websites, meetings, developer forums and blogs.

Nonetheless, the fact remains that “open source philosophy” can be interpreted in several ways⁵³: hence, the use of “hybrid” licensing strategies. For Lerner & Tirole [2005], the choice of a particular license refers to specific project characteristics, because the license architecture marks the boundaries of platform use and evolution. We can simplify this question via the concept of *copyleft*, referring to commercially-based contributions. By definition, “*copyleft is a general method for making a program (or other work) free, and requiring all modified and extended versions of the program to be free as well*”⁵⁴. Under this definition, Android's ASL 2.0 is non-copyleft. In line with Pénin [2008, p. 3], there is both “*strong and weak openness*”, depending on whether the stakeholders have to ask permission, or not, to access a resource. In this sense, Symbian's EPL 1.0 is weak copyleft since “*only the owner of software can decide whether and how to license it to others*”⁵⁵, and LiMo's FPL is copyleft, but for Foundation members only. Hence, even if the knowledge is available via open source, there are various conditions concerning its use.

53 <http://www.gnu.org/philosophy/open-source-misses-the-point.html>

54 <http://www.gnu.org/copyleft/copyleft.html>

55 <http://www.eclipse.org/legal/eplfaq.php>

These conditions refer to the organizational construction of the consortia. Table 8 gives statistics on the consortium members for two characteristics: membership level and sector. Our initial focus is on the membership level, which echoes the points put forward to analyse the open innovation context of stakeholder interactions in the first section. As regards membership, we notice, first, the contrasted attractive power of consortia, consistent with the respective market share of each platform. But it is membership hierarchy which constitutes the most significant factor. For Symbian, only Board members have an automatic seat in each council. The idea is that “*the Foundation will operate as a meritocracy, with board and council membership allotted based on contribution to the platform*”⁵⁶. There are four councils which guide the evolution of the platform in different aspects. LiMo operates hierarchically too, since the Core and Founder members hold almost all the seats in the Board of Directors and the three Councils. There is no such distinction in the OHA. In fact, while the Alliance also supports the diffusion and enhancement of Android, the technical directions are given directly by the Android Open Source Project (AOSP), managed by Google employees.

This can be explained by the organizational profile of these consortia as *systems integrators* which aim to develop and give the direction of a core platform, as well as to give the roadmap and support for the provision of complements. These concerns correspond to the proposition of West & O’Mahony [2008, p. 151] to distinguish two types of openness, in the case of sponsor-based organizational architectures: *transparency*, which “*allow[s] to understand what is happening*” and “*allow[s] use of the final product, the source code*” and; *accessibility*, which “*allow[s] to influence the direction of the community*”. In the three consortia, every member benefits from transparency, but only those members who have Board and Council seats may influence the direction of the LiMo and Symbian platforms, or Google in the case of Android. Meanwhile, in the three consortia, the contributions follow different hierarchical steps according to their “size” and to their location within the platform architecture. Put simply, the more the contribution introduces a radical evolution, and the closer it is to the platform core, the more the contribution’s adoption involves hierarchical levels.

These concerns correspond also to the location of interactions: the three consortia combine the joint work of independent firms, but interactions appear at the individual level, too. The Symbian Foundation, which is owned by its members, is not a company, since its objective is not to produce innovation; only the members (firms or individuals, according to the “size” of

56 <http://www.symbian.org/members/member-programs/governance/>

the contribution) are the real innovative contributors⁵⁷. The philosophy is similar for LiMo, except that most of the platform modules and complements are direct implementations from computer “open source projects” (e.g. Linux for its kernel, Eclipse for its SDK), thus following their own innovation trajectory. In this perspective, the OHA seems merely a hollow shell: only five firms joined the OHA during the 2009-mid 2010 period, and the AOSP structure favours individual developer registration rather than third-party company support. Equally, at the management level, Symbian and LiMo have a dedicated staff made up, respectively, of former and present employees of the consortium members. For the OHA, as well as the AOSP, only Google employees are concerned. Last, but not least, the right to distribute the platform commercially varies with each consortium. This is important, since it is this right which dictates the particular handset devices shipped by the platform. This right is restricted to Foundation members for Symbian, and to core and founder members for LiMo. Meanwhile, the AOSP philosophy is to “*welcome all uses of the Android source code, but only Android compatible devices - as defined and tested by the Android Compatibility Program - may participate in the Android ecosystem*”⁵⁸.

2.2.2. An undecided involvement on vertical cooperation within platforms

Table 9 (below, p.92), which summarizes the explicit characteristics of the consortia, shows some major differences between the projects. But, in our analysis, these aspects should not minimize the importance of profit motivation. First, it seems that the (evolving) difference in openness among the projects refers to the “*tension between control and openness*” [West & O’Mahony, 2008, p. 155]: thanks to *control*, the platform sponsors “*assure ongoing alignment between their investment in the community and related product goals*”, while with *openness*, they “*win greater external participation and technological adoption*”. In fact, some components of the platforms are open source but, in every consortium, the trade-off between open and proprietary licensing is largely at the discretion of the components’ contributor. For instance, the AOSP explains its license choice by the compliance with the handset manufacturers’ issues: ASL 2.0 (non-copyleft) is more adopted for the commercial diffusion of the platform, particularly since the handset manufacturers do not have to ship the source code on handsets (only via Internet), nor to allow the modification and reverse engineering of their contributions. This example emphasizes the distinction between the openness of the innovation pro-

57 See <http://blog.symbian.org/2010/02/08/package-owners-committers-contributors/>

58 <http://source.android.com/faqs.html>

cess and the openness of the end product of innovation [Simcoe, 2006]. In fact, our dataset (Table 12, below) shows that the OHA lacks handset manufacturer involvement at the foundation stage. Licensing flexibility demonstrates OHA's will to attract handset manufacturers, thanks to upstream knowledge disclosure and the relative freedom to share or not downstream innovation. This corresponds to the fragmentation scenario shown in the theoretical part: there is no move towards collective standardization [Coris, 2006]. This strategy is also at the expense of echoing an "open source" community, since such a strategy frustrates developers motivated by social benefit [Sen et al., 2008].

Thanks to his industry overview, Yamakami [2009] gives us an interesting (sector-based) economic explanation of firms' commitment to openness: (i) for semiconductor manufacturers, the mobile OS is a non-core part of their competence; (ii) for network operators, this enables a "discount war", a smart strategy when a market reaches maturity; and (iii) for handset manufacturers, this helps to transfer the growing production cost of software platforms, as well as giving a greater readability of platform evolution. Concretely, besides the leading role played by Nokia, in the early days of the Symbian Foundation, its operating expenses were covered by the three device manufacturers (Nokia, Samsung and Sony Ericsson) of the Board. Similarly, as regards the sectoral distribution of the core and founder members, we can see a clear leadership of the mobile phone incumbents (i.e. handset manufacturers and mobile network operators), while the Foundation attracts mainly software sector firms. Likewise, the LiMo Foundation exhibits an overrepresentation of mobile phone incumbents, particularly that of Mobile Network Operators (MNO). This bias is due to its involvement with the Wholesale Application Community (WAC), a community made up of the main mobile network operators.

In a nutshell: the consortia leaders overtly want platform integrity by means of vertical co-operation. However: (i) the only tool to prevent fragmentation is the hierarchical selection for contribution; (ii) the legal structure authorizes free riding; (iii) sectoral concerns exhibit a preference for openness in term of "free beer" rather than "free speech". Consequently, the "*platform for platform design*" does not guarantee the emergence of collective standards within the platform.

	Symbian	Android	LiMo
License	EPL 1.0	APL 2.0	FPL
Copyleft	Weak (depends on owner decision)	No	Strong (but restricted to members)
Right to mix open and proprietary licences	Yes	Yes	Yes
GPL Compatible	No	Yes (Linux Kernel)	Yes (Linux Kernel)
Means of disclosure	http://developer.symbian.org/	http://source.android.com/index.html	http://developer.limofoundation.org/
Right to review platform source code	All Foundation members	All registered developers	All Foundation members
<i>acceptance</i>	Fix and enhancement: package owners Extension: Councils	"Approvers" (Google employees)	Architecture Council
Consortium management	Former employees of the members	Google employees	Employees of the members
Right to commercially distribute the platform	All members	Devices approved by the Android Compatibility Program	Core & Founder members
Eligible to participate in the Board and Councils	All members	n.a.	Core and Founder members (Requirements Council open to all members)
Consortium membership	Open	Closed (Invitation)	Open
<i>fees (2010)</i>	\$1.5k/year The operating expenses are covered by the handset manufacturers in the Board	n.a.	\$20k/year (Associate Member) \$230k/year (Core Member) \$460k/year (id. in the Board) \$550k/year (Founder)

Table 9: Consortium governance and IP management

2.3. Discussion: towards horizontal cooperation between platforms?

Such a standardization dynamic may appear horizontally, via compatibility standards shared between platforms for specific layers. For instance, Nokia sponsored the Open Mobile Architecture Initiative (OAI), which gave birth to the OMA in 2002, by merging with the WAP Forum. This organization is in charge of the definition of mobile standards at every layer: it is a *standard committee* [Farrell & Saloner, 1988]. For Steinbock [2003], since Nokia had no strong horizontal advantage, it encouraged collaboration on standards, in order to weaken competitors who staked everything on horizontal technology. Equally, since March 2010, the WAC and LiMo have united their efforts, merging various mobile platform projects within an open architecture. This helps us understand the platform involvement of MNO. In fact, via the WAC and the technical support of LiMo, they aim to produce an open platform as open standard in order to remove fragmentation, which is detrimental for their revenue. That could also explain why LiMo has no mobile application store: rather, it promotes the transposition of computer open source applications. Thus the WAC, associated with the W3C⁵⁹, aims at becoming a standard committee of the mobile Internet, with the ability to impose standards on other platforms. We hypothesize two reasons for such standardization involvement. First, the MNO have accumulated a stock of technological competence by developing their own platforms (i-mode, Vodafone Live!...), as well as having spent money and energy designing them. So they probably do not accept their investment going to waste. Second, in line with Odlyzko [2001]'s hypothesis, we can assume that “*content is not king*”. In fact, the MNO are the main gates for reaching end-users and they have a market power far greater than any other mobile industry actor.

Beyond purely theoretical suppositions, we assume that this issue gains clarity by an analysis of multiple platform membership as a horizontal diffusion channel for the open knowledge produced within the consortia. In our first analysis, we studied the 307 members of the three consortia but, when all of these are combined, we find only 248 firms. In fact, 31 firms are members of two consortia, and 14 firms belong to all three. In a standard-setting approach, we have to outline the profile of these potential bridges. First, Table 10 and Table 11 give some statistics about this issue, and Figure 1 gives an overview via a network graph.

⁵⁹ A standard-setting consortium of the World Wide Web.

	Symbian		OHA		LiMo	
	total	<i>including core and founder members</i>	total	<i>including founders</i>	total	<i>including core and founder members</i>
Three Memberships	14 (7.49 %)	8 (34.78 %)	14 (19.18 %)	8 (24.24 %)	14 (29.79 %)	6 (42.86 %)
Two Memberships	25 (13.37 %)	10 (43.48 %)	23 (31.51 %)	10 (30.30 %)	13 (27.66 %)	3 (21.43 %)
Total	39 (20.86 %)	18 (78.26 %)	37 (50.69 %)	18 (54.54 %)	27 (57.45 %)	9 (64.29 %)
Foundation Member	187 (100 %)	23 (100 %)	73 (100 %)	33 (100 %)	47 (100 %)	14 (100 %)

Table 10: Multiple Platform Memberships

	Multiple Memberships	Total Membership	Ratio Multiple / Total
Mobile Network Operator	9 (20 %)	22 (8.87 %)	40.91 %
Handset Manufacturer	8 (17.78 %)	30 (12.10 %)	26.67 %
Semiconductor Company	9 (20 %)	24 (9.68 %)	37.5 %
Software or Content Editor	5 (11.11 %)	50 (20.16 %)	10 %
Software Solutions Provider	14 (31.11 %)	119 (47.98 %)	11.76 %
Research Institute	0	3 (1.21 %)	0 %
Total	45 (100 %)	248 (100 %)	18.15 %

Table 11: Multiple Memberships and Membership Distribution by Sector

From the consortium perspective, we see clearly that multiple memberships are frequent, particularly for core and founder members. For standard settings, this could be understood in four very different ways: (i) multiple memberships increase convergence among the mobile OS consortia, thanks to inter-consortium knowledge diffusion and imitation; (ii) members assume that the platform variety will last and, consequently, multiple membership will open multiple markets; (iii) members expect that one platform will become a leader but, as they do not know which this will be, they are involved in all consortia; and (iv) a quest for complementarities among consortia, i.e. the members operate a labour division among the consortia, each consortium developing its competences on particular technological layers. Furthermore,

we can also explain a part of the multiple membership strategy by introducing the factor of switching costs. The transition from closed to open – carried out by Symbian and promoted by Android and LiMo – leads the actor to invest in new technological and organizational competences: without horizontal standards shared between consortia, it would be too expensive to be involved in every platform. This, therefore, makes it easier to participate in competing projects, which all exhibit the same characteristics of openness.

From the sector perspective, if we look at the centre of Figure 1⁶⁰ we can see the dominance of network, handset and semiconductor sector firms. In fact, they dominate both platform leadership and multiple memberships (see Table 12 and Table 11), while only 30% of consortium members belong to these sectors. This could demonstrate a stronger involvement by the hardware side of the mobile industry, compared with that of content and software providers. For Yamakami [2009, p. 4], “*considering this complicated stakeholder relationship, it should be noted that the mobile platform initiatives are still in an early stage and major players are struggling to identify the right standing position.*”

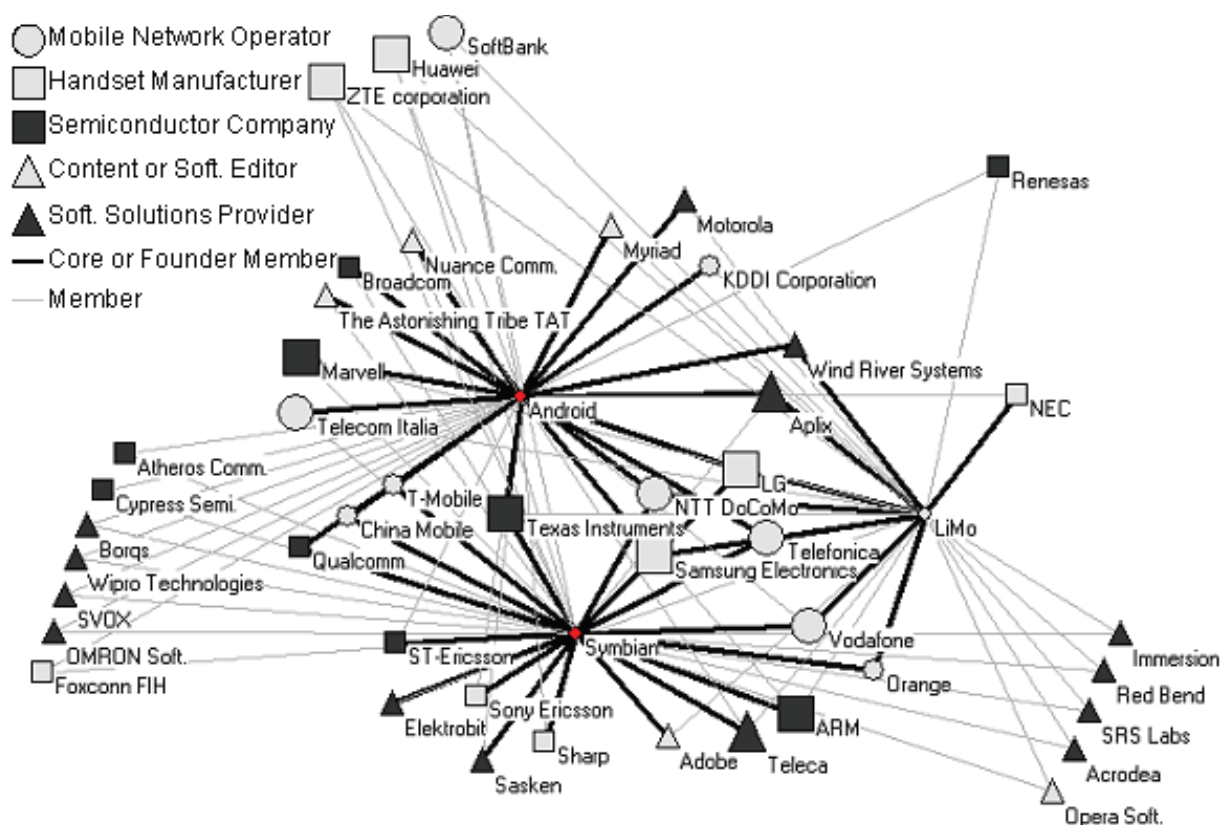


Figure 1: Inter-consortia relationship

60 The object size refers to the number of links: small = 2, large = 3. For readability, firms are pooled by sector and membership similarity.

Overall, one can question the durability of these consortia. Collaborations on mobile OS may be restricted to initiating the dynamic of co-evolution between platform adoption and the provision of related services, i.e. to solve “*the chicken and egg problem*”. From a vertical perspective, collaboration is useful to transform the indirect network externality (the provision of valuable services) into scale economies at platform level [Varian, 2004]. Klepper [1997] defends collaboration as having a transient stage in the product life cycle: the technological stage of a sector determines its organizational structure (disintegrated or integrated). Gille [2007] shares this idea for the mobile industry: the various complement providers are at different stages, hence their heterogeneous interest for disintegration. One reason to break this dynamic could be the revenue issue: is there a real economic model underlying consortia? or are firms simply setting aside their profit for the time being? For Greenstein [2010, p. 501]: “*intertemporal externalities also lead to divergence between private costs and benefits and industry-wide costs and benefits*”. However, faced with strong uncertainty about potential success, collaboration helps to protect against potential loss [Powell & Giannella, 2009] and to add unanticipated complements.

2.4. Summary, limitations and future research

In this work, we analyse the three main “open source” consortia dedicated to mobile OS. Thanks to this analysis, we find that open innovation is subject to various implementations according to its stakeholder concerns, with consortia leaders overtly trying to ensure platform integrity via vertical cooperation. However: (i) the only tool to prevent fragmentation is the hierarchical selection for contribution; (ii) the legal structure authorizes free riding; (iii) sectoral concerns exhibit a preference for openness in term of “free beer” rather than “free speech”. Consequently, the “*platform for platform design*” does not guarantee the emergence of collective standards within the platform. Finally, in the discussion, we analyse various scenarios concerning a transfer from vertical standardization (inside consortia) to horizontal standardization (between consortia).

Here, by focusing on the link between innovation and related organizational structure, and using the term “consortia” generically, we leave aside the diversity of interactions between the firms inside and outside the consortia. Likewise, because of the paper’s exploratory nature, some facts refer to the consortia’s philosophy rather than to observable acts. Consequently, there is ample scope for many more future research roadmaps: the profile of individual contributors is not analysed, and nor is that of the firms’ real contribution; what fragmentation of

platforms can be observed on the markets?; to what extent, do the relationships between firms outside the consortia impact the evolution of platforms and stakeholders? This allows us to envisage our future research in two directions. First, thanks to the amount of information provided by the consortia, the network and econometrical analysis could be greatly improved, particularly at the technological level. For instance, we are considering an analysis of the concrete technological modules shared between the consortia: what standards are spreading among the consortia, and who are their providers? Similarly, multiple membership could be explored by studying the evolution of the relationship between firms other than mobile OS providers. This evolution is also significant in terms of the entry and exit of firms from the consortia: the consortia membership is evolving, and this evolution requires further analyses. The second direction for future research concerns the need to develop a model for agent-based simulation, in order to analyse the various strategies involving mobile OS provision. This paper has attempted to bring to light a complex (horizontal, vertical and hierarchical) strategy, one which is rarely investigated as a whole using agent-based modelling.

Conclusion du Chapitre 2

Finalement, derrière le principe d'un *contexte d'open innovation*, nous pouvons voir la volonté de firmes d'organiser les projets d'innovation de manière originale et tout aussi innovante. L'étude de cas réalisée dans ce chapitre nous permet d'observer des résultats contrastés vis-à-vis de la création de standards. Même si l'approche « open source » est clairement à la base de ces expériences organisationnelles et technologiques, les objectifs différents des participants à ces consortiums – différents du fait de leurs origines sectorielles et de leurs perspectives de profit – conduisent à la coexistence de technologies aux standards plus ou moins diffusés entre les partenaires industriels. Un des faits les plus marquants, relatif à ces consortiums, est probablement l'annonce en novembre 2010 de l'arrêt de la Symbian Foundation, le système d'exploitation revenant dans le giron de Nokia, en tant que plateforme sous licence propriétaire. Nokia justifie ce revirement brutal, après moins de deux ans d'existence de la fondation, par la trop faible implication de partenaires extérieurs.

Pourtant, la baisse constante de Symbian sur le marché des systèmes d'exploitation mobiles⁶¹ ne peut servir d'argument à la remise en cause des plateformes libres : Android, avec une approche similaire, est le nouveau leader des systèmes d'exploitation pour smartphones avec 52,5% de parts de marché, au 3e trimestre 2011⁶². Ces succès contrastés nous encouragent à dépasser le caractère monographique de l'étude de cas. Même si l'étude de cas nous permet de mieux saisir les tensions existant entre les différents acteurs devant se coordonner et les enjeux clés de la coordination à l'intérieur des plateformes, elle s'avère relativement moins opérationnelle pour saisir l'impact des stratégies au regard de l'industrie dans son ensemble. Afin de dépasser cette limite, nous réutiliserons (dans le chapitre qui suit) certains concepts clés de ce chapitre, pour simuler des configurations industrielles et stratégiques traitées à l'échelle de l'industrie dans sa globalité, nous permettant d'étudier l'effet de la configuration de l'industrie sur les résultats des décisions technologiques et organisationnelles prises au niveau de la plateforme.

61 Alors qu'il fait partie des précurseurs des systèmes d'exploitation mobiles, avec son introduction en 1998 et qu'il en a été longtemps été le leader.

62 Source : Gartner, Press releases, 15 Novembre 2011.

– Chapitre 3 –

L'architecture technologique et organisationnelle des systèmes d'exploitation pour smartphones : un modèle de simulation

Table des matières du chapitre 3

– Chapitre 3 – L'architecture technologique et organisationnelle des systèmes d'exploitation pour smartphones : un modèle de simulation.....100

Introduction du chapitre 3.....	102
1. Les fondements théoriques et empiriques du modèle de simulation.....	105
1.1. La représentation des systèmes d'exploitation pour smartphones comme systèmes technologiques complexes.....	107
1.1.1. Modéliser les interdépendances technologiques : le modèle NK.....	107
1.1.2. Le retour aux projets de systèmes d'exploitation mobiles : décomposition hiérarchique et interfaces.....	110
1.1.2.1. Des interdépendances technologiques aux interdépendances entre technologies et fonctionnalités de la plateforme.....	111
1.1.2.2. La hiérarchie dans les projets logiciels : la logique de couches technologiques.....	113
1.1.2.3. La réutilisation de modules logiciels : le rôle des interfaces.....	116
1.2. L'évolution des systèmes d'exploitation : projets et organisations.....	119
1.2.1. La structure de l'évolution : projets et workpackages.....	120
1.2.2. Une évolution contrôlée.....	122
1.2.2.1. Le rôle des sponsors et l'intégration système.....	123
1.2.2.2. L'arbitrage entre technologie libre ou propriétaire.....	126
1.3. La question de la valeur des solutions.....	128
2. Un modèle de simulation de l'évolution architecturale des systèmes d'exploitation mobiles.....	132
2.1. Le modèle.....	132
2.1.1. Les éléments de représentation.....	133
2.1.2. Les éléments d'évolution.....	136
2.1.2.1. L'entrée de nouveaux acteurs.....	136
2.1.2.2. La création de projets.....	139
2.1.2.3. La R&D : une question de temps.....	143
2.1.2.4. La finalisation des projets.....	148
2.1.3. Les éléments de mesure.....	151
2.1.3.1. La commercialisation des plateformes : performance, prix et part de marché.....	151
2.1.3.2. Les mesures sur la structure organisationnelle et technologique des plateformes et de l'industrie.....	153
2.2. Les résultats des simulations.....	155
2.2.1. Fonctionnement global du modèle.....	156
2.2.2. Leadership technologique et architecture de la plateforme.....	159
2.2.3. L'interaction des stratégies individuelles avec les stratégies agrégées.....	166
Conclusion du Chapitre 3.....	174

Introduction du chapitre 3

L'objet de ce chapitre est de poursuivre notre réflexion sur les projets de développement de systèmes d'exploitation pour smartphones. Plus particulièrement, nous allons orienter notre analyse vers l'étude de modèles évolutionnistes portant sur le changement technologique. Notre objectif est de construire un modèle de simulation de la production des systèmes d'exploitation mobiles, basé sur ce corpus théorique. Notre point focal reste l'innovation architecturale, particulièrement telle qu'elle est en train de s'opérer dans l'industrie des services mobiles. En effet, les études de cas du Chapitre 2 nous ont permis de replacer les projets de développement de systèmes d'exploitation pour smartphones dans la dynamique historique et sectorielle des sponsors et de leurs partenaires à l'intérieur des projets. Pour autant, une partie de notre questionnement sur la coévolution de la technologie et de l'industrie reste sans réponses suite aux études de cas. Cette limite est en grande partie le fait de la méthode utilisée. D'une part, la grande quantité d'informations sur le fonctionnement des consortiums « open source » ne doit pas masquer le fait qu'il est difficile de trouver leur équivalent au sujet des plateformes propriétaires. Dans le même ordre d'idées, les plateformes étudiées sont récentes ou sujettes à des revirements stratégiques assez rapides. Il en résulte certaines difficultés à dépasser les déclarations d'intentions et, par conséquent, de voir les formes réelles prises par l'innovation. D'autre part, du fait de leur caractère monographique, les études de cas peinent à nous donner une vision d'ensemble de l'industrie. En particulier, un élément majeur pour comprendre l'évolution des plateformes mobiles est d'étudier les relations qui peuvent exister entre elles. En effet, West [2003] décrit en quoi les stratégies d'ouverture – et leurs résultats – dépendent fortement des stratégies des concurrents.

C'est dans cette optique que nous nous plaçons pour concevoir notre modèle de simulation. L'intérêt de cette méthode réside dans la possibilité d'analyser les systèmes complexes de manière relativement poussée et, donc, de dépasser certaines des contingences propres aux études de cas, voire à d'autres méthodes empiriques. Concrètement, les simulations permettent de générer autant de mesures et d'indicateurs que nécessaires pour appréhender un système complexe dans toutes ses subtilités. De même, il est possible de combiner des mesures d'ordres microéconomiques avec des mesures d'ordres mésoéconomiques et macroéconomiques. Le principe de cette méthode est d'analyser de front un ensemble d'hypothèses relevant de ces différents ordres. On parle alors de modèle de simulation « *history-friendly* », défini par Malerba et al. [1999, p. 3] : « *History-friendly models aim to capture, in stylized*

form, qualitative and 'appreciative' theories about the mechanisms and factors affecting industry evolution, technological advance and institutional change put forth by empirical scholars of industrial economics, technological change, business organization and strategy, and other social scientists ». Nous nous intéresserons particulièrement ici à la question de la représentation du système d'exploitation mobile, en tant qu'architecture technologique complexe. La résolution de cette question a représenté une grande partie de notre travail de recherche, nous reproduirons donc en grande partie ce cheminement, en partant d'un éventail relativement large de solutions théoriques pour arriver à un modèle offrant une solution synthétique. Également, nous avons pu voir dans le chapitre précédent que, d'un point de vue plus économique, les stratégies des firmes derrière ces projets de développement vont du rapprochement avec les communautés « open source » à l'intégration verticale.

Un autre intérêt des simulations est justement de faciliter l'articulation entre perspectives technologiques et perspectives organisationnelles. Pour le comprendre, nous faisons une légère incartade depuis les sciences sociales vers un des terrains d'origine des simulations. En effet, les simulations utilisées en recherche informatique et en ingénierie connaissent une évolution quasi paradigmatique – sur des bases transdisciplinaires – via les *algorithmes évolutionnaires* (ou *evolutionary computation*, EC) et le *design évolutionnaire* (ou *evolutionary design*) respectivement. Nous estimons donc qu'il existe une certaine porosité avec nos problématiques de modélisations. Pour Kicinger et al. [2005, p. 1947], « *evolutionary design is a branch of EC that integrates ideas from computer science (evolutionary algorithms), engineering (design science) and evolutionary biology (natural selection) to solve engineering design problems* ». De plus, « *the three main issues in applying [Evolutionary Algorithms] to an engineering design problem are: [1] selecting an appropriate representation for engineering designs; [2] defining efficient genetic operators; [3] providing an adequate evaluation function for estimating the "fitness" of generated solutions (points in the search space)* ».

Ces trois ensembles de questions vont nous servir de base pour structurer la première partie de ce chapitre. Avec une approche plus économique, ces ensembles renvoient à : (i) la représentation d'un produit (le système d'exploitation mobile) sous forme d'architecture technologique complexe ; (ii) les règles et stratégies industrielles organisant l'évolution de cette architecture ; (iii) la mesure des coûts et bénéfices propres à nourrir le processus de décision et à juger la valeur des résultats obtenus. En effet, l'objectif de cette partie est de présenter des faits stylisés et des travaux de simulation existants afin d'en tirer un ensemble structuré d'Observations servant de base concrète pour notre modèle de simulation.

La seconde partie reprend ces Observations sous forme de règles formelles, afin de donner la structure de fonctionnement logique de nos simulations. En effet, la simulation d'un système complexe doit s'opérer selon un équilibre délicat entre, d'une part, le réalisme et l'exhaustivité des processus complexes apparaissant dans le modèle et, d'autre part, l'interprétabilité des résultats obtenus. C'est pourquoi, le modèle tel qu'il est présenté dans ce chapitre est dédié, par sa construction, à l'analyse des questions relatives à l'architecture des systèmes d'exploitation mobiles. Certains éléments sont de ce fait très simplifiés, quand ils ne concourent pas à cet agenda. Ainsi, après avoir présenté le modèle de manière détaillée, nous présenterons les résultats issus d'une batterie de 10 000 simulations (chacune représentant une configuration stratégique de l'industrie). Notre objectif est d'obtenir des éléments de réponse quant au lien entre structure de l'industrie, en tant que regroupement de plateformes aux stratégies propres, d'une part, et, d'autre part, évolution technologique (architecture et performance technologique) de la plateforme au regard de sa propre stratégie. Nous organiserons donc ces résultats autour de deux blocs de Propositions, nous offrant des éléments de réponse à cette question. Le premier consistera à mettre en avant les contraintes architecturales auxquelles doit faire face la première plateforme qui entre sur le marché (le leader technologique), celle-ci ne pouvant que difficilement compter sur des interactions avec ses concurrentes. Également, nous nous intéresserons à la pérennité du leadership de ce premier entrant, pérennité qui n'est que relative, face à la structure générale des stratégies adoptées dans l'industrie. En le reliant aux projets concrets de développement de systèmes d'exploitation mobiles, ce premier point renvoie aux systèmes Symbian et BlackBerry qui ont connus un certain succès mais sont désormais en mauvaise posture. Le second point met face à face les différentes stratégies, afin de voir les conditions industrielles de leur réussite, puis plus particulièrement nous aborderons l'influence des partenariats industriels sur l'évolution de la plateforme. Ce second point nous permettra d'avoir un premier aperçu des enjeux économiques relatifs à l'évolution stratégiques des projets de systèmes d'exploitation mobile. C'est le cas de Symbian qui passe d'une organisation sous forme de consortium ouvert à différents fabricants de terminaux, à une fondation « open source » pour finalement revenir dans le giron de Nokia. de manière plus prospective, nous pouvons aussi y voir la tension subie par Google, visant à donner à Android une structure organisationnelle moins ouverte.

1. Les fondements théoriques et empiriques du modèle de simulation

Comme pour les chapitres précédents, notre approche s'appuie sur la proposition de Simon [1962] établissant qu'un moyen de réduire la complexité est de décomposer hiérarchiquement un système complexe en sous-systèmes. Nous retrouvons cette idée dans la notion d'architecture de la plateforme [Baldwin & Woodard, 2009] articulant une décomposition des systèmes en termes de modularité [Baldwin & Clark, 2000] avec un intérêt particulier pour la hiérarchie technologique. Au cœur du système se trouve la plateforme, que l'on peut relier à des produits dérivés grâce à des interfaces. En raison de sa transversalité, cette définition permet d'étudier une grande diversité de systèmes complexes (des produits aux organisations), aussi bien qu'elle facilite le passage du champ conceptuel de l'économie vers d'autres champs, tels que l'ingénierie système. Dans notre travail, nous associons les systèmes d'exploitation avec la notion de plateforme, les services mobiles avec les produits dérivés et les interfaces forment le lien entre eux⁶³. Nous mobilisons également les travaux de Murmann & Frenken [2006] qui ont réalisé un travail, relativement proche, de standardisation des concepts au niveau des produits, présentés comme des « artéfacts complexes ». Pour eux, les produits sont une *hiérarchie de sous-systèmes sur plusieurs niveaux (nested hierarchy of subsystems)*, dont les *composants centraux* de chaque sous-système (*core components*) forment le *dominant design*, à la différence des *composants périphériques (peripheral components)*. L'intérêt de cette approche pour notre travail est qu'elle permet d'aller plus loin dans la décomposition de la plateforme elle-même. La conséquence pour notre travail est qu'il faut aussi affiner le concept d'interfaces afin d'appréhender au mieux les liens qui apparaissent entre les différents composants d'un système d'exploitation. C'est ce que nous ferons dans la section 1.1.

Pour Meyer & Seliger [1998, p. 62], « *in software, the interfaces reign supreme, that is controlling their design and evolution can lead to long-lived systems and is one element of market domination. In fact, the interfaces between subsystems can easily be more important than the subsystems themselves. Microsoft, for example, effectively guides the innovation of thousands of independent software companies by having developed and promoted as a 'standard' the interface mechanisms that allow different programs to communicate with one another*

63 Cette définition des interfaces n'inclut pas les interfaces utilisateurs (*user interfaces* ou UI) qui font quant à elle lien entre le produit et son usager. Ces interfaces renvoient en effet plus à de l'interactivité qu'à de l'interopérabilité.

in a Web-centric distributed computing environment – known among software developers as ‘ActiveX’ ». Cet enjeu stratégique, lié à la maîtrise des interfaces, nous conduit dans la section 1.2. à analyser les choix stratégiques des firmes dans leur diversité, telle que nous pouvons l'observer sur le marché des systèmes d'exploitation pour smartphones. Ainsi, Murmann & Frenken [2006] nous encouragent à analyser l'architecture organisationnelle à la lumière de l'architecture du produit. Ils font référence ici aux travaux traitant de l'interdépendance entre structures technologiques et organisationnelles. Dans cette lignée, nous trouvons, par exemple, Brusoni et al. [2001] qui expliquent les interdépendances par le niveau de spécialisation en terme de connaissance, ou encore, dans le cas des projets logiciels, MacCormack et al. [2006] valident empiriquement leur *hypothèse de reflet (mirroring hypothesis)* entre organisation et technologie, dans la mesure où les logiciels commerciaux [« open source », respectivement] développés par des firmes ayant un couplage fort [faible] ont une architecture moins [plus] modulaire. Cette opposition entre logiciels commerciaux (ou propriétaires) et logiciels « open source » (ou libres) est au centre de notre analyse de la stratégie des firmes. Mais plutôt que de rapporter ces stratégies à une logique purement binaire, nous reprenons la grille d'analyse de l'open innovation utilisée au chapitre précédent, pour en faire la contrepartie organisationnelle des interfaces technologiques.

Ainsi, la création et l'utilisation d'interfaces entre sous-systèmes technologiques – en permettant la création d'un système complexe – génèrent des coûts et des bénéfices variables (monétaires ou non) selon les choix stratégiques des firmes, choix que l'on aborde en termes de définition de droits de propriété, d'implication dans la diffusion de connaissance technologique et de contrôle hiérarchique. La question de l'évaluation des coûts et des bénéfices des choix stratégiques est traitée dans la section 1.3. Cette question est relativement complexe, du fait des nombreuses interdépendances technologiques, organisationnelles et financières de l'industrie des services mobiles avec d'autres industries (télécommunications, logiciels, Internet, par exemple). Ainsi, les différentes solutions possibles s'insèrent dans un réseau de relations qui dépasse largement le système que nous modélisons. Par exemple, au niveau technologique, le processus de standardisation – qu'il renvoie à des interfaces permettant l'interopérabilité entre différents composants technologiques, ou à l'émergence de compatibilités entre différentes plateformes concurrentes – est difficilement séparable des compromis et standards existants sur des technologies proches et sur d'autres marchés (normes Internet, standards logiciels de facto, etc.), aussi bien que de l'histoire technologique et organisationnelle des firmes qui les promeuvent.

1.1. La représentation des systèmes d'exploitation pour smartphones comme systèmes technologiques complexes

Nous commençons cette section en présentant le modèle NK car il est à l'origine d'un ensemble important de travaux sur les systèmes complexes, en économie ainsi qu'en théorie et stratégie des organisations. Il offre de ce fait une entrée relativement claire et documentée sur le fonctionnement et la représentation des systèmes complexes. Néanmoins, tout en analysant ces systèmes comme étant modulaires ou quasi-décomposables, ces travaux s'appuient aussi sur l'idée que les interdépendances entre les différents composants sont néfastes à la décomposition des problèmes et, par conséquent, à la performance des organisations. La raison est que ces travaux s'intéressent principalement à de l'innovation modulaire, basée sur l'évolution des composants plus que sur l'évolution de l'architecture. Notre travail étant plus axé sur l'innovation architecturale, nous abordons la question des interdépendances non plus comme une contrainte exogène liée à la technologie, mais comme un résultat endogène lié à la stratégie des firmes [Baldwin & Clark, 2006]. C'est pourquoi nous nous basons sur les travaux de clarification et de standardisation des concepts d'architecture de plateforme et de dominant design, tout en construisant une formalisation des interfaces apte à reproduire leurs spécificités dans l'univers logiciel. En fait, dans le domaine des projets logiciels, la modularité émerge presque naturellement et fait partie des normes contemporaines de la programmation de logiciels [Parnas, 1972; Blume & Appel, 1999]. En conséquence, l'architecture des composants et de leurs interfaces est particulièrement plus explicite que pour d'autres produits.

1.1.1. Modéliser les interdépendances technologiques : le modèle NK

Dans la lignée de Simon [1962], Baldwin & Woodard [2009] et Frenken [2006a] partagent l'idée que la compréhension et la décomposition d'un système complexe passent par sa représentation. Baldwin & Woodard [2009] présentent la Matrice de structure (Design Structure Matrix, DSM)⁶⁴ comme un outil puissant pour représenter un diagramme des interdépendances d'une architecture de plateforme. Cette matrice est symétrique et binaire, c'est-à-dire qu'elle montre s'il y a dépendance d'un élément en ligne avec un élément (de la même plateforme) en colonne : en décomposant un logiciel en fichiers, nous pouvons de cette manière voir si un fichier (en ligne) dépend d'autres fichiers (en colonne). Or cette représentation

64 Voir MacCormack et al. [2006] pour une application de ces matrices à des projets logiciels.

graphique est particulièrement attractive pour relier la notion d'architecture de plateforme et le modèle NK de Kauffman [1989] (voir Encadré 1).

Encadré 1: Le modèle NK

Le modèle NK peut être analysé en deux blocs distincts : un *paysage d'aptitudes* (*fitness landscape*) et un algorithme d'exploration de ce paysage.

D'une part, le *génome* d'un organisme est constitué de N *gènes*. Chaque gène a une *valeur allélique* : 0 ou 1 (ce sont les différentes versions que peut prendre un gène). L'ensemble des valeurs alléliques au niveau d'un génome correspond au *génotype* que l'on peut alors représenter comme une chaîne binaire (par exemple, 011001, pour $N=6$). Chaque génotype octroie une *aptitude* (*fitness*) spécifique à l'organisme vis-à-vis de son environnement dans la mesure où il va définir certains de ses traits (avoir des yeux bleus, etc.). Par conséquent, pour le génotype, l'ensemble des niveaux d'aptitude dessine un paysage d'aptitude. Dans ce modèle, la contribution du gène à l'aptitude dépend aussi de la valeur allélique de K gènes liés (on qualifiera cette interdépendance entre gènes d'*épistasie*). Ceci s'exprime par :

$$F(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_i(x_i; x_{i1}, \dots, x_{iK})$$

où $F(x)$ est l'aptitude d'un certain génotype, en tant que moyenne de l'aptitude F_i de chacun des gènes i dépendant de l'épistasie avec les gènes. En fait, les relations épistatiques d'un organisme simulé sont choisies aléatoirement : par exemple, dans l'illustration 7, le gène 1 (1ère ligne) dépend des gènes 2, 6, 7 et 8.

D'autre part, l'exploration du paysage d'aptitude s'effectue en faisant muter l'allèle d'un gène : cela signifie que l'on tire une nouvelle contribution à l'aptitude, pour ce gène, ainsi que pour les gènes dépendants. Par exemple, si le gène 2 mute, on tire aléatoirement une nouvelle valeur selon la loi uniforme $U(0; 1)$ pour les gènes dépendants (même colonne) c'est-à-dire les gènes 1, 8 et 10. On garde la mutation si elle permet une amélioration de l'aptitude et ainsi de suite.

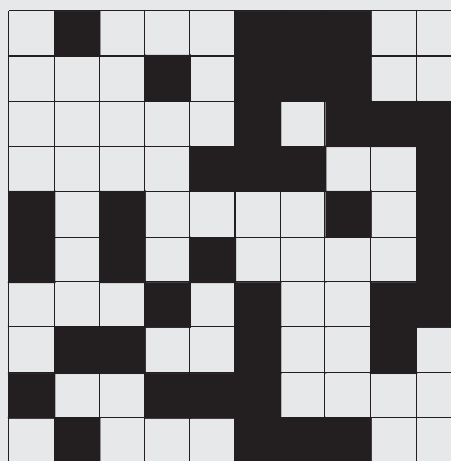


Illustration 5: Relations épistatiques aléatoires pour $N=10$, $K=4$. Les N gènes en ligne dépendent de K gènes en colonne.

Ce modèle est largement utilisé pour analyser la complexité de processus d'innovation¹, même s'il est issu de travaux en biologie, plus précisément de l'étude des dynamiques d'évolution des gènes. La distance avec la dynamique évolutionniste du changement technologique est relativement ténue si l'on considère que l'organisme biologique peut être vu comme un produit dont les *composants technologiques* (les *gènes*) renvoient à des *techniques* spécifiques (les *allèles*). Concrètement, les travaux que nous étudions ont dressé un parallèle entre ce modèle et la gestion de projets. Ils ont ainsi produit un ensemble de résultats, ayant un certain niveau d'abstraction, aidant à comprendre comment une organisation peut résoudre des problèmes complexes, en fonction des interdépendances ou des stratégies d'exploration de l'espace des opportunités. L'intérêt de cette approche pour nos travaux est que – en plus de four-

nir une représentation graphique d'un système complexe, comme le font les DSM – le modèle NK offre aussi une base de réflexion pour la construction de modèles de simulation.

Cependant, Valente [2008] explique que des adaptations doivent être effectuées pour réduire le caractère biologique et abstrait du modèle NK. Ainsi, il propose une relecture du modèle NK pour le rendre plus flexible et adaptable à des applications diversifiées : c'est ce qu'il nomme le modèle *Pseudo-NK*. Ce modèle présente trois différences avec le modèle NK : (i) les interdépendances et les valeurs alléliques ne sont plus binaires, on leur préfère différents niveaux d'interdépendances et un niveau infini de valeurs alléliques réelles ; (ii) la localisation de l'optimum du paysage d'aptitude est fixée en amont ; (iii) l'exploration du paysage peut se faire avec différentes distances de recherche (nombre de gènes que l'on fait muter à la même période). L'objectif est de développer une approche plus réaliste de processus évolutionnaires dont la résolution des problèmes s'effectue par des humains ayant des objectifs économiques. En particulier, l'intérêt repose sur la possibilité d'implémenter ce modèle à l'intérieur de modèles multiagents représentant des marchés, des organisations, etc.

Le modèle NK se révèle également limité pour une approche de modélisation orientée sur la modularité et la quasi décomposabilité. Ainsi, pour Frenken [2006a, p. 36], la modularité et la décomposabilité ne sont pas des concepts interchangeables : la décomposabilité « *holds that a decomposable system is no longer one system, but simply a collection of multiple system of smaller size. [...] A modular system is a system that cannot be portioned into subsystems such that no interdependencies (epistatic relations) exist between subsystems, but which contains subsystems, called modules, that are mediated by interfaces. These interfaces are elements of a system that connect subsystems such that the only epistatic relations between the subsystems are via the interface standards* ». Ainsi, à défaut de pouvoir observer des systèmes parfaitement décomposables dans le monde réel, quasi décomposabilité et modularité partagent l'idée que « *a nearly decomposable system [...] is one in which the probabilities of interaction within the subassembly (submatrix) are much higher than those of interaction outside of it* » [Langlois, 2002, p. 21]. Et donc, afin de pouvoir répondre à ces définitions, la plupart des travaux en économie utilisant des modèles NK ne peuvent pas s'appuyer sur des structures d'interdépendances aléatoires⁶⁵.

La stratégie de recherche pour ces travaux est alors de construire manuellement de telles structures, basées sur un niveau d'abstraction élevé du système technologique ou économique

65 Comme on le ferait en biologie, l'Illustration 5 dans l'Encadré 1 montre des relations épistatiques aléatoires où même la quasi-décomposition semble impossible.

que l'on cherche ainsi à représenter. Par exemple, des travaux étudient de cette manière le lien entre décomposition du problème et décomposition de l'organe de décision en fonction des incitations et de l'autorité [Dosi et al., 2003; Rivkin & Siggelkow, 2003] ou de changements dans l'environnement [Siggelkow & Levinthal, 2003; Brusoni et al., 2004]. Ensuite, même si les travaux économiques s'inspirant du modèle NK ne se prêtent pas à la simulation d'innovations architecturales [Frenken, 2006a, p. 39], certains modèles étudient la question de l'architecture des organisations. Par exemple, Rivkin & Siggelkow [2007] utilisent des DSM construits à partir d'observation de processus de décision du « monde réel » pour construire dix archétypes de relations épistatiques. De cette manière, ils montrent que « *holding fixed the total number of interactions among decisions [K], a shift in the pattern of interaction can alter the number of local optima by more than an order of magnitude* » [Rivkin & Siggelkow, 2007, p. 1068]. Winter et al. [2007] utilisent une approche similaire, mais avec un niveau plus élevé d'abstraction, en ajoutant une dimension cognitive à l'exploration du paysage d'aptitude. Également, Frenken et al. [1999] analysent les bénéfices pour une organisation d'accorder sa propre structure à la structure du problème complexe. Ethiraj & Levinthal [2002 ; 2004] vont dans ce sens en testant la capacité pour une organisation à découvrir la structure réelle d'un problème complexe, à partir de règles simples basées sur les opérateurs modulaires [Baldwin & Clark, 2000].

1.1.2. Le retour aux projets de systèmes d'exploitation mobiles : décomposition hiérarchique et interfaces

Si le modèle NK nous donne une première abstraction pour représenter et modéliser un système complexe, des ajustements doivent être opérés pour se rapprocher de notre problématique de modélisation des projets de développement de systèmes d'exploitation mobiles. En effet, les sous-systèmes technologiques composants un système d'exploitation pouvant être traités comme les gènes du modèle NK, l'abstraction doit néanmoins être poussée si l'on veut s'accorder à la définition d'architecture de plateforme de Baldwin & Woodard [2009] et au modèle de dominant design de Murmann & Frenken [2006]. Car, dans le modèle NK, où peut-on observer une hiérarchie entre plateforme et composants périphériques, entre sous-systèmes et interfaces, ou encore, entre différents niveaux de sous-systèmes ?

1.1.2.1. Des interdépendances technologiques aux interdépendances entre technologies et fonctionnalités de la plateforme

Une première modification consiste à passer d'une logique d'interdépendances entre éléments d'un même domaine (les interdépendances entre technologies ou entre gènes) à des interdépendances entre deux domaines : les interdépendances entre technologies et services fournis par la plateforme. Cette approche s'appuie sur le modèle de Saviotti & Metcalfe [1984], lui-même basé sur l'idée de Lancaster [1966] de définir les produits comme un ensemble de caractéristiques. Ainsi, les *caractéristiques technologiques* sont les caractéristiques *internes* du produit : ses composants technologiques. La combinaison de ces composants forme les *caractéristiques de services* du produit : ce sont des caractéristiques *externes* de la plateforme, telles que les usagers finals peuvent les observer.

Pour produire ce type de représentation d'un système, Murmann & Frenken [2006] font référence au modèle NK généralisé, décrit par Altenberg [1994]. Dans ce modèle, toujours d'inspiration génétique, les interdépendances (l'épistasie) relèvent de la *pléiotropie* d'un gène, c'est-à-dire l'ensemble des caractéristiques (des traits) observables de l'organisme qui sont affectées par un gène donné. L'ensemble des pléiotropies d'un génome forme alors une *carte génotype-phénotype*⁶⁶ (voir Illustration 6). Le paramètre K n'a plus d'utilité, la seule condition étant qu'un service (ou trait, en biologie) doit être relié à au moins une technologie (ou gène) pour exister. Le nombre de technologies affectant un service est, selon la même analogie, qualifié de *polygénie*. Dans une logique de décomposition hiérarchique, Murmann & Frenken [2006] considèrent que les composants centraux (la plateforme) sont les technologies ayant la pléiotropie la plus élevée, ces technologies pouvant aussi être des interfaces si elles permettent de relier plusieurs technologies (c'est le cas de la technologie de la première colonne dans l'Illustration 6).

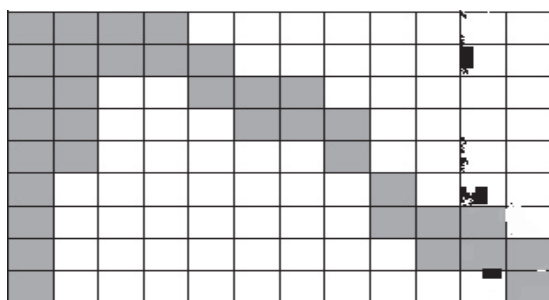


Illustration 6:

« Example of a genotype-phenotype map with 9 services characteristics (rows) and 12 technical characteristics (columns). Column 1 is an interface standard with a pleiotropy of 9. Column 2 is a core component with a pleiotropy of 5. All other components are peripheral with a pleiotropy of 2 » [Murmann & Frenken, 2006, p. 941]

⁶⁶ Le *phénotype* étant l'ensemble des traits observables de l'organisme.

En tant qu'abstraction, cette structure d'interdépendances a des caractéristiques intéressantes. Ainsi, en reliant des objets de deux domaines différents, cette forme d'abstraction est partagée par d'autres approches. Par exemple, Danilovic & Browning [2007] nomment ces cartes Matrices de Correspondance entre Domaines (Domain Mapping Matrices, DMM) et montrent leurs avantages (relativement aux DSM) pour gérer les projets de développement de produits complexes. De la même manière, Baldwin & Woodard [2009] présentent des cartes par couche (*layer maps*) permettant de visualiser la concurrence à l'intérieur d'une industrie : chaque couche représente un ensemble homogène de technologies, l'industrie est alors représentée par un ensemble de couches relatives aux différentes technologies complémentaires qu'elle assemble pour réaliser son produit. En positionnant acteur industriel sur ces différentes couches en fonction des technologies qu'il fournit, on peut visualiser la structure de l'industrie : soit la firme est présente sur une seule couche, si elle n'y a pas de concurrent, on considérera qu'il y a intégration horizontale, soit la firme est présente sur l'ensemble des couches, il y a alors intégration verticale.

Par ailleurs, cette abstraction permet de relier une représentation de la technologie (vision de l'ingénieur) avec l'effet de la technologie sur les services offerts. Ce second domaine est fortement dépendant de la vision qu'en a son promoteur (vision de l'entrepreneur, au sens schumpéterien). Par conséquent, cette abstraction fournit une connexion forte entre l'innovation technologique et l'organisation derrière le projet innovant. En effet, le niveau de décomposition atteint par un produit dépend de l'état de connaissance des techniques auxquelles il se rapporte [Buenstorf, 2005]. Ces différents éléments de représentation nous permettent d'établir une première observation que nous mobiliserons dans la construction de notre modèle de simulation.

Observation 1: La représentation techno-économique des plateformes

Les systèmes d'exploitation mobiles (en tant que plateformes) et les services mobiles (en tant que composants périphériques) forment un système issu de l'assemblage de *technologies* interdépendantes. Cet assemblage prend une valeur économique au travers des différents *services* qu'il offre aux usagers finals.

Pour autant, cette abstraction n'est pas encore bien adaptée à notre projet de recherche et ne peut donc être appliquée telle quelle. En effet, du point de vue de la méthode, Antonelli [2005, p. 55] nous oriente sur l'idée que « *knowledge emerges out of the inductive process of abstraction and generalization rather than from the deductive process of application of general ideas to specific circumstances* ». C'est pourquoi, dans une seconde étape, nous allons nous pencher plus avant sur les représentations propres à l'industrie informatique.

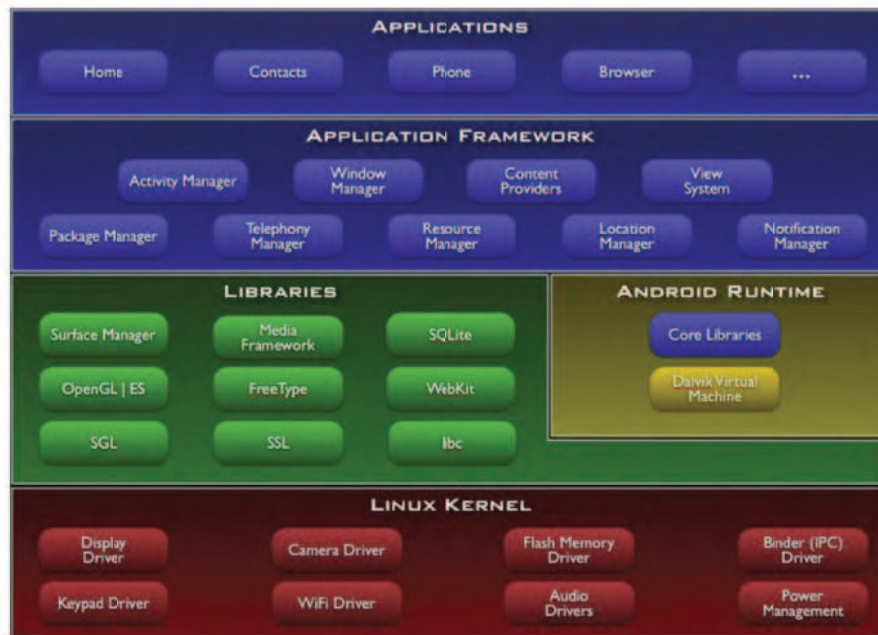
1.1.2.2. La hiérarchie dans les projets logiciels : la logique de couches technologiques

Maintenant posée la représentation en termes de technologies et de services, il s'agit pour nous de préciser les éléments concrets auxquels ces domaines correspondent. L'idée est qu'en utilisant des abstractions, « *empirical research on dominant designs requires a judgment about whether two designs are different or the same. The outcome of these judgments depends crucially on the level of resolution or granularity one brings to the analysis* » [Murmman & Frenken, 2006, p. 934]. Or avec une granularité trop large⁶⁷, le système d'exploitation n'est rien de plus qu'une interface entre des applications pour les usagers finals (software) et une infrastructure physique (hardware). Seulement, cette représentation « *can reduce the performance, increase the complexity, and limit the functionality of application programs* » [Engler et al., 1995, p. 2] d'où l'intérêt d'une granularité assez fine. L'Illustration 8 donne un aperçu des différents niveaux de granularité que l'on peut adopter en étudiant un système logiciel et met en avant l'imbrication hiérarchique de ces différents niveaux, de la ligne de code au système d'exploitation.

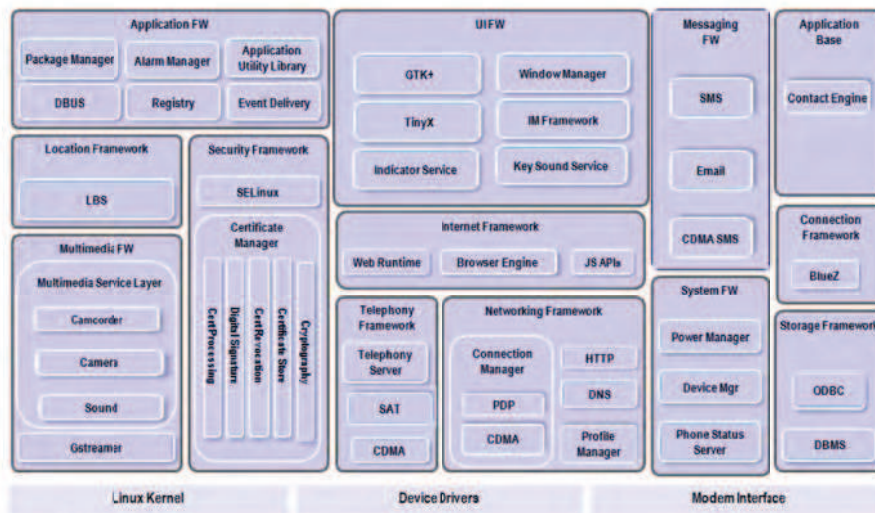
Comme corolaire du niveau de granularité que nous voulons adopter, nous devons aussi définir les frontières du système que l'on étudie. Puisque le système d'exploitation est constitué de modules logiciels, notre critère va être de nous limiter à un système technologiquement homogène. Ce système comprend donc le système d'exploitation (comme plateforme ou ensemble des composants centraux) et les modules logiciels complémentaires, c'est-à-dire les modules supportant les services mobiles. Par conséquent, nous excluons de notre modèle les éléments appartenant à l'infrastructure physique (les composants électroniques et mécaniques des terminaux et des réseaux mobiles). Également, au regard de la manière dont les systèmes

⁶⁷ La granularité d'un système correspond à la taille de son composant le plus petit, c'est-à-dire celui que l'on ne peut plus diviser pour en faire un sous-système. Dans notre travail, les plus petits éléments sont les *technologies*. Le choix d'un objet concret pour définir ces technologies nous donnera, par extension, la granularité du système que nous cherchons à représenter.

Android



LiMo



Copyright © 2010 LiMo Foundation

Windows phone

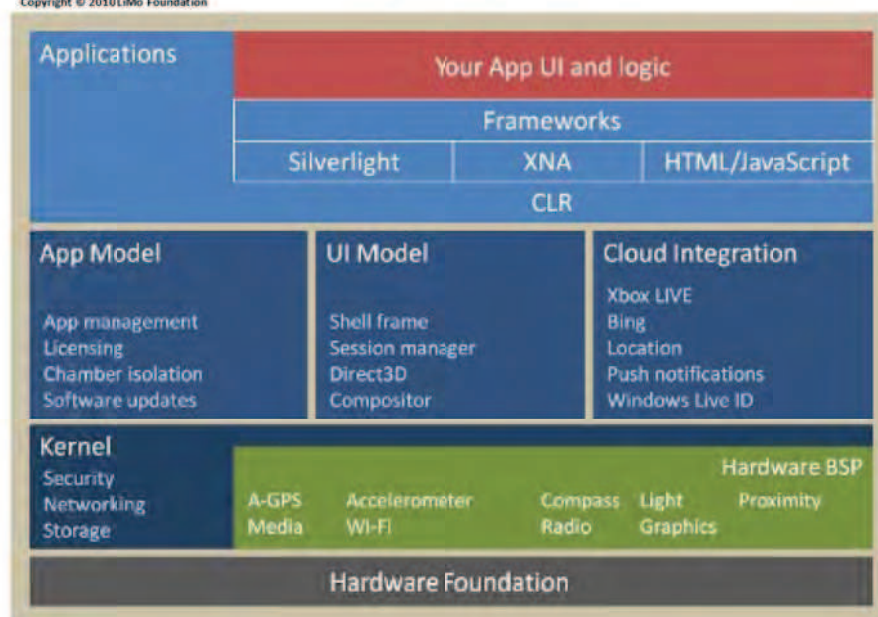


Illustration 7: Exemples d'architectures de systèmes d'exploitation mobiles

d'exploitation sont décrits techniquement à l'intention des développeurs œuvrant dans les projets (voir Illustration 8⁶⁸), nous pouvons voir que la lecture hiérarchique par niveaux (du hardware au software) est différente de celle présentée dans l'Illustration 8.

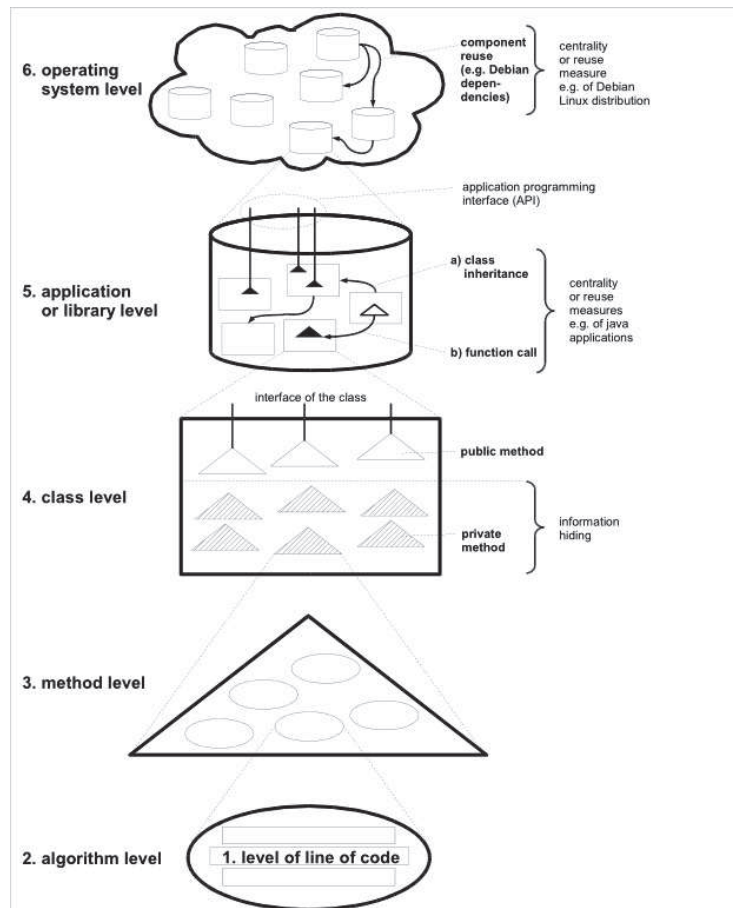


Illustration 8: Hiérarchie par niveaux des modules d'un système logiciel

source :von Krogh et al. [2009]

Observation 2: La frontière de la plateforme

Le système que nous étudions est homogène technologiquement : il ne contient que des composants logiciels (les *technologies*). Il comprend donc le système d'exploitation lui-même et les technologies complémentaires permettant de faire fonctionner les services mobiles

La logique verticale que nous pouvons observer correspond à la forme principale de modularité utilisée par l'industrie informatique : les modules logiciels sont organisés en couches superposées⁶⁹, chaque couche dialoguant avec les couches contigües par le biais d'interfaces.

68 Ces schémas sont issus des sites Internet des projets, afin d'aider les développeur à identifier les différents lieux où ils peuvent intervenir, ainsi que les technologies utilisées.

69 On parlera de *couche d'abstraction* (abstraction layer).

Pour autant, les couches ne sont pas aussi standardisées que l'architecture en sept couches du modèle ISO⁷⁰ qui sert de référence à cette approche, selon le type de logiciel ou de plateforme logicielle que l'on cherche à développer, le nombre de couches va varier. Horizontalement, cet arrangement vertical de couche permet de couvrir un éventail de services, pour autant, dans notre approche, nous nous en tenons à un niveau relativement agrégé. C'est-à-dire, par exemple, que deux jeux vidéos, s'ils suivent des trajectoires identiques (même structure technologique verticale), correspondront horizontalement à un seul service. Cela, car nous nous limitons ici à la dimension logicielle des plateformes mobiles, l'idée étant qu'un niveau supérieur de différenciation peut apparaître, mais par le biais de contenus multimédias ou culturels spécifiques : différents jeux utilisant les mêmes moteurs technologiques, différents morceaux de musique ou livres utilisant le même lecteur, etc.

Observation 3: La structuration horizontale des technologies

Horizontalement, une technologie appartient à une *couche technologique* au côté d'autres technologies. La couche basse permet la communication avec l'infrastructure physique du système de téléphonie mobile (le réseau et le terminal mobile), plus la couche est haute, plus la technologie se rapproche d'une fonctionnalité spécifique de la plateforme mobile.

Observation 4: La structuration verticale des technologies

Verticalement, l'assemblage de technologies couvrant les différentes couches produit un *service*. Le service ainsi défini renvoie clairement à une fonctionnalité de la plateforme (téléphoner, jouer, lire un email) plutôt qu'au différents produits commerciaux pouvant être en concurrence sur la même fonctionnalité (différents jeux, différents fournisseurs d'email, etc.)

1.1.2.3. La réutilisation de modules logiciels : le rôle des interfaces

La dernière étape de construction de l'abstraction – qui va nous servir de base pour la représentation des systèmes d'exploitation – consiste à introduire la représentation des interfaces. Ces dernières sont implicites dans l'Illustration 7. Pour le comprendre, il faut s'intéresser à la notion de réutilisation du code dans les projets logiciels. En effet, « *in software product lines, there are two kinds of assets, core assets and custom assets. A core asset con-*

⁷⁰ Ce modèle, développé par l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), décrit les différentes normes et les fonctionnalités propres aux différentes couches technologiques permettant le fonctionnement d'un réseau de communication numérique.

tains a set of domain specific but application independent components that can be adapted and reused in various related applications. A custom asset contains a set of application specific components. In software product line, core assets, which are designed for reuse within the specific domain, are more stable than custom assets, which are designed for a specific application » [Yu & Ramaswamy, 2006, p. 5]. Cette idée est cohérente avec les propositions de Murmann & Frenken [2006] aussi bien qu'avec Baldwin & Woodard [2009, p. 25] : « *a platform architecture displays a special type of modularity, in which a product or system is split into a set of components with low variety and high reusability, and another set with high variety and low reusability* », les composants centraux et complémentaires, respectivement.

Selon cette optique, Luer et al. [2001, p. 2] en proposent une définition : « *code reuse means that an application reuses a component by accessing its actual code (whether in source or in compiled form), loading it into memory, and then executing it* ». Ils montrent aussi que trois manières de réutiliser du code sont possibles :

- *copier-coller (copy-and-paste)* : des morceaux de codes sont directement réutilisés à l'intérieur du logiciel. À terme, le code copié peut ne plus être reconnaissable, du fait des changements éventuels qui l'éloigneront de sa source initiale.
- *librairie statique (statically linked library)* : les morceaux de codes réutilisés sont identifiables comme modules sous le nom de *librairie*. Mais la librairie est copiée dans tous les fichiers exécutables où elle est nécessaire. Par conséquent, chacun de ces fichiers doit être révisé si la librairie est modifiée.
- *librairie à lien dynamique (dynamic linking)* : les morceaux de codes existent en un seul exemplaire (un seul module) et sont accessibles pour les programmes qui en ont besoin. Il n'y a pas de révision du programme à effectuer si le module est modifié, mais cela augmente la complexité en générant des dépendances.

À l'exception du premier cas, ces liens définissent des interdépendances entre blocs de codes : ce sont les interfaces. Dans le cas d'un système logiciel, elles permettent de décrire son architecture, dans la mesure où « *we have a hierarchical structure if a certain relation may be defined between the modules or programs and that relation is a partial ordering. The relation we are concerned with is 'uses' or 'depends upon'* » [Parnas, 1972, p. 425]. En science informatique, elles sont explicites, car elles fournissent toute l'information nécessaire pour interagir avec le code, qui peut grâce à cela être caché. On les nomme alors *interface de programmation (Application Programming Interface, API)* : elles définissent les règles, le vocabulaire et les fonctionnalités permettant de relier les différents composants. En conséquence, cette définition s'éloigne de la définition de Baldwin & Clark [2000, p. 77], mais est cohérente avec la définition de Baldwin & Woodard [2009] : les interfaces, en tant qu'interdépendances entre les

composants logiciels, définissent l'architecture (ou *design*) : ce sont les « *design rules* ». Dans cette optique, nous adoptons une granularité relativement abstraite, relativement par exemple à la structure de l'Illustration 8 : ce que nous appelons la technologie, c'est-à-dire le composant le plus fin du système, est un bloc de code.

Partant de ces définitions, notre représentation des interdépendances entre composants à l'intérieur du système s'inspire de trois travaux de modélisation existants : le modèle SimCode de Dalle & David [2007], simulant un projet de développement de logiciel « open source » ; le modèle de compétitions de plateformes de Woodard [2006] ; et le modèle de percolation de Silverberg & Verspagen [2005], visant à explorer un espace technologique donnant lieu à l'émergence de trajectoires technologiques.

Observation 5: Les interfaces verticales, une logique de dépendance

Notre approche partage avec ces trois modèles une représentation de la technologie sous forme d'arborescence : hormis pour la première couche (la couche racine), chaque technologie a une relation de dépendance verticale vis-à-vis d'une (et une seule) technologie se situant sur la couche directement inférieure. Une technologie qui n'a pas de parent sur une couche inférieure n'a aucune valeur pour le service auquel elle appartient. Dalle & David [2007] justifient cette représentation – en s'appuyant sur les travaux de Simon [1962] – selon l'idée que tout nouveau bloc de code vient renforcer le système existant, en lui ajoutant de nouvelles fonctionnalités. Donc, en terme de granularité, notre représentation apparente les technologies à une classe ou à une librairie, voire à un ensemble cohérent et non décomposable de ces éléments.

Observation 6: Les interfaces horizontales, une logique de voisinage

Du modèle de percolation de Silverberg & Verspagen [2005] nous reprenons aussi l'idée d'un voisinage horizontal entre technologies (dans notre cas ce voisinage s'effectue entre les services), l'arborescence consistant alors pour un service à s'appuyer sur des technologies déjà utilisées par d'autres services. Ainsi, au côté des interdépendances (et des interfaces) verticales reliant les différentes couches technologiques d'un service, des interdépendances horizontales existent quand plusieurs services réutilisent la même technologie.

Observation 7: Les interfaces comme caractéristiques intrinsèques des technologies

Néanmoins, une hypothèse forte de notre représentation, liée aux définitions précédentes, est que les interfaces (les liens) entre les différentes technologies ne sont pas des composants spécifiques, mais sont des caractéristiques propres à la technologie.

Nous l'avons vu, les interfaces sont une règle dictant la manière dont on peut réutiliser cette technologie. Par conséquent, pour notre modélisation, il importe que les technologies soient dotées d'une adresse horizontale (le service auquel elles appartiennent) indiquant leur potentiel de réutilisation par d'autres services et d'une adresse verticale (vis-à-vis de la couche inférieure et de la couche supérieure) définissant leur interface avec les couches contigües. Cette représentation s'appuie sur la proposition de Brusoni & Fontana [2011, p. 71] : « *advanced technological knowledge about component interactions is used to fully specify and standardize component interfaces and, therefore, to decouple the design of the product architecture (i.e. arrangement of functional elements) from the design of each module* ». Maintenant posés les éléments de représentation de la technologie, il s'agit pour nous d'étudier l'organisation de la construction de la plateforme, autrement dit la manière dont les firmes vont décider d'articuler les technologies et les moyens de représenter cette organisation dans notre modèle de simulation.

1.2. L'évolution des systèmes d'exploitation : projets et organisations

Pour Hobday [2000], le processus d'innovation propre à un produit complexe gagne à être organisé sous forme de projets séparés plutôt que selon une gestion fortement unifiée. Cette gestion par projets a aussi des désavantages, en particulier une certaine faiblesse à assurer une bonne orientation des ressources de la firme, aussi bien qu'à suivre les directions de cette dernière et de lui faire bénéficier de retours d'apprentissage. L'organisation de l'innovation par les firmes doit donc reposer sur un équilibre complexe de flexibilité et de centralisation. C'est pourquoi nous commencerons par étudier l'organisation temporelle et la hiérarchie entre projets, pour ensuite nous focaliser sur les organisations derrière les projets et leur rôle dans la coordination.

1.2.1. La structure de l'évolution : projets et workpackages

L'analogie biologique ne se réduit pas à la représentation de la complexité, elle est aussi utile pour décrire son évolution. Pour Luer et al. [2001, p. 1] : « *evolvability is the property of programs that can easily be updated to fulfil new requirements; software that is evolvable will cost less to maintain. A component-based application is evolvable if it is easily possible to exchange individual components without changing others* ». Cela fait écho, en biologie, à l'idée que la « *modularity would enhance the ability of the genetic system to generate adaptive variants, which one can refer to as its 'evolvability'* » [Altenberg, 2005, p. 99] ou au concept de flexibilité en économie et gestion [Sanchez, 1995; Baldwin & Clark, 2000]. Notre recherche s'intéressant essentiellement à de l'innovation architecturale, l'évolution par mutation – telle qu'elle est pratiquée dans les modèles NK – ne concerne pas vraiment ce chapitre. C'est pourquoi nous traiterons surtout de l'évolution en termes d'émergence et d'extension des plateformes.

Dans cette optique, Altenberg [1994] propose la méthode de *sélection par construction* (*constructional selection*). À partir d'une carte génotype-phénotype, cette méthode consiste à remplir et améliorer un génome (qui est vide au départ), selon l'algorithme présenté dans l'illustration 9. De cette manière, la carte n'est pas construite aléatoirement *ex ante*, mais *in vivo* avec une dépendance de sentier. Le résultat diffère largement d'un modèle NK traditionnel (voir Illustration 10) : plus on avance dans le temps (plus les technologies sont sur la droite), plus le nombre de services qui dépendent des nouvelles technologies est faible. Cette méthode a comme principal intérêt d'appuyer des hypothèses théoriques sur l'évolution du système au cours du temps.

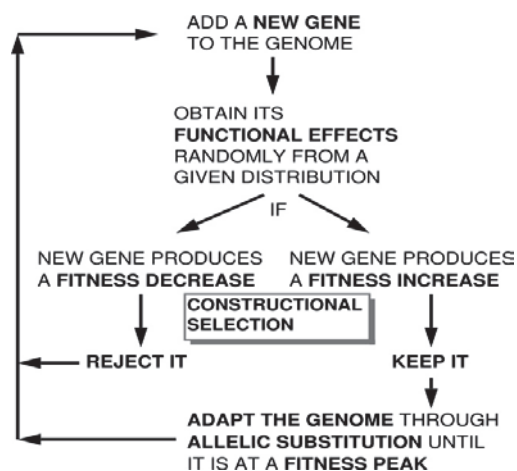


Illustration 9: Croissance d'un génome via une sélection par construction
source : Altenberg [1994]

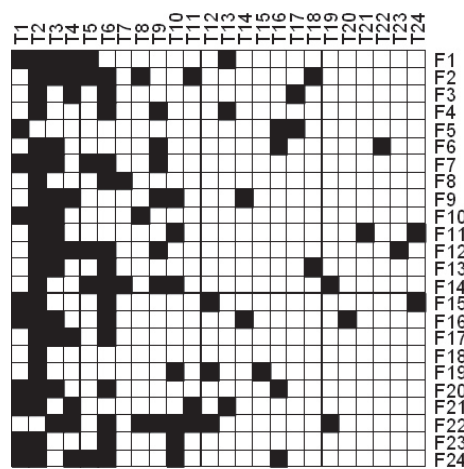


Illustration 10: Carte génotype-phénotype issue d'une sélection par construction

Ainsi, à partir de ce modèle, Murmann & Frenken [2006, p. 941] mettent en avant que « *once a design has settled on particular variants of core components, further advances are concentrated in peripheral components only* ». Dans le cas de projets logiciels, von Krogh et al. [2009] trouvent des résultats opposés : les composants périphériques sont introduits relativement tôt dans le projet et les composants centraux sont sujets à des changements périodiques. Pourtant, toujours pour des projets logiciels, MacCormack & Verganti [2003] montrent que, face à l'incertitude sur la technologie et sur la demande, les projets logiciels qui obtiennent les meilleures performances sont ceux qui investissent sur la conception de l'architecture lors des premières étapes du projet.

D'après nous, ces résultats contrastés viennent de représentations différentes de l'organisation dans le temps d'un projet logiciel. Pour Baldwin & Clark [2000, p. 246], « *a modular design process has three basic stages: (1) the formulation of design rules; (2) parallel work on hidden modules; and (3) testing and integration* ». Or dans le cadre d'un projet logiciel, cette séquence se reproduit de manière cyclique, dans la mesure où l'architecture du produit doit être améliorée aussi longtemps que de nouvelles interdépendances entre les composants sont découvertes ou créées. Par exemple, Narduzzo & Rossi [2003] étudient un ensemble de projets de logiciels open source et observent que l'architecture du logiciel est généralement héritée de systèmes logiciels existants, afin d'éviter les problèmes liés à la conception complète d'une architecture. De même, Yakob & Tell [2007] étudient un projet de plateforme mobile complexe, pour lequel une architecture basique est conçue autour d'un ensemble réduit de services, ensemble qui va s'étendre de manière cyclique avec l'ajout de nouveaux services. Dans notre modélisation, nous adoptons le mode de conception décrit dans ce dernier article. Ainsi, le projet global – consistant à construire une plateforme – est divisé en deux niveaux de projets.

Observation 8: Les workpackages comme lieu de l'innovation

Le premier niveau est appelé workpackage, ce sont les modules de travail où va s'effectuer l'innovation à une période donnée. Au tout début de la simulation, les plateformes sont dénuées de tout service et technologie. Un ensemble fini de services est choisi par chaque plateforme, chacun de ces services à développer prenant alors le statut de workpackage.

Observation 9: Les workpackages comme structure de projets

À l'intérieur de ces workpackages, le second niveau de projet prend place : chaque couche devant être pourvue par une technologie, des projets sont lancés pour développer ces technologies. Un workpackage est achevé quand l'ensemble des couches est rempli par des technologies, c'est la condition pour que le service soit opérationnel. Quand tous les workpackages sont devenus des services opérationnels, la plateforme est mise sur le marché. De nouveaux workpackages sont sélectionnés, donnant lieu à de nouveaux projets.

Observation 10: Projets de création, projets de réutilisation

Au delà de la relation de dépendance entre les technologies des différentes couches d'un service (voir Observation 6), une couche peut être pourvue par la réutilisation d'une technologie déjà développée pour un autre service ou pour une autre plateforme.

Observation 11: L'organisation temporelle des projets par générations

En conséquence des Observations précédentes, la plateforme évolue par paliers, c'est pourquoi nous ajoutons la notion de génération de la plateforme : les workpackages achevés d'une génération s'ajoutent aux workpackages des générations précédentes pour former la plateforme telle qu'elle est commercialisée.

1.2.2. Une évolution contrôlée

Le processus d'évolution d'un système complexe a comme contrepartie la possible apparition de *spéciation* [Frenken, 2006a, p. 46]. La spéciation consiste en une bifurcation du système en plusieurs trajectoires, adaptées à divers environnements de sélection du fait de l'hétérogénéité des usagers finals. Cependant, les plateformes logicielles sont plus flexibles que les plateformes physiques et que les organismes biologiques, car moins contraintes par les lois physiques : par conséquent, la spéciation peut prendre des formes très variées, les différents composants technologiques pouvant être assemblés ou ajoutés selon des architectures variées. Par exemple, lors de l'évolution d'une plateforme d'une génération à l'autre, le cas du système d'exploitation Android nous montre que l'architecture des interfaces que nous avons associées au chapitre 2 avec les *application programming interfaces* (API) : « *updates to the framework API are designed so that the new API remains compatible with earlier versions of the API. That is, most changes in the API are additive and introduce new or replacement functionality.*

As parts of the API are upgraded, the older replaced parts are deprecated but are not removed, so that existing applications can still use them. [...] You can determine the lowest possible platform version by compiling the application against successively lower build targets. After you determine the lowest version, you should create an AVD [Android Virtual Device] using the corresponding platform version (and API Level) and fully test your application »⁷¹.

Nous avons vu dans le chapitre 2 que Google accorde une grande importance à maintenir l'intégrité de sa plateforme, les modifications en pouvant être opérées sans son accord. Donc afin de contrebalancer la flexibilité technologique des systèmes logiciels, la bifurcation est rendue impossible par des choix stratégiques des porteurs de plateformes. Par exemple, Tee [2010] montre que pendant la période où Symbian était développé via Symbian Ltd (1998-2008), la coopération sur la plateforme (le système d'exploitation développé au sein de Symbian Ltd.) et la compétition sur l'interface usager (user interface ou UI, développée indépendamment par chacun des fabricants de terminaux) a produit une fragmentation du système, visible par l'utilisateur final. C'est pourquoi, quand Nokia racheta la totalité de Symbian, système d'exploitation et interface utilisateur furent réintégrés et cette situation fut maintenue avec le passage à la Symbian Foundation.

1.2.2.1. Le rôle des sponsors et l'intégration système

Les sponsors⁷² des systèmes d'exploitation mobiles, en tant qu'intégrateurs-systèmes, n'ont pas tous la même approche quant à la manière de fournir un système intégré. Pour Apple et RIM, l'intégration système couvre l'ensemble des sous-systèmes : leur système d'exploitation est développé en interne (iOS et BlackBerry OS, respectivement). Il n'est pas disponible pour des fabricants de terminaux concurrents ; les services tiers doivent être validés par le sponsor pour accéder aux boutiques d'applications en ligne (l'App Store et l'App World, respectivement) et même certaines technologies de réseau sont imposées aux opérateurs. En comparaison, Microsoft et Nokia (sponsor de Symbian OS) réalisent leur intégration sur un système moins important. Microsoft ne fabrique pas de terminaux, alors que Symbian OS est développé par (et pour) plusieurs fabricants de terminaux. Ils ont aussi des outils de validations pour les services tiers présents sur leurs boutiques en lignes, le Marketplace et OVI. Enfin, Google n'intègre pas directement le système Android. En fait, l'Open Handset Alliance (OHA) pro-

⁷¹ Source : <http://developer.android.com/guide/appendix/api-levels.html>

⁷² Déjà présentés au chapitre 2, les sponsors sont les détenteurs des systèmes d'exploitation mobile. Ce terme vient des travaux sur la standardisation, afin de différencier les technologies détenues par une firme identifiable, des technologies libres ou d'une base de connaissance communément partagées, ne pouvant donc pas (ou plus) être l'objet d'un brevet.

meut la diffusion et l'amélioration d'Android et l'Android Open Source Project (AOSP), dirigée uniquement par des employés de Google, s'occupe de donner les directions technologiques et opère la validation des services tiers. Ainsi, l'AOSP « *welcome all uses of the Android source code, but only Android compatible devices - as defined and tested by the Android Compatibility Program – may participate in the Android ecosystem* »⁷³.

Nous retrouvons donc l'idée que l'intégrateur système assure le maintien de la compatibilité technologique permettant la coordination entre organisations par la sélection et l'application de standards technologiques [Steinmuller, 2003], accélérant l'innovation à l'intérieur de la plateforme. Par conséquent, nous voyons les standards comme les règles à l'origine de la formation des interfaces. Et, en même temps, les interfaces existantes influencent ces règles via des compromis entre organisations. C'est donc le mode de cadrage des interfaces et des standards qui va nous servir de lien entre abstractions organisationnelles et technologiques. Dans cette optique, nous distinguons deux objectifs au processus de standardisation : la création de compatibilité à l'intérieur d'une plateforme et la création d'interopérabilité entre plateformes.

Le premier objectif nous semble proche de ce que Steinmuller [2003, p. 135] qualifie de *standards locaux (local standards)*, c'est à dire des standards « *that are unpublicised and used internally as a means of co-ordinating and dividing labour among different organisations* ». Par leur entremise, il est plus simple d'assembler des composants dont le processus de développement est faiblement couplé, du fait d'une architecture modulaire du produit complet [Sanchez & Mahoney, 1996]. Également, l'existence d'interfaces standardisées à l'intérieur de la plateforme diminue la nécessité d'un recours à l'autorité hiérarchique, dans la mesure où l'assemblage peut générer une augmentation des coûts de transaction et de gouvernance quand la communauté des fournisseurs de modules, ou le nombre de modules lui-même croît. Cela fait écho à l'idée que les standards permettent de simplifier le processus de validation, en édictant des règles connues de tous. D'autant mieux que ces règles, si elles sont connues dès le départ par les participants, réduisent le risque de voir une contribution rejetée par décision hiérarchique, alors que le module est déjà terminé ou bien avancé. Ainsi, le standard donne par extension la liste des composants technologiques compatibles. Néanmoins, l'objectif de créer de la compatibilité à l'intérieur de la plateforme peut se révéler plus compliqué si l'on introduit de la dynamique. L'évolution du cœur de la plateforme peut générer des problèmes de compatibilités vis-à-vis de composants périphériques développés pour d'anciennes versions de la plateforme (*backward compatibility*). De même que la création de composants périphériques

73 <http://source.android.com/faqs.html>

nécessite de choisir un niveau de compatibilité avec des versions plus anciennes de la plateforme (*forward compatibility*). Ces deux derniers enjeux peuvent devenir un facteur d'inertie, pour ne pas dire sclérose, pour la plateforme.

Le second objectif fait référence à la création de standards d'interopérabilité entre plateformes. Cet objectif est largement répandu dans l'électronique grand public et les industries de réseaux, du fait des externalités de réseaux qu'il peut générer. Dans la logique de couches technologiques (telle qu'elle est utilisée dans l'ingénierie logicielle et telle que nous l'adoptons dans notre modélisation), l'interopérabilité se fait par l'usage d'un standard identique sur une même couche et partagé entre plusieurs plateformes. En regardant l'industrie dans son ensemble, nous pouvons alors observer pour chaque couche l'existence de standards concurrents ou partagés entre les plateformes. Par exemple, les technologies de réseaux mobiles (GSM, CDMA, W-CDMA etc.) partagent des standards horizontaux afin de permettre à un usager de communiquer avec un autre usager quel que soit l'opérateur de réseau mobile de chacun. D'une manière générale, pour des entrants spécialisés, la standardisation horizontale d'autres couches simplifie leur entrée dans l'industrie. L'émergence de ces standards, nous l'avons vu précédemment, peut se faire *de facto* par la guerre des standards ou *de jure* par la normalisation. Également, les différents acteurs industriels peuvent travailler collectivement pour la définition des standards d'interopérabilité de l'industrie, par le biais d'organismes de normalisation (ou standard committee). Nous avons par exemple traité de l'effort unifié depuis mars 2010 du WAC⁷⁴ et de LiMo⁷⁵ pour produire, via la plateforme LiMo, un ensemble de standards disponibles pour toute l'industrie. Toutes les plateformes sont potentiellement concernées, dans la mesure où, en ralliant des connaissances sur plusieurs champs technologiques (propres aux différentes couches technologiques) et en partageant des standards entre plateformes, l'organisation derrière la plateforme peut produire un assemblage de composants cohérent horizontalement, verticalement et évolutivement. La structuration du produit selon une logique de plateforme et de composants complémentaires est fortement liée à la création de standards. Pour Meyer & Seliger [1998, p. 62], il y a « *an even more important market advantage enabled by platform thinking and execution. If the developer builds and clearly communicates methods or techniques by which other companies or individuals can build modules that operate in or on the underlying platform, it has created the opportunity to become the standard or basis of large-scale innovation* ». Donc, au-delà de l'inclination des acteurs envers

74 Association internationale des principaux opérateurs de réseau.

75 Plateforme mobile basée sur Linux.

la création de standards, cette création repose aussi sur un effort volontaire de partage de technologies et de connaissances relatives à ces technologies.

Observation 12: La prise en compte de la perte d'intégrité et de la fragmentation

Notre modèle doit pouvoir faire état de technologies compatibles. Deux dynamiques sont alors en jeu. D'une part, l'utilisation d'une technologie compatible – comme standard local (utilisée uniquement à l'intérieur de la plateforme) ou standard d'interopérabilité (partagée entre les plateformes) – permet d'accélérer le processus de développement de la plateforme, voire de l'ensemble des plateformes concurrentes, tout en produisant une perte d'intégrité en comparaison du développement systématique de technologies ad hoc pour chaque service. À contrario, l'absence de standards d'interopérabilité, partagés entre les plateformes, est un élément de variété (différenciation), mais aussi de fragmentation de l'offre.

1.2.2.2. L'arbitrage entre technologie libre ou propriétaire

Nous avons vu dans le chapitre précédent que pour les projets logiciels, une grande partie du raisonnement sur l'accessibilité des connaissances propres aux composants logiciels peut se résumer en terme de propriété intellectuelle. Cela consiste alors à opposer une stratégie de licences propriétaires (*closed source* et *copyright*) à une stratégie de licence libre (*open source* et *copyleft*). Pour autant, en tant que plateforme rassemblant de nombreux composants, les systèmes d'exploitation mobiles voient coexister en leur sein divers degrés de droits de propriété. Nous avons ainsi vu que la décision finale sur le type de licence adoptée pour un composant est à la discrétion de son contributeur, même pour des plateformes adoptant la philosophie « open source ». Par exemple, en dépit de son noyau (kernel) basé sur Linux, Android accepte des composants propriétaires alors qu'Apple – qui défend plutôt une stratégie propriétaire – a aussi construit le système d'exploitation de l'iPhone (iOS) autour d'un noyau ouvert (Darwin).

Dans notre recherche, la question de la licence renvoie directement à la question de la réutilisation de composants logiciels et, par conséquent, à la création des contreparties organisationnelles résultant de la création d'interfaces technologiques. En parallèle, la création d'interfaces dans un système modulaire permet de « cacher » de l'information sur les modules, seule la connaissance des interfaces est nécessaire pour réaliser l'assemblage. C'est le principe d' *information hiding* de Parnas [1972] repris par Baldwin & Clark [2000]. Dans un projet logiciel, la documentation des interfaces est une source importante de diffusion de l'information

à des tiers. Elle s'opère en particulier par la création et la distribution d'un kit de développement logiciel (Software Development Kit, SDK) qui contient l'ensemble des outils et connaissances nécessaires à la production de services complémentaires au logiciel ou à la plateforme pour lesquels il a été conçu. Par exemple, l'accès à faible coût⁷⁶ à des SDK bien documentés peut expliquer la croissance rapide des boutiques en ligne de services mobiles. Cette question de la documentation des interfaces est d'importance, puisque, dans les projets « open source », l'objectif est finalement de divulguer toute l'information : « *the 'no hiding' principle allows developers to undertake much more sophisticated software engineering activities, such as re-defining modules and interfaces specifications in response to the emergence of new interdependencies between separate modules. This is often the case in the introduction of radically new or substantially complex features in stable projects* » [Narduzzo & Rossi, 2003, p. 27].

Or dans un univers logiciel où les firmes adoptent des stratégies hybrides, mêlant logiciels libres et logiciels propriétaires [West, 2003; Bonaccorsi et al., 2006], les systèmes d'exploitation n'échappent pas à cette tendance. Dans cette optique, West & O'Mahony [2008] élargissent le débat logiciel libre / logiciel propriétaire autour de l'idée d'une tension entre *contrôle* et *ouverture* : le contrôle permettant un meilleur alignement entre l'investissement du sponsor dans la communauté et ses objectifs en terme de produit fini, là où l'ouverture permet au contraire d'attirer un plus grand nombre de partenaires. Ils notent également que l'ouverture ne peut aussi qu'être de la *transparence*, comme le droit de réutiliser la plateforme et la possibilité d'en comprendre le fonctionnement, plutôt que de l'*accessibilité*, comme le droit d'influer sur la trajectoire d'évolution de la plateforme.

Dans cette optique de formes hybrides de propriété intellectuelle, Shah [2006] montre que la présence de développeurs indépendants qui restent attachés aux projets auxquels ils ont participé (en tant que hobby) est indispensable pour maintenir la viabilité et la compatibilité des modules logiciels. Pour autant, leur présence et leur contribution – même si, à court terme, elles ont vocation à répondre à leurs besoins pressants – peuvent ne pas se maintenir à plus long terme si le sponsor envoie de mauvais signaux : parmi ces signaux, nous pouvons remarquer la réappropriation de codes jusqu'alors libres ou, encore, un contrôle trop autoritaire (sur l'évolution du code, sur les outils de communication comme la mailing-list).

⁷⁶ Par exemple, gratuit pour l'iPphone (mais nécessité de s'enregistrer comme développeur, pour 99\$, pour pouvoir distribuer ses applications), gratuit pour Android et BlackBerry qui s'appuient sur les outils de développement de Java.

Observation 13: La diversité des organisations

Nous devons tenir compte de trois formes d'acteurs participant à l'évolution de la plateforme : les sponsors, les firmes partenaires et les hobbyistes. Chacun ayant des droits et des comportements différents sur la plateforme et sur les projets. Le sponsor est à l'initiative de la création du système d'exploitation, dont il coordonne (ou gère) l'intégration. Il peut aussi faire appel à des partenaires qui doivent alors se plier aux spécifications technologiques et organisationnelles édictées par le sponsor. Dans le cas précis des projets « open source », les hobbyistes forment une catégorie particulière de partenaires, en tant qu'individus participants à un projet qui devient alors communautaire.

*Observation 14: L'arbitrage libre / propriétaire
au niveau des technologies*

Nous adoptons une vision binaire : une technologie est soit sous licence libre, soit sous licence propriétaire. La différence entre les deux va se jouer sur la nécessité de demander la permission de réutiliser la technologie (propriétaire) ou non (libre) [Pénin, 2008] . En parallèle, une technologie libre sera représentée comme ne présentant pas d'informations cachées, alors qu'une technologie propriétaire ne présente que des interfaces, sauf pour son concepteur.

*Observation 15: L'arbitrage libre / propriétaire
au niveau des stratégies*

Le côté binaire des droits de propriété sur les technologies est étendu à un continuum allant d'une préférence pour le libre à une préférence pour le propriétaire. Le positionnement sur ce continuum va orienter les choix de la firme entre les deux formes de droits de propriété et en cas de technologie propriétaire, nous l'étendons à l'inclination ou non, à distribuer des licences (selon une logique d'open innovation).

1.3. La question de la valeur des solutions

La valeur des solutions adoptées par les firmes, quant à l'évolution de la plateforme, soulève plusieurs questions. Dans les modèles NK, deux formes d'évolutions sont possibles, soit la création d'un lien de dépendance d'une technologie à une autre technologie ou d'une technologie à un service (forme architecturale), soit par l'évolution d'une technologie (forme modulaire). Quelle qu'en soit la forme, cette évolution se traduit par la mesure d'une performance

de l'option choisie en terme d'aptitude (*fitness*) de cette option (si elle est adoptée) relativement à l'environnement. Or la performance ainsi obtenue nous conduit à nous interroger sur deux points : la méthode de calcul de la performance et la pertinence du résultat obtenu comme information d'ordre économique.

Par rapport à la méthode de calcul, au-delà des aspects techniques (présentés par Ganco & Hoetker [2009]), nous pouvons retenir deux approches : le tirage aléatoire et la définition d'un optimum technologique. Le tirage aléatoire correspond à la méthode courante des modèles NK : chaque point du paysage d'aptitude (*fitness landscape*) qu'il soit atteint par modification de la technologie (forme modulaire) ou par modification de l'architecture (forme architecturale) à une hauteur indiquant la performance (*fitness*) décidée de manière aléatoire : on parlera de pics (*peaks*) pour décrire les points culminants de ce paysage. L'optimum technologique apparaît dans le modèle Pseudo-NK [Valente, 2008] qui est initialisé à partir d'un pic fixé à l'avance, mais qui peut bouger au cours des simulations (forme modulaire uniquement). Or la représentation de l'architecture que nous avons adoptée s'éloigne sensiblement de la représentation adoptée par les modèles NK : plutôt que d'explorer un paysage d'aptitude, les firmes façonnent le paysage. Par conséquent, la mesure de la performance technologique ne peut pas dépendre uniquement de la création d'un lien (d'une interface) entre des technologies, elle doit aussi tenir compte des caractéristiques des technologies reliées et de leur positionnement hiérarchique à l'intérieur du service.

La pertinence d'une mesure en terme d'aptitude a été critiquée récemment, car – à la différence des organismes biologiques – les organisations du monde économique ont d'autres objectifs. Autrement dit, il convient de distinguer entre ce qui peut être une évolution réussie d'un point de vue technologique et son succès d'un point de vue industriel. Dans cette optique, des modèles de simulation récents (Ciarli et al. [2008]; Marengo & Valente [2010] par exemple) incitent à représenter aussi une évolution de la demande à l'intérieur du modèle. Il s'agit néanmoins, pour nous, d'éviter une trop grande complexité au niveau de la demande qui pourrait rendre plus opaque la dynamique effective au niveau de l'industrie. D'autant plus qu'en introduisant la demande, la question du prix et des coûts de production devient une variable d'importance. Dans les modèles évolutionnistes, prix et coûts de production sont reliés de manière assez mécanique : le prix correspond aux coûts de production auxquels on ajoute une marge (*markup*). Cette approche se veut à la fois plus réaliste et plus simple à modéliser qu'un prix fixé par maximisation du profit. La question est alors de savoir ce qu'on entend par coût de production pour la création de technologies logicielles.

En effet, ces dernières sont l'objet de coûts fixes élevés, liés pour l'essentiel à l'emploi d'une main-d'œuvre qualifiée (les développeurs) et de coûts marginaux de production quasi-nuls, les biens numériques étant reproductibles sans limite et à un coût très faible. En parallèle, la stratégie libre permettant la réutilisation de code gratuitement, le modèle de simulation doit pouvoir tenir compte de firmes supportant les coûts de production de composants libres, tout en les distribuant à un prix nul. On retrouve derrière cela les logiques de *coopétition* [Nalebuff & Brandenburger, 1997] et d'*open innovation* [Chesbrough, 2006] (présentées au Chapitre 1) qui consistent, à l'intérieur d'un service, à coopérer ou fournir librement les composants de certaines couches afin de pouvoir distribuer des technologies commerciales sur d'autres couches, selon une logique de subventions croisées. Cette stratégie peut aussi dépasser la plateforme mobile. Pour les acteurs historiques de la téléphonie mobile (opérateurs de réseaux et fabricants de terminaux), les services mobiles ne sont pas une source principale de revenus : cela correspond à ce qu'Odlyzko [2001] résume dans la phrase « *content is not king* ». Pour les acteurs du logiciel, de l'Internet et des industries culturelles, la stratégie de subventions croisées peut s'opérer d'un mode d'utilisation à un autre : du téléphone vers la télévision, l'ordinateur de bureau, etc.

Par ailleurs, les aspects commerciaux liés au développement de la plateforme ne sont pas les seuls aspects que l'on peut prendre en compte. Dans une logique d'innovation architecturale, nous pouvons aussi nous pencher sur un ensemble de coûts et bénéfices indirects, liés aux choix stratégiques des acteurs. Par exemple, la part de marché, en ce qu'elle donne une idée de l'attractivité de la plateforme, est une information largement utilisée. Également, le facteur temps nous semble être un élément digne d'intérêt. Dans une industrie où le changement technologique est extrêmement rapide et où les effets de réseaux augmentent l'avantage du premier innovateur, la capacité à réaliser rapidement des innovations peut se révéler avantageuse. Néanmoins, les possibilités de coordination entre firmes par le partage de technologies, voire l'émergence de standards collectifs, rendent plus hasardeux ce genre d'anticipation.

Partant de ce constat, nous avons vu que les simulations sont une méthode particulièrement pertinente pour analyser le dénouement de ces dynamiques contradictoires. Pour autant, les modèles existants sur lesquels nous nous basons doivent aussi être sélectionnés afin de maintenir un bon équilibre entre exhaustivité (réalisme) et interprétabilité des phénomènes simulés.

Observation 16: La modélisation de la demande

À la manière de Malerba et al. [2008] , il n'est pas nécessaire de modéliser entièrement des usagers finals faisant leur sélection de systèmes d'exploitation. Cela permet, en parallèle d'éluder un approfondissement des caractéristiques de ces usagers. Leur modèle s'applique à calculer une « propension » d'achat pour les différents systèmes commercialisés, basée sur la performance, l'inverse du prix et les parts de marché de la période directement antérieure. Par extension, nous pouvons dans notre modélisation en déduire des parts de marché.

Le travail de synthèse opéré dans la première section de ce chapitre s'est particulièrement porté sur la représentation des systèmes d'exploitation comme des systèmes technologiques complexes. Ce travail s'appuie sur le cheminement de notre recherche. Au départ se trouve le modèle NK et ses différentes applications à des questions économiques. Nous en tirons une représentation prenant la forme d'un système de technologies interdépendantes. L'architecture des interdépendances s'appuie sur l'étude de projets logiciels, en introduisant des éléments de hiérarchie entre technologies et une certaine dépendance de sentier propre à l'endogénéité du processus de construction de cette architecture. Les interdépendances entre technologies renvoient donc à une logique de dépendance verticale : les couches supérieures d'un service réutilisant les technologies des couches inférieures. Mais cette réutilisation peut aussi se faire de manière plus dynamique, quand, horizontalement, une couche est pourvue via la réutilisation d'une technologie existante plutôt que par la création d'une nouvelle technologie. Ce principe permet de faire le lien entre l'évolution de l'architecture et les choix stratégiques des firmes qui y concourent. L'architecture qui en résulte peut alors être analysée au travers des concepts de variété, fragmentation et intégrité du système d'exploitation et des services mobiles connexes. En parallèle, les firmes se regroupent autour de projets coordonnées par le sponsor. Les plateformes évoluent selon un continuum de stratégies allant d'une approche totalement libre à une approche totalement propriétaire. Le résultat de l'innovation peut alors être analysé par l'architecture technologique de la plateforme, mais aussi par des indicateurs plus économiques : performance, prix, structure de l'industrie.

2. Un modèle de simulation de l'évolution architecturale des systèmes d'exploitation mobiles

À partir des observations énoncées dans la section 1. de ce chapitre⁷⁷ et afin d'approfondir notre compréhension du lien entre structure de la technologie et structure de l'industrie, nous poursuivons maintenant notre recherche sur les bases d'un modèle de simulation. Dans une première section, nous allons présenter la structure et le fonctionnement formalisé du modèle de simulation en gardant une organisation en trois blocs : la représentation des systèmes d'exploitation sous forme de système complexe, les principes d'évolution du modèle et la mesure des variables clés. Dans la seconde section, nous présentons les résultats des simulations autour de deux points : l'effet de la temporalité de l'entrée sur le marché sur la structure de la plateforme et l'effet des interactions avec les stratégies globales existant au sein de l'industrie.

2.1. Le modèle

Parallèlement à son intérêt pour notre recherche, la question de la représentation du problème que l'on veut traiter a aussi un aspect pratique lié à la programmation du modèle de simulation. En effet, nos simulations sont réalisées grâce à la plateforme LSD (Laboratory for Simulation Development) développée par Marco Valente (voir par exemple Valente & Andersen [2002]). Cette plateforme répond au paradigme de *programmation par objets*, dont la principale caractéristique est de représenter les différents concepts sous forme d'objets en relation. En schématisant, la programmation consiste donc à définir l'ensemble des objets économiques qui nous intéressent (services, plateformes, projets, etc.), chacun de ces objets contenant un ensemble de paramètres et de variables indiquant ses caractéristiques ainsi que sa relation aux autres objets, voire différents éléments permettant de mesurer l'effet des phénomènes simulés. Ces objets étant aussi organisés hiérarchiquement, certains objets vont contenir d'autres objets. L'objet le plus englobant est l'industrie contenant les plateformes et les organisations (sponsors, partenaires et hobbyistes). Ceux-ci à leur tour vont contenir des objets : les plateformes contiennent des services, qui vont être mis en relation avec les technologies et les projets contenus dans les organisations. L'objectif de cette première section est

⁷⁷ Dans un souci de lisibilité, les Observations sont reprises en annexe du chapitre.

donc de présenter ces différents éléments, au travers d'une formalisation mathématique et logique (règles définissant le fonctionnement et les interactions des objets).

2.1.1. Les éléments de représentation

Au regard des Observations 1, 2 et 5, les systèmes d'exploitation mobiles en concurrence sont représentés sous forme d'un ensemble fixe de *plateformes* P_p ($p=1, \dots, \mathring{p}$) fournissant un ensemble de *services* S_s ($s=1, \dots, \mathring{s}$), résultant lui-même de l'assemblage de *technologies* G_g ($g=1, \dots, \mathring{g}$)⁷⁸. Notons que toutes les plateformes fournissent potentiellement les mêmes services, mais leur méthode et la temporalité de leur développement varient selon les plateformes. Chaque technologie appartient à une *couche* ($l=1, \dots, 5$) technologique⁷⁹ (Observation 3). Cette appartenance ne pourra jamais être modifiée quelle que soit la réutilisation qui est faite de la technologie. Également, suivant l'Observation 7, le potentiel de compatibilité d'une technologie est lié à la technologie elle-même : ses interfaces font partie de ses caractéristiques. En conséquence, horizontalement (Observation 7), la possibilité de réutilisation d'une technologie d'un service vers un autre service est donnée simplement par la position du service ($s=1, \dots, \mathring{s}$) auquel cette technologie appartient, permettant de calculer une distance avec le service visé. Verticalement (Observation 6), les interfaces entre technologies appartenant à deux couches contigües à l'intérieur du même service sont précisées à partir d'un axe spécifique, donnant en quelque sorte une *adresse* à chaque technologie. L'adresse est de type $(LowLoc_{l,s}; HiLoc_{l,s})$ où $LowLoc_{l,s} = HiLoc_{l-1,s}$ quand les technologies s'imbriquent parfaitement grâce à leurs interfaces (ce ne sera pas toujours le cas, nous y reviendrons). Par ailleurs, $LowLoc_{l,s} = 0$ si $l=1$, c'est en effet la couche racine qui n'a pas d'interfaces spécifiques avec une couche inférieure.

Afin de visualiser au mieux ces différents éléments, nous allons maintenant présenter la première étape de conception de la plateforme, telle qu'elle est opérée par le sponsor. En lien avec l'Observation 13, nous distinguons trois réalités industrielles différentes : d'une part, les *firmes* O_ω ($\omega=1, \dots, \mathring{p}, \mathring{p}+1, \dots, \mathring{\omega}$) regroupant les *sponsors* et les *partenaires*⁸⁰, d'autre part

78 Un glossaire, en annexe, reprend la définition des principaux objets, paramètres et variables présents dans le modèle.

79 Du fait de l'absence de standards relatifs au nombre de couches permettant de représenter les technologies au sein d'un système d'exploitation mobile, le choix d'une représentation à cinq couches n'est qu'une approximation des approches observées au sein des différents projets. Relativement au modèle en lui-même, ce choix repose aussi sur la volonté d'avoir un nombre de couches suffisant pour générer une arborescence, sans pour autant rallonger outre mesure le temps de développement d'un service.

80 Les sponsors ont le même indice que leur plateforme (p).

les *hobbyistes* O_{ω}^H ($\omega^H=1,\dots,\hat{\omega}^H$). Nous commencerons ici par nous intéresser spécifiquement aux sponsors. En effet, ceux-ci sont les principales firmes industrielles derrière la production de plateforme. Chaque plateforme est rattachée à une firme – son sponsor – présente dès l'origine. Ce sponsor va fournir les premiers composants de la plateforme. Il définit aussi sa stratégie d'évolution. Dans notre modèle, il assure donc le rôle : (i) d'*intégrateur système* puisqu'il définit la manière dont on peut ajouter des technologies à sa plateforme (sachant qu'il est lui-même fournisseur de technologies) ; (ii) d'architecte de la plateforme, car il choisit les *workpackages* qui vont être développés à chaque génération ; et, (iii) de promoteur de la plateforme auprès d'autres organisations qui vont potentiellement lui fournir des technologies. Nous retrouvons donc le profil d'activité que peut avoir Apple avec la plateforme iOS, Google avec Android, ou encore Microsoft avec Windows Phone.

À la date $t=0$, seules les plateformes existent, mais elles sont vides. À la date $t=1$, nous introduisons plusieurs objets. Ainsi, chaque plateforme va se voir attribuer une firme (son sponsor) qui va choisir cinq services parmi $s=25$ services disponibles⁸¹. La sélection des services s'opère par tirage aléatoire suivant une loi uniforme. Ces services vont constituer les *workpackages* (Observation 8) de la première *génération* (Observation 11). Pendant les dix premiers tours ($t=1,\dots,10$), le sponsor est la seule organisation à fournir des technologies à sa plateforme, sans pour autant passer par l'étape de projet⁸². Une fois le sponsor attribué, il crée – à chaque tour et pour sa plateforme – une technologie à laquelle trois caractéristiques sont attribuées :

- un **service** est choisi aléatoirement suivant une loi uniforme parmi les *workpackages* existants sur cette plateforme;
- une **couche** technologique :
 - si aucune technologie n'a encore été attribuée à ce service, $l=1$,
 - sinon cette nouvelle technologie se positionnera sur la première couche technologique de libre (par exemple, si seule la couche 1 est occupée par une technologie, $l=2$) ;

81 Ce choix s'appuie sur l'idée qu'une probabilité de 5/25 pour un service de faire partie du premier *workpackage* donne un bon équilibre entre différenciation et potentiel de collaboration entre les plateformes. En effet, nous sommes face à une loi binomiale $B(n,p)$, la probabilité qu'un concurrent sélectionne le même service étant de $n \times p = (5-1) \times (5/25) = 4/5$.

82 Ce choix est proche de la note précédente, au terme des 10 tours, le sponsor a introduit 10 technologies sur 5 services $\times$ 5 couches = 25 technologies à créer dans les *workpackages*. Il a donc un avantage certain de premier entrant, tout en laissant suffisamment de place aux entrants potentiels.

→ une **adresse** $(LowLoc_{l,s}; HiLoc_{l,s})$ où $LowLoc_{l,s} = HiLoc_{l-1,s}$ et $HiLoc_{l,s}$ est tiré aléatoirement à partir d'une loi normale $N(LowLoc_{l,s} + \frac{1}{1+\log(1+l)}, 0.1/l)$ ⁸³. Le corolaire de cette adresse est de fournir un niveau de performance du service, par l'adresse haute de la plus haute des couches. À ce stade (embryon de plateforme), la méthode est essentiellement basée sur un tirage aléatoire, elle évoluera par la suite ;

La plateforme s'est donc constituée progressivement, fournissant un embryon à partir duquel va démarrer un véritable processus d'innovation. L'objectif de ces dix premiers tours est de réaliser l'initialisation des plateformes. Le processus d'innovation collectif, autour de la coordination d'acteurs hétérogènes qui est au centre du questionnement de ce chapitre n'intervient qu'après. L'Illustration 11 en montre un exemple : nous voyons les cinq services choisis comme workpackages. Seul S_{19} est un service complet et S_{12} n'a encore reçu aucune technologie. Les interfaces entre les technologies permettent une imbrication parfaite de ces technologies : l'adresse haute et basse apparaissant à gauche de sa technologie.

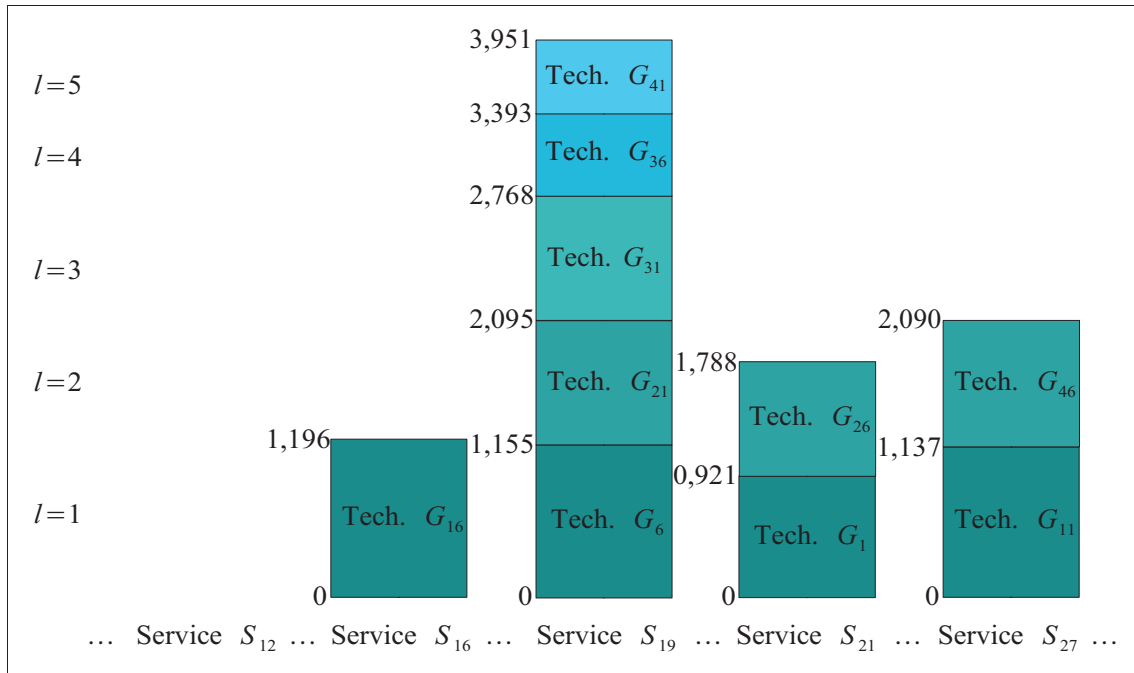


Illustration 11: Exemple de plateforme au bout des 10 premiers tours d'une simulation

⁸³ l a deux effets sur cette équation : d'une part, plus la technologie est située dans une couche élevée, moins l'écart entre l'adresse basse et l'adresse haute de la technologie est important. Cela pour traduire l'idée que les couches basses couvrent un champ technologique plus large (générique) que les couches hautes (dédié). D'autre part, le caractère aléatoire de l'adresse se réduit au fil des couches, car l'usage de la technologie au sein du service apparaît plus clairement à ces concepteurs, plus on se rapproche du service final. Les densités de $N(1/(1+\log(x)), 0.1/x)$ sont présentées dans l'Illustration 44 (en annexe).

2.1.2. Les éléments d'évolution

Une fois les dix premiers tours passés, la plateforme va évoluer technologiquement sous l'action conjointe des sponsors, des partenaires et des hobbyistes. Nous allons donc commencer par présenter les modalités d'entrée dans l'industrie de ces acteurs. Ensuite, nous allons nous intéresser aux modalités de création des projets (J_j ($j=1, \dots, j$)), étape préalable à l'apparition d'une technologie. Le processus d'évolution se terminant effectivement par la transformation d'un projet en technologie.

2.1.2.1. L'entrée de nouveaux acteurs

Contrairement aux sponsors, partenaires et hobbyistes ne sont pas présents dès le début de l'industrie, ils vont la rejoindre progressivement. Leur entrée sur le marché dépend dans un premier temps de la promotion volontaire opérée par chaque sponsor pour attirer des partenaires et hobbyistes. Dans un second temps, les entrants potentiels évaluent l'intérêt de participer à une plateforme : c'est la promotion involontaire. Dans un dernier temps, partenaires et hobbyistes se basent sur ces éléments pour décider s'ils entrent.

La promotion volontaire des plateformes par les sponsors

La promotion volontaire effectuée par les sponsors repose sur un arbitrage entre investir sur de la R&D et attirer des partenaires / hobbyistes extérieurs. Cet arbitrage va dépendre des opportunités offertes par la plateforme. Les opportunités sont tout simplement le nombre de technologies restant à créer au sein des workpackages de la plateforme⁸⁴. Tout d'abord, chaque sponsor définit une fois pour toutes (en début de simulation) un seuil minimum d'*accessibilité* de la plateforme pour des acteurs extérieurs. Ce seuil est donné par $access_p \sim U(1;5)$ ⁸⁵ indique la couche la plus basse à partir de laquelle un acteur autre que le sponsor peut positionner un projet, en dessous, seul le sponsor peut intervenir. Ensuite, une fois l'accessibilité fixée, le sponsor peut dénombrer (à chaque période) le nombre d'opportunités technologiques dispo-

84 Par exemple, en se basant sur l'Illustration 11 (supra, p. 135), s'il n'y avait aucune technologie, il y aurait 25 opportunités : 5 couches à remplir dans 5 workpackages. Or 10 technologies ont déjà été créées par le sponsor, il ne reste donc plus que 25-10=15 opportunités.

85 Chaque plateforme choisit une couche par un tirage aléatoire selon une loi uniforme. Nous ne formulons pas d'hypothèse sur le lien possible entre l'inclination pour une stratégie ouverte et le niveau d'accessibilité de la plateforme.

nibles pour des partenaires extérieurs ($o_{p,t}^{\text{ext}}$)⁸⁶. Il en déduit le ratio $o_{p,t} = o_{p,t}^{\text{ext}}/o_{p,t}^{\text{int}}$, les opportunités internes ($o_{p,t}^{\text{int}}$) étant l'ensemble des opportunités technologiques, puisque le sponsor n'est pas contraint en termes d'accessibilité ($o_{p,t}^{\text{ext}} \leq o_{p,t}^{\text{int}}$). En effet, plus il y a d'opportunités technologiques pour des partenaires extérieurs, plus le sponsor doit investir dans la promotion de la plateforme, et réciproquement. Ainsi, l'équation :

$$I_{p,t}^{\text{prom}} = \frac{\exp(o_{p,t})}{\exp(o_{p,t}) + \exp(1 - o_{p,t})} \quad (3)$$

nous donne la part d'investissement dans la promotion de la plateforme et, à l'opposé, $I_{p,t}^{\text{RD}} = 1 - I_{p,t}^{\text{prom}}$ indique la part d'investissement en R&D. Le passage par les exponentielles repose sur la volonté de borner les valeurs de $I_{p,t}^{\text{prom}}$ et $I_{p,t}^{\text{RD}}$ dans $]0;1[$, afin de maintenir un niveau minimal d'investissement en promotion et en R&D, quelles que soient les opportunités existantes de la plateforme. Concrètement, les parts $I_{p,t}^{\text{prom}}$ et $I_{p,t}^{\text{RD}}$ sont comprises dans $[e^0/(e^0 + e^1); e^1/(e^1 + e^0)] \approx [0.27; 0.73]$ (voir Illustration 41, en annexe).

Enfin, la stratégie d'investissement dans la promotion va être d'autant plus efficace qu'elle est visible :

$$v_{p,t} = I_{p,t}^{\text{prom}} \cdot (1 + ms_{p,t-1}) \cdot (1 + R_{p,t-1}) \quad (4)$$

La visibilité de la promotion opérée par le sponsor va dépendre – au côté de l'investissement lui-même – de la part de marché de la plateforme ($ms_{p,t-1}$) afin d'imiter une externalité indirecte de réseaux (une importante base installée d'utilisateurs finaux attire des fournisseurs de technologies complémentaires à la plateforme) et du revenu du sponsor ($R_{p,t-1}$) au tour précédent, plus le revenu étant élevé plus le sponsor peut multiplier les canaux de promotion de la plateforme. La visibilité est harmonisée entre l'ensemble des plateformes par

$$V_{p,t} = v_{p,t} / \sum_{p=1}^{\hat{p}} v_{p,t}.$$

86 Toujours à partir de l'exemple de l'Illustration 11, si le niveau d'accessibilité est fixé à 3, il y a 12 opportunités technologiques : les 15 opportunités se trouvant sur les couches 3, 4 et 5 des workpackages, moins les 3 technologies déjà présentes dans le service S₁₉.

La promotion involontaire des plateformes, basée sur la réussite des entrants précédents et l'entrée des partenaires

De leur côté, les entrants potentiels font leur propre calcul sur l'attractivité de l'industrie : celui-ci repose sur la promotion involontaire des plateformes. Cette dernière est donnée par

$$A_{p,t} = \frac{1 + j_{p,t-1}^s}{1 + j_{p,t-1}^{tot}} \quad (5)$$

avec $j_{p,t-1}^s$, le nombre de projets sur une plateforme portés par des organisations autres que le sponsor et ayant abouti à une technologie au tour précédent. $j_{p,t-1}^{tot}$ correspond au nombre total de projets en cours sur la plateforme et portés par des organisations autres que le sponsor. Ce ratio permet au nouvel entrant d'évaluer s'il existe encore des opportunités sur la plateforme ou si, au contraire, les partenaires en place ont déjà des difficultés à initier des projets valables. En conséquence, nous calculons la probabilité qu'une firme partenaire rejoigne une plateforme : $Pr_{p,t}^{entrée \omega^*} = V_{p,t} \cdot A_{p,t}$ (cf. équations 4 et 5). Cette probabilité peut tendre vers 0, à certains moments l'intérêt d'entrer dans l'industrie étant quasi nul. Une fois entré le partenaire lancera des projets sur la plateforme qui l'a attiré, mais à terme, il pourra changer de plateforme.

La spécificité du processus de décision d'entrer des hobbyistes

Pour comprendre l'entrée de ces hobbyistes dans l'industrie, nous devons nous pencher sur une quatrième caractéristique des technologies (parallèlement à l'attribution d'un service, d'une couche et d'une adresse) qui est l'attribution d'un droit de propriété. En lien avec l'Observation Erreur : source de la référence non trouvée le droit de propriété sur les technologies est binaire : soit la technologie est propriété de son créateur quel qu'en soit l'usage ($OCTech=1$), soit elle est libre⁸⁷ ($OCTech=0$). Le choix du droit de propriété est basé sur la probabilité $OCPref \in [0; 1]$ (représente un niveau d'adversité vis-à-vis de l'ouverture technologique) : plus $OCPref$ se rapproche de 1, plus la technologie a des chances d'être propriétaire et réciproquement. Le droit de propriété est choisi par l'initiateur du projet, dès la création du projet. Le niveau d' $OCPref$ est fixé de manière aléatoire lors de la création du spon-

⁸⁷ Plus précisément, le modèle fonctionne selon une logique de copyleft faible (voir Chapitre 2) dans la mesure où le droit de propriété choisi pour une couche donnée est sans influence sur les droits de propriété des couches supérieures.

sor ou de la firme partenaire selon une loi uniforme $U(0,25;1)$ ⁸⁸ et n'est jamais modifié. À contrario, les hobbyistes open source ont systématiquement $OCPref=0$. De même, leur entrée sur une plateforme va dépendre des mêmes conditions que les firmes partenaires, la seule différence repose sur le calcul de la promotion involontaire :

$$A_{p,t}^H = A_{p,t} \cdot \left(1 + \frac{g_{p,t-1}^{open}}{g_{p,t-1}^{tot}}\right) \quad (6)$$

où les hobbyistes calculent un ratio à partir du nombre de technologies ouvertes créés par le sponsor ($g_{p,t-1}^{open}$) rapporté au nombre total de technologies de ce dernier ($g_{p,t-1}^{tot}$). Donc la probabilité qu'un hobbyiste open source intègre la dynamique d'innovation d'une plateforme est $Pr_{p,t}^{entrée H} = V_{p,t} \cdot A_{p,t}^H$ (cf. équations 4 et 6). Contrairement aux partenaires, le hobbyiste reste attaché à la plateforme sur laquelle il est arrivé, selon l'idée qu'il vient plus pour la philosophie de la plateforme que pour développer des projets sur l'ensemble des plateformes.

2.1.2.2. La création de projets

Chacun des workpackages choisis par une plateforme est un service en devenir. Par conséquent, chaque couche du futur service va voir apparaître un projet de technologie, qui donnera lieu à terme à une technologie⁸⁹. Un projet ne rentre en activité que quand les projets des couches inférieures sont devenus des technologies achevées. Or la manière dont les firmes vont positionner leurs projets sur ces couches n'est pas aléatoire.

La création de projets par les sponsors

Nous considérerons que l'objectif du sponsor est d'éviter que certains workpackages restent incomplets, il se positionne donc sur les workpackages les moins aboutis pour lesquels il lance un projet sur la couche la plus basse non pourvue en technologie (il ne peut mener qu'un projet à la fois par workpackage). Concrètement, à chaque tour, le sponsor cherche les workpackages incomplets et sur lesquels il n'a pas de projet en cours. Si de tels workpackages existent, la probabilité qu'il lance un projet est donnée par :

⁸⁸ Cet intervalle s'appuie sur le principe qu'une firme ou un sponsor doit avoir un nombre minimal de technologies propriétaires, lui assurant des revenus.

⁸⁹ Par souci de simplicité, notre modèle ne comporte pas de situations où plusieurs technologies s'additionnent ou se concurrencent dans une couche donnée.

$$Pr_{l,s,p,t}^{projetJ} = I_{p,t}^{RD} \cdot \frac{(6-l)}{5} \quad (7)$$

où l, s, p indiquent respectivement la couche, le service et la plateforme sur lesquels le projet est lancé. $I_{p,t}^{RD} = 1 - I_{p,t}^{prom}$ découle de l'équation 3 (supra, p. 137) et la forme de la fonction $(6-l)/5$ (montrée par l'Illustration 42, en annexe) induit une probabilité d'autant plus faible de créer un projet que la couche concernée est haute.

Une fois le projet devenu une technologie achevée, il refera cette opération si nécessaire. Les sponsors, en tant qu'intégrateur système, n'ont donc pas de réelle spécialisation, dans la mesure où ils peuvent mener de front (horizontalement) plusieurs projets relatifs à des work-packages différents, tout en s'assurant (verticalement) que chaque workpackage est amené à son terme. De même, ce sont les seuls acteurs, dans le modèle, à pouvoir mener plusieurs projets en parallèle.

La création de projets par les firmes partenaires

Les partenaires sont soumis à une forme de spécialisation technologique, influant sur le choix des couches et des services où ils établissent leurs projets. Ils ne sont pas aussi généralistes que les sponsors. Lors de leur entrée dans l'industrie, ces firmes choisissent leur premier projet de manière aléatoire⁹⁰. Une fois ce projet terminé, le passage au projet suivant répond à une dépendance de sentier. Cette dépendance ($HPref$) est fixée de manière aléatoire lors de la création de la firme partenaire selon une loi uniforme $U(0;1)$ et n'est jamais modifiée. Elle représente un niveau de préférence pour la spécialisation horizontale, c'est-à-dire que plus $HPref$ se rapproche de 1, plus la probabilité sera forte que la firme continue à développer des projets sur sa couche de départ et, réciproquement, plus $HPref$ se rapproche de 0, plus la probabilité sera forte que la firme se spécialise verticalement sur un service donné, en remontant les couches puis en proposant ses technologies (relatives à ce service) aux autres plateformes. Une valeur intermédiaire correspond à une stratégie mixte, entre mouvements horizontaux et verticaux, mais ne remet pas en cause la dépendance vis-à-vis du projet choisi précédemment.

90 Sous contrainte, bien entendu, d'accessibilité de la couche et de l'absence de technologie aboutie.

Concrètement, une fois un projet terminé, la firme choisit entre un déplacement horizontal ou vertical au sein de la plateforme, en fonction de la probabilité $HPref$:

- si elle opte pour un mouvement vertical, elle va se positionner sur la première couche supérieure qu'elle rencontre et qui ne contient pas déjà une technologie achevée. Si le service est déjà complet, elle va attendre quelques tours et sélectionner une autre plateforme selon un tirage aléatoire basé sur $I_{p,t}^{prom}$;
- si elle opte pour un mouvement horizontal, elle va se positionner sur un autre workpackage qu'elle aura choisi parmi l'ensemble des workpackage selon une probabilité qui croît avec le nombre de couches encore disponibles (les opportunités technologiques) pour un projet. Si le workpackage contient déjà une technologie sur la couche où elle est spécialisée⁹¹, elle va attendre quelques tours et sélectionner une autre plateforme selon un tirage aléatoire basé sur $I_{p,t}^{prom}$. Sinon, la préférence $HPref$ est de nouveau mobilisée afin de réaliser un arbitrage entre introduire un projet sur sa couche de spécialité, ou se positionner sur une couche inférieure (à condition qu'il existe une couche inférieure à la fois dénuée de technologie et accessible selon les termes de la plateforme).

La sélection de projets par les hobbyistes open source

Les hobbyistes (au sens de Shah [2006], voir p. 128) se positionnent sur des projets de manière aléatoire : les seules conditions sont qu'ils restent sur la même plateforme et que la technologie est accessible selon les termes de la plateforme. De même, ils ne peuvent se rattacher qu'à des projets visant à développer une technologie ouverte et ne peuvent être seuls à l'origine d'une technologie. L'idée est que les sponsors et les firmes partenaires lancent des projets, si le projet est ouvert, des hobbyistes open source peuvent venir apporter leur appui. La contrepartie est que le hobbyiste quitte le projet si la firme partenaire ou le sponsor décide que le projet donnera lieu à une technologie propriétaire.

L'illustration 12 représente l'évolution de la plateforme de l'illustration 11, au tour 11, après l'arrivée de nouveaux entrants et la sélection de projets par les organisations. Le projet J_{53} est le fait du sponsor. Le projet J_{52} est une proposition de participation d'un hobbyiste open source, sachant que sur cette plateforme, seules les couches 4 et 5 sont accessibles.

91 Ou, après un changement de plateforme, si la nouvelle plateforme n'autorise pas l'accès à cette couche.

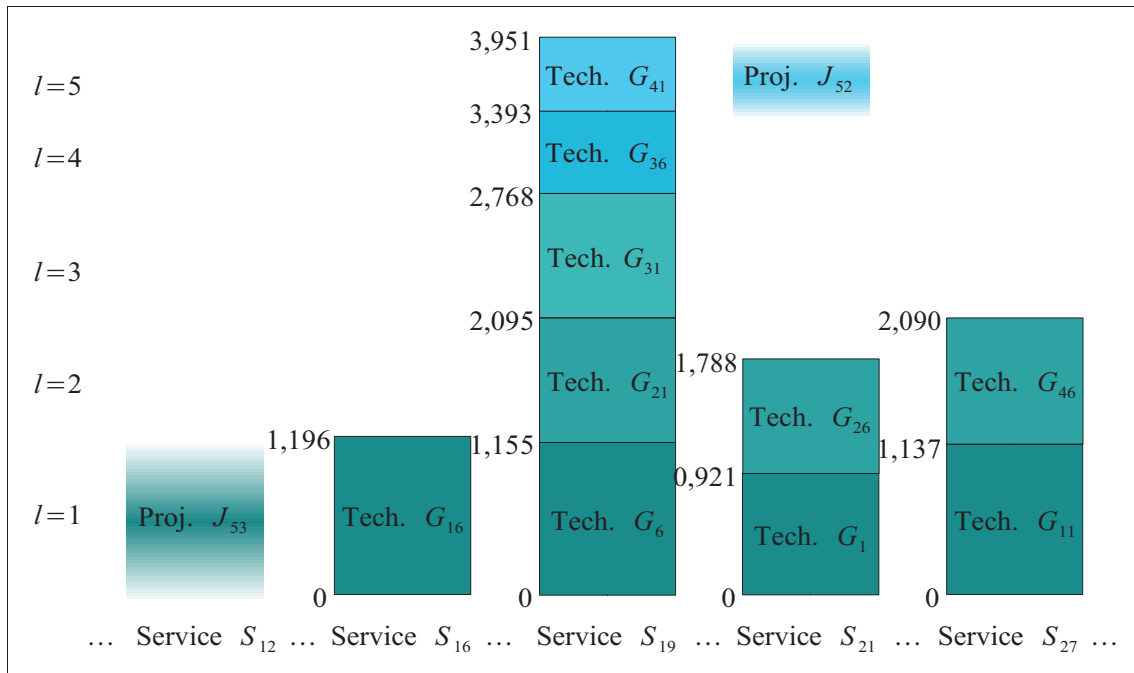


Illustration 12: Exemple de plateforme au tour 11

Projets actifs et projets abandonnés

Pour résumer ce qui précède, chaque couche de chaque workpackage doit être pourvue progressivement (de la couche la plus basse à la couche la plus haute) d'une technologie. Cette technologie est soit fournie par le sponsor lors de la création de l'embryon de plateforme, soit résulte de projets portés par les sponsors ou les partenaires, avec potentiellement l'appui de hobbyistes. Pour autant tous les projets n'aboutissent pas en création de technologie, soit parce que le projet est abandonné, soit parce qu'une technologie existante est réutilisée.

Ainsi, à un tour donné, les projets d'une plateforme sont activés quand, au tour précédent, les projets se situant sur la couche directement inférieure s'achèvent par la création d'une technologie. Les autres projets sont en attente. Sur l'Illustration 12, seul J_{53} est actif, J_{52} restera en attente jusqu'à ce que la couche $l=4$ du service S_{21} soit pourvue et qu'un sponsor ou une firme donne une structure à ce projet.

Pour autant, des situations plus complexes peuvent apparaître quand plusieurs organisations positionnent un projet au même endroit. Les firmes peuvent alors coopérer pour développer une technologie commune, mais sous certaines conditions résumées dans le Tableau 12.

Propriété intellectuelle	Sponsor et firme partenaire	Hobbyiste open source
Ouverte	Projets ouverts et arrivés avant l'activation de la couche restent	Tous restent
Propriétaire	Seul le premier arrivé reste	Tous abandonnent

Tableau 12: Configurations possibles de coordination

Ainsi quand plusieurs projets coexistent et que leur couche est activée, une sélection va s'opérer. La première firme (sponsor ou partenaire) à avoir créé un projet à cet endroit va imposer la forme de propriété intellectuelle : elle est *de facto* la responsable du projet. Si elle opte pour une propriété ouverte, le projet pourra être mené collectivement avec l'ensemble des autres firmes ayant fait le même choix de propriété, assistés par les hobbyistes s'il y en a. Néanmoins, une fois le projet activé, aucune firme ne pourra se joindre au projet (à la différence des hobbyistes qui peuvent arriver jusqu'au dernier moment) et chaque firme ayant opté pour une technologie propriétaire auront une chance de réviser leur choix (selon la probabilité *OCPref*) ou devront abandonner ce projet. Si elle opte pour une technologie propriétaire, tous les autres acteurs partent : elle portera le projet seule jusqu'à son terme. Cette étape de sélection de projets est une étape intermédiaire dans le processus d'évolution des plateformes (processus schématisé dans l'Illustration 13).

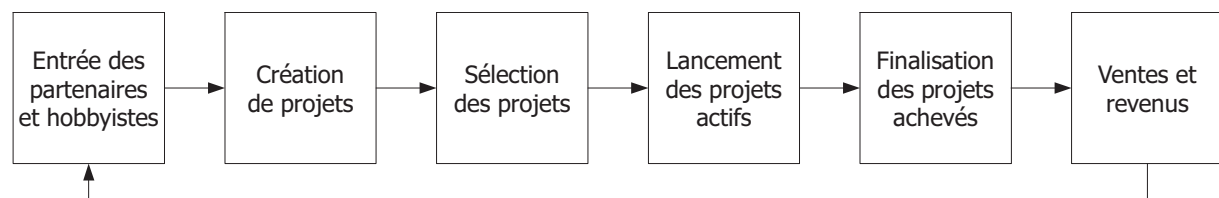


Illustration 13: Processus global d'évolution des plateformes à chaque tour

2.1.2.3. La R&D : une question de temps

Une fois les projets sélectionnés, nous arrivons à une étape essentielle pour l'évolution de la plateforme : le lancement des projets actifs. Ce lancement s'effectue une fois que toutes les couches inférieures sont pourvues en technologies et qu'une firme est présente pour appuyer le projet. Le lancement se traduit par deux étapes : le choix de la modalité spécifique du projet et le calcul du temps nécessaire à son achèvement.

La modalité du projet : création ou réutilisation de technologie

Pour remplir une couche technologique, deux solutions s'offrent au responsable du projet : créer une technologie ou réutiliser une technologie existante (voir Observation 10). La possibilité de réutiliser est systématiquement étudiée en premier lieu par le responsable de projet, car bien plus rapide. Toutes les technologies existantes présentes sur la même couche sont testées, quel que soit la plateforme ou le service. Mais pour qu'une technologie – $G_{\hat{g}}$, issue du service $S_{\hat{s}}$ de la plateforme $P_{\hat{p}}$ – reçoive une probabilité d'être choisie pour devenir aussi la technologie $G_{\hat{g}}$ du service $S_{\hat{s}}$ de la plateforme $P_{\hat{p}}$, elle doit répondre à des contraintes stratégiques et technologiques.

Stratégiquement, les contraintes opèrent à plusieurs niveaux, successivement :

- au niveau de la plateforme : chaque plateforme $P_{\hat{p}}$ a un niveau de préférence ($1 - OCPref_{\hat{p}}$) pour la réutilisation de technologies existant sur d'autres plateformes et un niveau de préférence ($OCPref_{\hat{p}}$) pour maintenir l'exclusivité sur ses technologies. Il s'opère donc une négociation simple entre les plateformes, dans le cas où la technologie visée est sur une plateforme autre que celle où se tient le projet : pour qu'il y ait réutilisation de la technologie visée, le niveau $1 - OCPref_{\hat{p}}$ de la plateforme où se tient le projet ($P_{\hat{p}}$) doit être supérieur au niveau $OCPref_{\hat{p}}$ de la plateforme où se trouve la technologie visée ($P_{\hat{p}}$).
- au niveau de la technologie visée : pour qu'il y ait réutilisation, le détenteur de la technologie visée doit accepter de fournir des licences d'utilisation. Cette licence est automatique si la technologie est ouverte ($OCTech_{\hat{g}}=0$) et dépendra de la probabilité ($1 - OCPref_{\hat{\omega}}$) du détenteur de la technologie si cette dernière est propriétaire ($OCTech_{\hat{g}}=1$).
- au niveau du projet : seuls un sponsor ou un partenaire avec une préférence pour l'innovation verticale ($(1 - HPref_{\hat{\omega}}) \rightarrow 1$) trouvent systématiquement leur intérêt dans le réemploi d'une technologie. C'est une logique de coopération (voir Observation 15). À contrario, un partenaire avec une préférence pour l'innovation horizontale n'envisagera une solution de réutilisation qu'à condition que la technologie qui est réutilisée soit la sienne.

Si la réutilisation est possible stratégiquement, les acteurs calculent un niveau de compatibilité technologique entre le service de la technologie visée ($S_{\hat{s}}$) et le workpackage où se situe le projet ($S_{\hat{s}}$) :

$$C_{\hat{s},\hat{s}} = \frac{1 + \varepsilon}{\exp((\hat{l} + 1)/5 + d_{\hat{s},\hat{s}}) \cdot (1 + \delta_{\hat{s},\hat{s}})} \quad (8)$$

où $\hat{l}$ correspond au nombre de couches déjà pourvues dans le workpackage, avec

$$d_{\hat{s},\hat{s}} = \sum_{l=1}^{\hat{l}} |HiLoc_{l,\hat{s}} - HiLoc_{l,\hat{s}}| \text{ donnant une mesure de la distance technologique couche par}$$

couche entre les deux services, $HiLoc_{l,\hat{s}}$ et $HiLoc_{l,\hat{s}}$ représentent l'adresse haute des technologies achevées sur chaque couche. Dans le cas où la couche à combler est la couche 1, $d = 0$ puisque $\hat{l} = 0$. Ensuite, $\delta_{\hat{s},\hat{s}} = |c_{\hat{s}} - c_{\hat{s}}|$: cette mesure repose sur l'idée d'une certaine continuité entre les services (en tant que fonctionnalités) de la plateforme. Certains services étant plus proches, elle mesure la distance technologique entre services. ε est une dimension aléatoire de la compatibilité suivant la loi $U(-0,05; 0,05)$. Un aperçu du comportement global de cette fonction est donné par l'illustration 43 (en annexe). Cette mesure est ensuite harmonisée

afin d'en tirer une probabilité : $Prob_{\hat{s},\hat{s}}^{réutil} = C_{\hat{s},\hat{s}} / \sum_{\hat{s}} C_{\hat{s},\hat{s}}$.

Si $\exists Prob_{\hat{s},\hat{s}}^{réutil} > 0$, une technologie compatible est tirée aléatoirement suivant ces probabilités. Une dernière vérification vise à s'assurer que le $C_{\hat{s},\hat{s}}$ – la technologie ainsi choisie – dépasse un seuil fixé au niveau de l'industrie ($CPref$), en tant que contrainte technologique minimale de compatibilité. Si aucune technologie ne répond aux contraintes stratégiques ou technologiques⁹², le projet consistera à suivre la seconde solution : créer une technologie à partir de rien. L'illustration 14 présente un diagramme fonctionnel du processus de choix de la modalité du projet. Il démarre à gauche par le lancement d'un projet et aboutie – selon la séquence détaillée précédemment – à droite, soit par la réutilisation d'une technologie, soit à la création d'une technologie. Quelle que soit la solution choisie, un laps de temps va s'écouler pour que le projet arrive à son terme.

⁹² Si le projet regroupe plusieurs organisations (sponsors et partenaires), il suffit qu'une organisation ait une solution de réutilisation pour qu'elle soit adoptée.

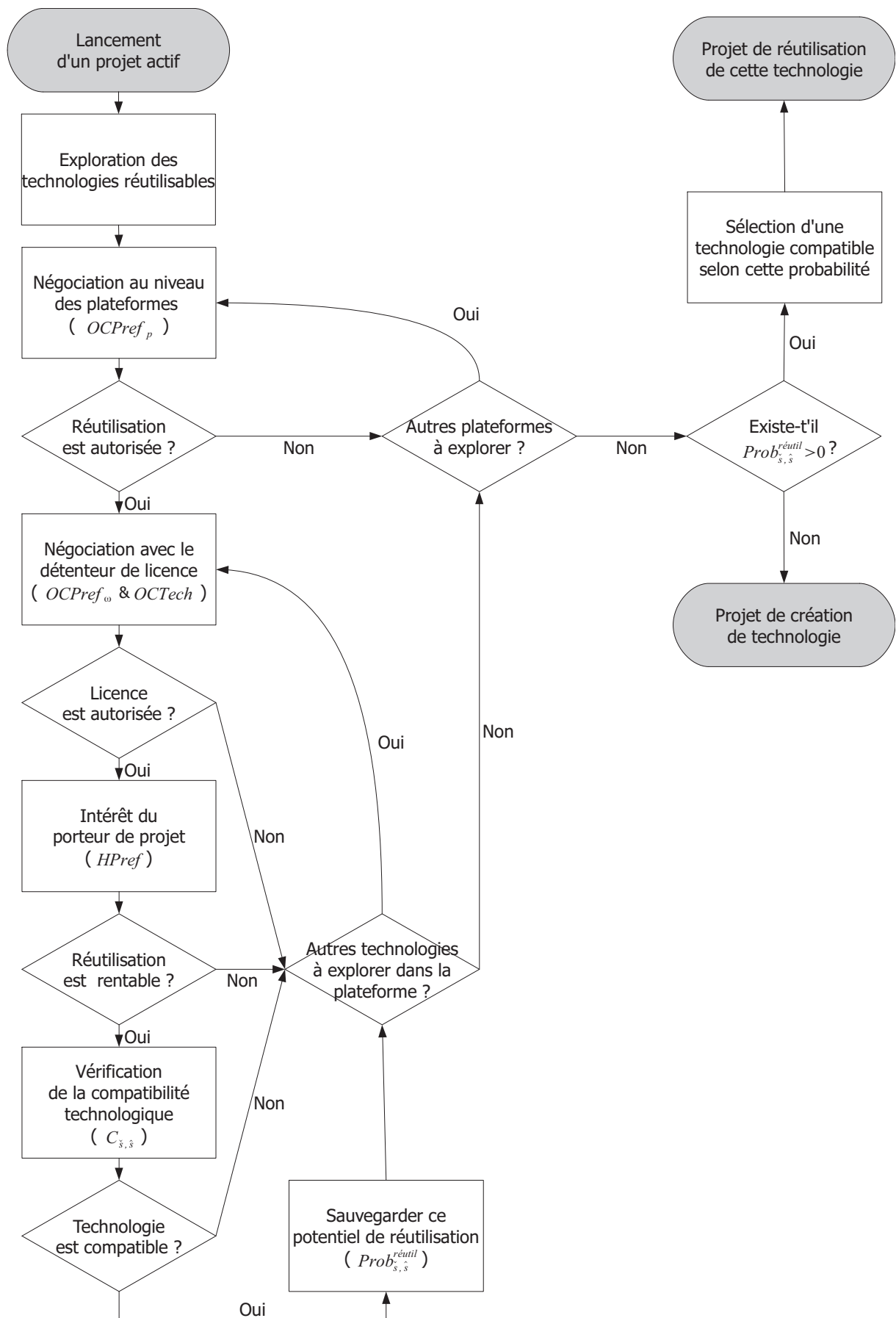


Illustration 14: Diagramme fonctionnel du processus de choix de la modalité d'un projet

La temporalité du projet : implication et expérience

La rapidité à laquelle un projet est mené à son terme peut devenir un atout pour une plateforme si, projet après projet, elle parvient à commercialiser une nouvelle génération de plateforme avant ses concurrents. Le temps qui s'écoule entre le lancement d'un projet actif et son achèvement (sa transformation en technologie) est donné par :

$$\theta_{j,s} = \frac{\tau_j \cdot \left(1 + \frac{6-l}{5}\right)}{\left(1 + \frac{R_{\omega,t-1}^{net}}{(j_{\omega,t})^2}\right) \cdot \left(0,5 + \sum_{l \in \mathbb{L}_{\omega}} (HiLoc_{l,s} - LowLoc_{l,s}) / HiLoc_{\hat{l},s}\right)} \cdot (1 + \varepsilon) \quad (9)$$

avec τ_j – la durée de base du projet – variable selon la modalité du projet et le nombre de firmes impliquées (sponsors et partenaires, dénombrés par Ω_j , voir Tableau 13). Le principe de cette formule est qu'un projet collectif doit permettre un gain de temps en divisant le travail, mais que l'organisation même de cette division génère des coûts de gouvernance, fonction du nombre de firmes⁹³. La fonction $(6-l)/5$ ⁹⁴ sert à marquer le fait que le projet sera d'autant plus long qu'il se situe sur une couche l basse, car cela implique un travail plus long de tests, nécessaires à assurer le bon fonctionnement de la couche avec les couches supérieures.

Modalité du projet	τ_j pour un acteur	τ_j pour $\Omega_j (> 1)$ acteurs
Création d'une technologie	4	$\frac{4}{2 \cdot \log_3(1 + \Omega)}$
Réutilisation d'une technologie	1	$\frac{1}{2 \cdot \log_3(1 + \Omega)}$

Tableau 13: Valeurs de τ_j

Au dénominateur, nous trouvons l'implication financière de la firme dans le projet et la connaissance du workpackage⁹⁵ :

- l'implication financière est donnée par $\left(1 + R_{\omega,t-1}^{net} / (j_{\omega,t})^2\right)$ avec :

93 Les Illustrations 44 et 45, en annexe, donnent une représentation graphique de la fonction employée.

94 Cette fonction était déjà présente dans l'Équation 7, où elle servait à réduire les probabilités qu'un sponsor intervienne sur les couches les plus hautes.

95 Dans le cas d'un projet collectif, un dénominateur moyen est calculé à partir des données de l'ensemble des firmes participantes.

- au numérateur, le revenu net de l'investissement en promotion, perçu (à la période précédente) par la firme ($R_{\omega,t-1}^{net} = I_{\omega,t}^{RD} \cdot R_{\omega,t-1}$), sachant que les partenaires investissent entièrement en R&D. Ils ne financent pas la promotion de la plateforme comme le font les plateformes.
- au dénominateur, le nombre de projets en cours (élevé au carré), sachant que seuls les sponsors peuvent mener plusieurs projets en parallèle. L'idée retranscrite par l'utilisation du carré du nombre de projets est que les projets parallèles, en se surajoutant, doivent compter sur une quantité toujours plus limitée de ressources financières et subir un cout de gouvernance accru.
- la connaissance du workpackage repose sur la valeur des couches existantes du workpackage détenues par la firme (couches appartenant à l'ensemble $\mathbb{E}_{\omega}$ des couches détenues par la firme O_{ω}), rapportée à la valeur totale des couches existantes du workpackage ($HiLoc_{\hat{l},s}$). L'idée est que la firme gagne du temps, si elle a déjà contribué technologiquement à plus de 50 % de la valeur du workpackage.

Enfin, ε est une dimension aléatoire de la temporalité des projets suivant la loi uniforme $U(-0,05; 0,05)$. L'Illustration 46 (en annexe) donne un aperçu des différentes valeurs possibles de $\theta_{j,\hat{s}}$.

2.1.2.4. La finalisation des projets

Une fois les projets arrivés à leur terme, la nouvelle technologie est introduite sur la plateforme. En ajoutant une couche au workpackage, cette technologie en améliore aussi la performance. Ce gain de performance transparaît dans l'adresse ($LowLoc_{\hat{l},s}; Hiloc_{\hat{l},s}$) de la nouvelle technologie. Le gain est tout à fait prévisible pour un projet visant à réutiliser une technologie, puisque l'adresse de la technologie réutilisée reste identique à son adresse lors d'usages précédents. Quand la nouvelle technologie est créée sur la couche $\hat{l}+1$ du service S_s son adresse sera :

$$LowLoc_{\hat{l}+1,s} = Hiloc_{\hat{l},s} \quad (10)$$

qui indique simplement que la nouvelle couche se positionne exactement sur la couche inférieure $\hat{l}$ qui existe déjà dans le workpackage s et

$$HiLoc_{\hat{l}+1,s} = Hiloc_{\hat{l},s} + \frac{Gain_{\hat{l}}}{1 + \log(\hat{l} + 1)} \quad (11)$$

Ainsi, le dénominateur nous indique que la nouvelle couche qui s'ajoute aux $\hat{l}$ couches existantes offrira un gain de performance au workpackage d'autant moins important que cette couche est haute (même principe que lors de la création de l'embryon de plateforme par les sponsors). Au numérateur, $Gain_l$ permet un gain de performance différent selon que le projet est libre ou propriétaire.

Si la nouvelle technologie est ouverte, nous nous intéressons uniquement aux couches ayant une technologie ouverte, pour lesquelles nous obtenons :

$$Gain_l = 0,25 + \frac{\sum_{l \in \mathbb{F}_{ouverte}} \left[(HiLoc_{l,s} - LowLoc_{l,s}) \cdot \frac{\log(1 + \Omega_{g,l})}{\log(1 + \Omega_j)} \right]}{HiLoc_{\hat{l},s}} \cdot \left(1 + \frac{\log(1 + \Omega_{j,H})}{\log(1 + \Omega_j)} \right) \quad (12)$$

Le principe, relatif à cette variable, est qu'une technologie ouverte est d'autant plus performante qu'elle s'appuie sur des technologies qui sont aussi ouvertes et qui ont été mobilisées un grand nombre de fois par un grand nombre d'acteurs (côté gauche du produit) et qu'un grand nombre de hobbyistes est venu appuyer le projet (côté droit du produit). Concrètement, le côté gauche mesure la part de la performance totale du workpackage (performance totale mesurée par $HiLoc_{\hat{l},s}$) issue de technologies ouvertes (donc appartenant à $\mathbb{F}_{ouverte}$, l'ensemble des couches ouvertes), les performances de chacune de ces technologies ouvertes ($HiLoc_{l,s} - LowLoc_{l,s}$) étant pondérées par un ratio rapportant l'usage total de la technologie par différents projets et par différentes firmes ($\Omega_{g,l}$) au nombre de firmes dans le projet (Ω_j). Le côté droit mesure une accélération potentiellement positive, quand le nombre de hobbyistes ($\Omega_{j,H}$) excède le nombre de firmes dans le projet. Autrement dit, pour que la technologie ouverte soit un réel succès, il faut donc qu'il y ait plus de hobbyistes et plus d'usages des technologies des couches inférieures, que de membres dans le projet.

Si la nouvelle technologie est propriétaire, nous nous intéressons uniquement aux couches dont la technologie est issue de la firme à l'origine du projet (ou d'au moins une des firmes membres du projet, si ce projet est collectif). Dans ce cas, nous obtenons

$$Gain_l = 0,5 + \frac{\sum_{l \in \mathbb{F}_{\omega, prop}} (HiLoc_{l,s} - LowLoc_{l,s})}{HiLoc_{\hat{l},s}} + \text{Max}[(1 - OCPref_{\omega}); 0,5] \cdot \frac{\sum_{l \in \mathbb{F}_{ouverte}} \left[(HiLoc_{l,s} - LowLoc_{l,s}) \cdot \frac{\log(1 + \Omega_{g,l})}{\log(1 + \Omega_j)} \right]}{HiLoc_{\hat{l},s}} \quad (13)$$

Ainsi, $Gain_l > 1$ si plus de 50 % des couches existantes sont à la fois propriétaires et issues de la firme à l'initiative du projet (ou d'une des firmes, pour un projet collectif) : $\mathbb{E}_{\omega, \text{prop}}$ étant l'ensemble de ces couches propriétaires créés par la firme O_{ω} , la firme en question étant soit un sponsor, soit un partenaire. Mais le $Gain_l$ bénéficie aussi partiellement des couches ouvertes, comme une technologie ouverte (sachant qu'il n'y a pas de hobbyistes pour les technologies propriétaires), mais limité par l'engagement de la firme dans l'ouverture ($1 - OCPref_{\omega}$ avec une limitation minimale de 50 %).

Maintenant que l'ensemble des processus propres à l'évolution de la plateforme est posé, l'illustration 15 donne un aperçu de l'évolution de la plateforme que nous avons pris précédemment en exemple. Au tour 12, le projet J_{53} du service S_{12} s'est soldé par la réutilisation de la technologie G_5 issue du service S_{16} d'une autre plateforme. Au tour 14, le sponsor a lancé le projet J_{75} sur son service S_{16} , qui se finalisera au tour 18 par la réutilisation de la technologie du service S_{12} d'une autre plateforme. En parallèle, le projet J_{76} est lancé sur le service S_{21} et il finira au tour 17 par la réutilisation d'une technologie du service S_{19} de sa propre plateforme cette fois.

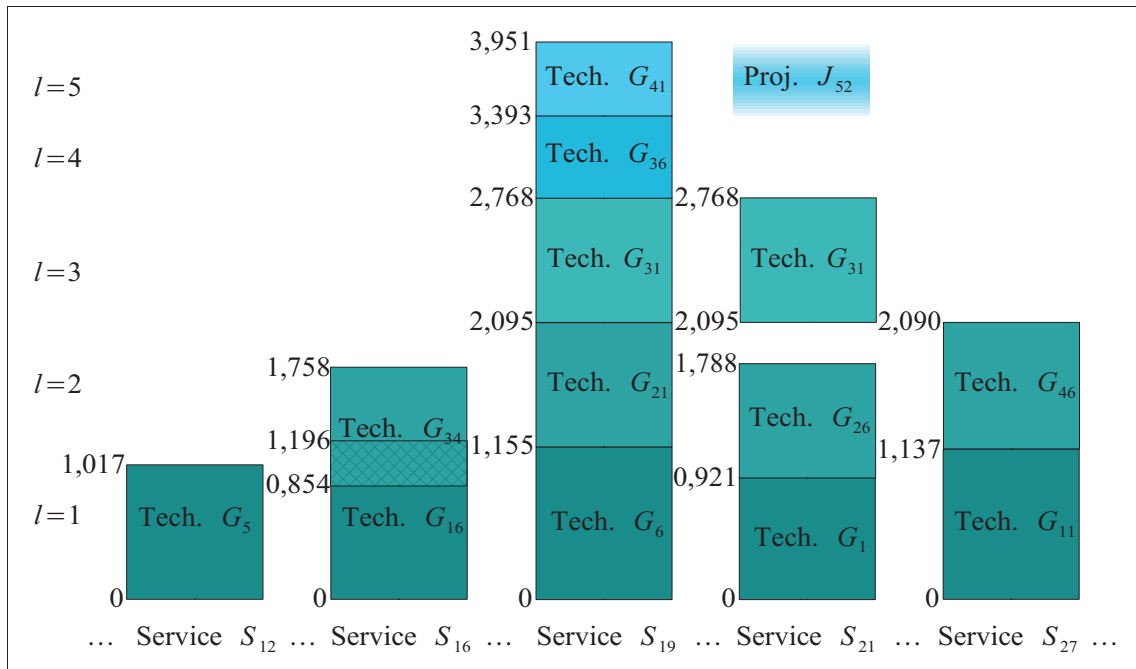


Illustration 15: Exemple de plateforme au tour 18

2.1.3. Les éléments de mesure

Afin de pouvoir comparer les stratégies des plateformes et de pouvoir les positionner relativement à l'industrie dans son ensemble, un certain nombre d'indicateurs sont nécessaires. Dans un premier temps, nous allons finaliser le modèle via la commercialisation des plateformes. L'intérêt de la commercialisation est de s'appuyer sur des caractéristiques de la plateforme (performance et prix), nous donnant une indication sur la pertinence des stratégies à l'origine de ces caractéristiques. Dans un second temps, nous mobiliserons un ensemble d'indicateurs relatifs à l'architecture technologique des plateformes.

2.1.3.1. La commercialisation des plateformes : performance, prix et part de marché

La demande exprimée envers une plateforme se déduit des caractéristiques de cette plateforme en termes de performance, de prix et de part de marché passée (voir Observation 16⁹⁶)

$$D_{p,t}^* = (Perf_{p,t})^\alpha \cdot \frac{1}{(Prix_{p,t})^\beta} \cdot (1 + ms_{p,t-1})^\gamma \quad (14)$$

soumises à des élasticités $\alpha, \beta, \gamma \sim U(0; 2)$. Néanmoins, à la manière de Ciarli et al. [2008], la demande réelle est soumise à une certaine inertie : $D_{p,t} = D_{p,t-1} \cdot \sigma + D_{p,t}^* \cdot (1 - \sigma)$ ⁹⁷, afin de se rapprocher de l'idée que la totalité des achats ne sont pas réalisés en même temps, mais s'étalent dans le temps. La part de marché de la plateforme est déduite de la demande :

$$ms_{p,t} = D_{p,t} / \sum_{p=1}^{\hat{p}} D_{p,t}.$$

La performance de la plateforme est donnée par

$$Perf_{p,t} = \sum_{s \in \tilde{s}_p} \frac{HiLoc_{i,s}}{\exp(Integ_s)} \cdot (1 - f_{p,t}) \quad (15)$$

avec $\tilde{s}$ indiquant que seuls les services commercialisés – c'est à dire dont la génération Gen_s précède la génération de service en cours de développement – participent à la performance de la plateforme. Cette performance est cumulée service après service, à partir de la valeur technologique $HiLoc_{i,s}$, diminuée par la perte d'intégrité

⁹⁶ Autour de cette observation, nous avons insisté sur la caractère pratique plus que réaliste de cette représentation de la demande.

⁹⁷ L'Illustration 47 (en annexe) donne une représentation de cette fonction.

$$\overline{Integ}_s = \sum_{l=2}^i |LowLoc_{l,s} - HiLoc_{l-1,s}| \quad (16)$$

Cette perte d'intégrité transparait dans l'illustration 15 (supra), pour les services S_{16} et S_{21} , quand deux couches ne sont pas parfaitement adjacentes : c'est le résultat de la réutilisation d'une technologie compatible, offrant une intégrité technologique du service moins forte que quand une technologie spécifique est créée. Enfin, la performance d'un service diminue d'autant plus que la plateforme s'éloigne de la frontière technologique (à la manière de Malerba et al. [1999] ou Silverberg & Verspagen [2005]). La distance d'une plateforme vis-à-vis de la frontière technologique se calcule par

$$F_{p,t} = \sum_{s \in \tilde{s}_p} \left[\text{Max} \left(\frac{HiLoc_{i,s}}{\exp(\overline{Integ}_s)}, \forall p \right) - \frac{HiLoc_{i,s}}{\exp(\overline{Integ}_s)} \right] + \sum_{s \notin \tilde{s}_p} \left[\text{Max} \left(\frac{HiLoc_{i,s}}{\exp(\overline{Integ}_s)}, \forall p \right) - 0 \right] \quad (17)$$

ce qui signifie que, pour chaque service complet et commercialisé sur au moins une plateforme, la performance maximale (quelle que soit la plateforme) de ce service est sur la frontière technologique. Il en résulte une plateforme virtuelle constituée de l'option technologique la plus performante pour chaque service. Cette distance est ensuite harmonisée par

$$f_{p,t} = F_{p,t} / \sum_{p=1}^{\hat{p}} F_{p,t}.$$

Le prix de la plateforme est une fonction directe des couts de production, les couts de production étant eux-mêmes une fonction du temps passé à réaliser ce projet

$$Prix_{p,t} = K \cdot \sum_{s \in \tilde{s}_p} \sum_{l \in \mathbb{L}_{prop}} \left[\theta_{l,s} \cdot \left(1 + \frac{R_{\omega,t-1}^{net}}{(j_{\omega,t})^2} \right) \cdot \frac{Gen_s}{Gen_p} \right] \quad (18)$$

avec $K < 1$ (identique pour toutes les plateformes) correspondant à une logique de marge commerciale (*mark-up*) propre à un bien dont le cout de production marginal est quasiment nul. L'ensemble des couts étant lié au développement du service lui-même, la plateforme va en facturer une part fixe à chaque tour, pondérée par l'implication financière de la firme dans le projet (voir Équation 9, supra, p. 147). De plus, la facturation des couts de production ne s'applique que pour les technologies propriétaires⁹⁸, c'est-à-dire dont $l \in \mathbb{L}_{prop}$. Et la facturation est aussi décroissante en fonction de la génération du service (Gen_s), rapportée à la gé-

⁹⁸ Les technologies présentes dans l'embryon de plateforme ne sont pas non plus facturées.

nération de la plateforme (Gen_p). Cette représentation capture l'idée d'une renégociation à la baisse des prix des licences anciennes quand la plateforme passe à une nouvelle génération.

La conséquence est que seules les technologies propriétaires fournissent un revenu aux firmes. Ce revenu est alors la somme des prix des technologies qu'ils détiennent sur chacune des plateformes, pondérée par les parts de marché de la plateforme. Une légère modification est effectuée quand une technologie existante est réutilisée : la firme qui a créé la technologie à l'origine facture cette technologie au même prix que sur sa plateforme d'origine et la firme qui a fait le projet de réutilisation facture la dépense qu'elle a supportée pour réutiliser cette technologie. L'ensemble des technologies commercialisées à une date donnée par une firme est donc à l'origine de son revenu $R_{\omega,t}$. Afin de donner un avantage aux firmes qui arrivent à équilibrer dépenses et revenus, nous introduisons une forme très abstraite de rentabilité des projets⁹⁹. Chaque fois qu'un projet est activé, l'implication financière $R_{\omega,t-1}^{net}/(j_{\omega,t})^2$ est sauvegardée (voir Équation 9, supra, p. 147) et aussi longtemps que le projet est en cours de développement, le capital de la firme est diminué à chaque tour de $0,1 + R_{\omega,t-1}^{net}/(j_{\omega,t})^2$. Une fois que la firme reçoit des revenus, ceux-ci sont versés au capital. Tant que le capital est négatif, la firme n'aura aucun revenu lui permettant de mettre en avant une implication financière. Quand le capital devient positif, 50 % du capital est utilisé comme revenu de la firme à cette période.

2.1.3.2. Les mesures sur la structure organisationnelle et technologique des plateformes et de l'industrie

Plusieurs indicateurs sont utilisés pour décrire la structure de l'industrie et l'architecture technologique des plateformes. Tout d'abord, nous mesurons la concentration de l'industrie par l'indice inversé d'Herfindahl soit :

$$InvHHI_t = \frac{1}{HHI_t} = 1 / \sum_{p=1}^{\hat{p}} (ms_{p,t})^2 \quad (19)$$

borné entre $1/HHI_t^{min} = 1/1 = 1$ quand une plateforme détient 100 % du marché et $1/HHI_t^{min} = 1/(\hat{p} \cdot (1/\hat{p})^2) = 1/(1/\hat{p}) = \hat{p}$ quand toutes les plateformes ont des parts de marché identiques ($1/\hat{p}$).

⁹⁹ Très abstraite dans sa capacité à rendre compte des stratégies réelles de prix et d'investissement des firmes, puisque notre modèle n'est pas dédié à approfondir cette question.

Ensuite, à la manière de Frenken [2006b] nous mesurons pour chaque plateforme un niveau de pléiotropie

$$Pleio_{p,t} = \log_{\tilde{s}} \prod_{g=1}^{\tilde{g}_p} Pleio_{g,p} \quad (20)$$

avec $\tilde{s}$ le nombre de services terminés ou encore dans l'état de workpackage, $\tilde{g}_p$ le nombre de technologies uniques dans la plateforme et $Pleio_{g,p}$ le nombre de services affectés par une technologie à l'intérieur de la plateforme. Ainsi, si une technologie existe sur plusieurs plateformes, elle comptera pour plusieurs technologies, mais si elle est réutilisée sur une même plateforme elle ne comptera que pour une technologie. L'intérêt de cette mesure est qu'elle est clairement bornée entre $Pleio_{p,t}^{min} = \log_{\tilde{s}}(\tilde{s}) = 1$ ¹⁰⁰ et $Pleio_{p,t}^{max} = \log_{\tilde{s}}(\tilde{s}^{\tilde{g}}) = \tilde{g}$ quand toutes les technologies ont une pléiotropie maximale de $\tilde{s}$. Qui permet, toujours à partir de Frenken [2006b] de mesurer la modularité de la plateforme

$$Modul_{p,t} = 1 - Pleio_{p,t} / \tilde{g}_p \quad (21)$$

donc $Modul_{p,t}^{min} = 1 - \tilde{g}_p / \tilde{g}_p = 0$ au minimum quand la pléiotropie est maximum et $Modul_{p,t}^{min} = 1 - 1 / \tilde{g}_p$ donc tend vers 1 quand la pléiotropie est minimale.

Avec une approche sensiblement similaire, nous calculons un indicateur de variété (ou de fragmentation) pour l'industrie dans son ensemble

$$Var_t = \frac{1}{\tilde{s}} \left[\sum_{s=1}^{\tilde{s}} \left(\frac{1}{\tilde{l}} \sum_{l=1}^{\tilde{l}} \log_{\tilde{p}}(Var_{l,s,t}) \right) \right] \quad (22)$$

avec $Var_{l,s,t}$ le nombre de technologies différentes utilisées dans un service et une couche donnée toutes plateformes confondues, à condition que ce service soit commercialisé (c'est à dire appartient au moins à la génération en cours de commercialisation) sur au moins une plateforme ($\tilde{s}$ étant l'ensemble des services répondants à cette contrainte). $Var_t^{min} = 0$ quand $Var_{l,s,t} = 1, \forall l, s$ et $Var_t^{max} = 1$ quand $Var_{l,s,t} = \tilde{p}, \forall l, s$.

Par ailleurs nous calculons différents ratios assez simples au niveau des plateformes : les parts respectives de technologies créées (*RatioCréée*), réutilisées (*RatioRéutil*), propriétaires (*RatioProp*) et détenues par le sponsor (*RatioSponsor*) par rapport à l'ensemble des technologies de la plateforme ; parmi les technologies réutilisées, nous calculons la part de technologies réutilisant une technologie développée à l'origine pour la plateforme (*RatioIntra*) ; pour

¹⁰⁰À condition que toutes les technologies aient une pléiotropie de 1, à l'exception d'une qui a une pléiotropie maximale de $\tilde{s}$, sinon la pléiotropie est nulle.

l'ensemble des actions opérées sur la plateforme (somme des projets et des interventions des hobbyistes), nous calculons la part des interventions des hobbyistes (*RatioHobby*).

2.2. Les résultats des simulations

Une batterie de 10 000 simulations est réalisée, visant à produire 10 000 configurations industrielles basées sur des arrangements stratégiques variés. L'industrie se compose de cinq plateformes en compétition. Nous avons donc des données mésoéconomiques pour chaque « industrie » (chaque simulation) et des données microéconomiques pour chaque plateforme relativement à son industrie. Le nombre de tours est variable pour chaque simulation, dans la mesure où les simulations stoppent quand une plateforme présente au sein de l'industrie commercialise sa 4e génération de services, c'est-à-dire lorsqu'elle est parvenue à développer entièrement 20 services, parmi les 25 services possibles pour une plateforme. Notre point de vue est que la variété des plateformes n'est pas uniquement le fait d'une variété entre les technologies utilisées par le même service sur différentes plateformes, mais que la variété repose aussi sur des stratégies différentes dans le choix des services à développer. C'est pour cela que nous laissons cinq services développables comme workpackages. Les valeurs d'initialisation des paramètres sont présentées dans le Tableau 3 (en annexe), ainsi qu'un aperçu des valeurs prises par les principales variables et les principaux indicateurs au terme des simulations (Illustrations 44, 45 et 46, en annexe). Pour analyser la quantité très importante de données générées par les simulations, sur un ensemble non négligeable de variables et de paramètres choisis aléatoirement, nous utilisons des arbres de régression (voir Encadré 2).

Nous commencerons par regarder le fonctionnement global du modèle afin d'anticiper les biais possibles liés à la construction même du modèle. Les paramètres au centre de notre analyse sont $OCPref_p$ et $access_p$, en tant qu'indicateurs principaux de la stratégie souhaitée par le sponsor de la plateforme. À partir de ces paramètres, nous étudierons la question de la perte d'intégrité afin de mettre en avant l'effet de la temporalité du leadership technologique (avantage technologique sur les concurrents) sur l'architecture de la plateforme. Nous verrons ensuite l'effet des interactions stratégiques des firmes à l'intérieur d'une industrie, sur la stratégie des firmes individuelles et l'architecture de la plateforme.

Encadré 2: Les arbres de régression

Ces arbres sont une variété d'arbres de décision, utilisés à l'origine comme aide à la prise de décision. Ils sont aussi connus sous le nom de méthode CART (pour *Classification and Regression Trees*) du nom du livre et du programme à l'origine de cette méthode, par Breiman et al. [1984].

Du côté technique, le principe est de partitionner récursivement un ensemble de données au regard d'une variable à expliquer. Une variable explicative est analysée : différentes partitions des données sont opérées à partir de cette variable. Une partition sera adoptée si cette partition permet de minimiser la variation de la variable expliquée par rapport à sa valeur ajustée. Cette opération se fait par analyse de la variance (méthode ANOVA). Nous obtenons donc une hiérarchisation des variables corrélées à la variable observée, ainsi qu'un aperçu de l'effet sur la variable observée qu'ont différentes classes de valeurs de ces variables corrélées.

Du côté graphique, il en résulte la production d'un arbre où chaque fourche est le partitionnement d'une variable, les feuilles terminales donnant une valeur moyenne de la variable dans les sous-ensembles créés

par la partition. Les arbres peuvent donc se lire comme un ensemble de relations : la variable observée tend vers une certaine valeur en fonctions des variables x , y ... Mais dans le cas de simulation multiagents, les arbres de régression nous permettent aussi de raconter une histoire, sous la forme d'un enchainement de causes et de conséquences.

Concrètement, nous produisons ces arbres à l'aide de la librairie *rpart* (pour *recursive partitioning*) de l'environnement statistique R. De plus, les arbres sont systématiquement taillés afin de minimiser l'erreur de test par validation croisée. Cette méthode consiste à vérifier l'erreur de prédiction du modèle en comparant les résultats obtenus à des résultats tirés de plusieurs partitions tirées aléatoirement à partir des données. La taille des arbres repose alors sur l'idée que l'erreur de prédiction a tendance à diminuer avec les premiers partitionnements, un niveau plus fin de partitionnement offrant un meilleur ajustement que la première partition. Mais au-delà d'un certain niveau de partitionnement, l'erreur va augmenter : il s'agit alors de couper les branches inutiles, car conduisant à l'augmentation de cette erreur de test.

2.2.1. Fonctionnement global du modèle

Pour étudier succinctement le fonctionnement global du modèle de simulation, nous utilisons les données sur le prix et la performance des plateformes, que l'on peut aussi articuler au travers de la simulation de la demande (voir Équation 14) et, par conséquent, au travers des parts de marché obtenues par les plateformes. En effet, ces variables sont l'émanation directe des stratégies des firmes. Afin de pouvoir comparer les prix et performances entre nos 10 000 industries simulées nous utilisons des variables harmonisées au sein de chaque industrie :

$$PrixRel_{p,t} = \frac{1/Prix_{p,t}}{\sum_{p=1}^{\bar{p}} 1/Prix_{p,t}} \quad \text{et} \quad PerfRel_{p,t} = \frac{Perf_{p,t}}{\sum_{p=1}^{\bar{p}} Perf_{p,t}} \quad (23) \text{ et } (24)$$

qui sont des niveaux de compétitivité prix et de performance technologique¹⁰¹. Les Illustrations 16 et 17 nous montrent la distribution des quartiles de ces éléments, au regard de $OCPref_p$ et $access_p$ (pour un guide de lecture des Illustrations de ce type dans notre travail,

¹⁰¹Nous utilisons aussi comme mesure de la performance technologique deux classements entre les plateformes d'une même industrie : le rang de commercialisation de la première génération de plateforme (*RangEntrée*) et le rang de proximité vis-à-vis de la frontière technologique (*RangFront*).

voir l'Encadré 3). Nous voyons clairement que les plateformes ayant la préférence $OCPref_p$ la plus faible (c'est-à-dire qu'elles sont plus enclines à développer les technologies libres et à les échanger) bénéficient d'un avantage net en terme de compétitivité prix et de performance technologique puisqu'elles sont largement plus nombreuses – que les plateformes les plus commerciales – à être dans le quartile supérieur (et réciproquement).

Encadré 3: Distribution des quartiles

Afin d'explicitier la lecture de ces Illustrations nous prendrons comme exemple l'Illustration 16. Dans cette Illustration, la variable étudiée est la compétitivité prix harmonisée. Dans un premier temps, nous calculons la valeur des trois quartiles de cette variable pour l'industrie dans son ensemble : $Q1=0,170$, $Q2=0,194$ et $Q3=0,224$. Dans un second temps, nous répartissons les différentes plateformes dans le quartile auquel elles appartiennent, puis nous redécoupons cette distribution en fonction d' $OCPref_p$ et d' $access_p$. Pour rappel : nous simulons 10000 industries contenant chacune 5 plateformes, l'échantillon global est donc de 50000 plateformes ; ces deux paramètres sont choisis à partir d'une loi uniforme, la distribution des plateformes au regard des plages de ces paramètres est donc sensible-

ment identique (d'où l'aspect rectangulaire de ces distributions). La lecture des distributions peut alors s'opérer.

Par exemple, pour les plateformes dont $OCPref_p \in [0,25; 0,3[$, c'est à dire la première colonne de la partie gauche de l'Illustration 12, de bas en haut : 359 plateformes ont une compétitivité prix harmonisée inférieure à $Q1$, 533 se situent entre $Q1$ et $Q2$, 782 entre $Q2$ et $Q3$ et, enfin, 1649 sont au dessus de $Q3$. Pour les plateformes dont $access_p=0$, première colonne de la partie droite de l'Illustration, de bas en haut : 3174 plateformes sont inférieures à $Q1$, 2839 entre $Q1$ et $Q2$, 2373 entre $Q2$ et $Q3$ et 1788 au dessus de $Q3$.

Le seuil d'accessibilité a un effet assez net sur la compétitivité prix, les plateformes les plus accessibles ($access_p=0$) étant les moins bon marché, mais l'effet est moins net pour ce qui est de l'avantage technologique, hormis pour le 1er quartile, les plateformes les plus accessibles étant moins performantes. Enfin, l'Illustration 18 agrège prix et technologies en montrant la répartition des parts de marché des plateformes dans les différents quartiles. En conséquence, nous pouvons considérer que les résultats sont assez équilibrés en termes de stratégie, si l'on part du principe qu'une stratégie libre renvoie à des valeurs simultanément faibles de $OCPref_p$ et $access_p$, mais, réciproquement, élevées pour retranscrire une stratégie propriétaire.

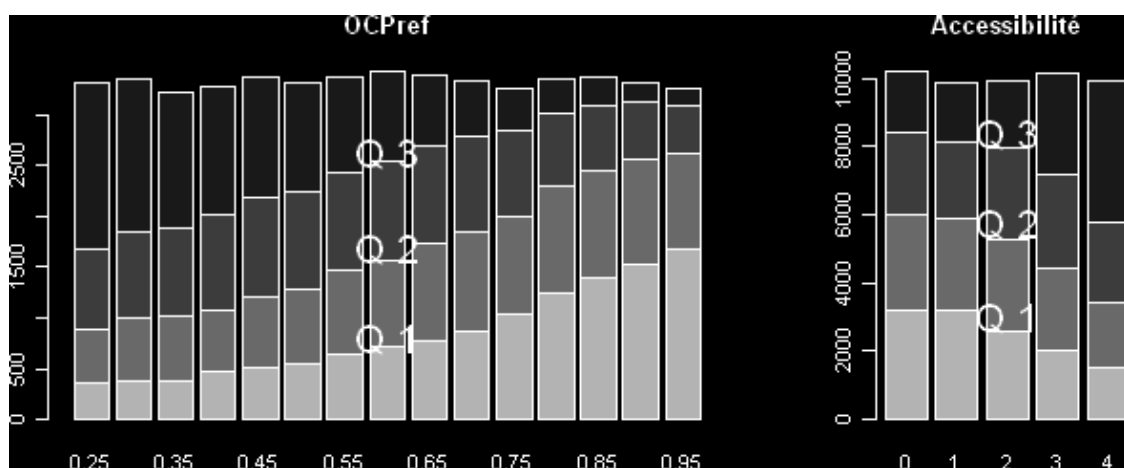


Illustration 16: Distribution des quartiles de compétitivité prix harmonisée dans l'industrie, en fonction du niveau d' $OCPref_p$ et d' $access_p$

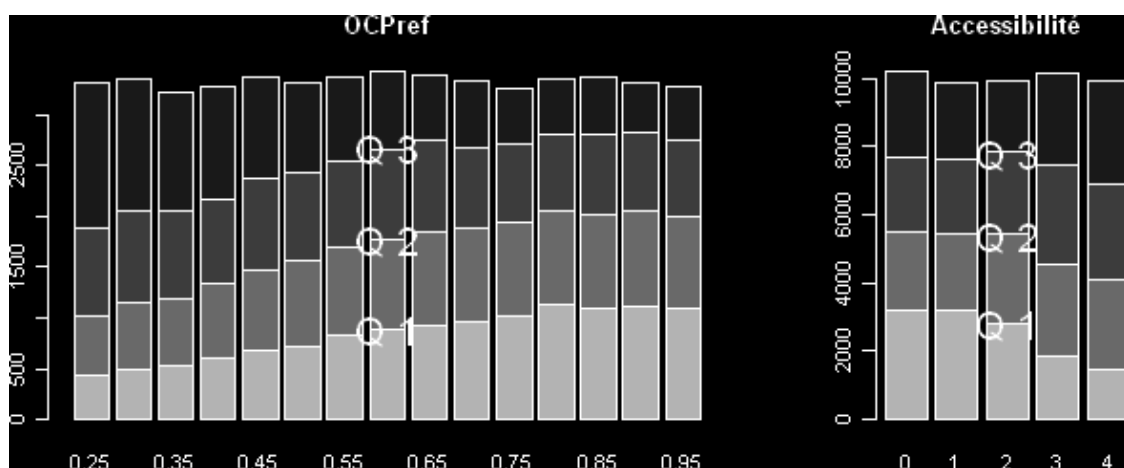


Illustration 17: Distribution des quartiles de performance harmonisée dans l'industrie, en fonction du niveau d' $OCPref_p$ et d' $access_p$

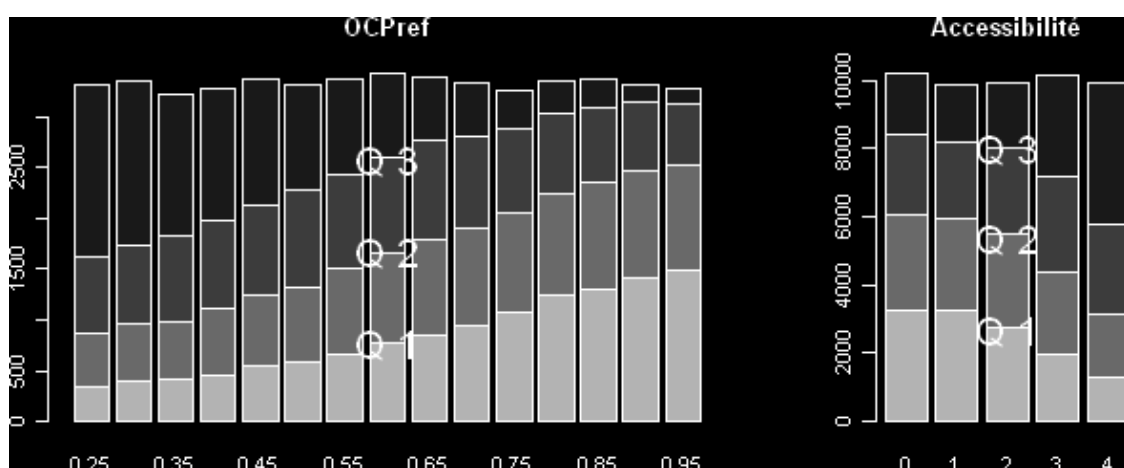


Illustration 18: Distribution des quartiles de parts de marché des plateformes, en fonction du niveau d' $OCPref_p$ et d' $access_p$

2.2.2. Leadership technologique et architecture de la plateforme

L'Illustration 19 représente la perte d'intégrité, nous pouvons voir qu'elle est d'autant plus faible que $OCPref_p$ est élevée. En revanche, l'accessibilité exhibe une relation non linéaire avec la perte d'intégrité. Pour rappel, cet indicateur est un élément essentiel dans notre modèle, dans la mesure où il permet de mesurer l'articulation verticale entre les différentes couches d'un service. C'est-à-dire qu'il nous permet de voir si les différentes couches sont bien connectées (collées, au regard de notre représentation graphique, Illustration 15, supra) ou, au contraire, si il existe une distance absolue entre ces couches. Cette opposition renvoie aux deux stratégies de remplissage des couches par les technologies : soit la firme développe une technologie ad hoc qui sera parfaitement adaptée, soit la firme réutilise une technologie existante, cette technologie prenant alors le chemin lui permettant de devenir un standard.

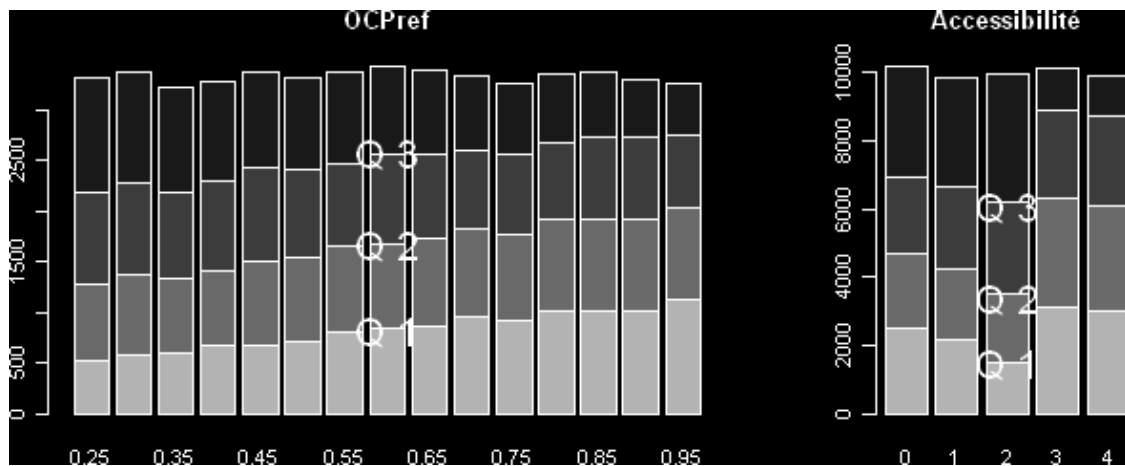


Illustration 19: Distribution des quartiles de perte d'intégrité des plateformes, en fonction du niveau d' $OCPref_p$ et d' $access_p$

Afin d'approfondir l'analyse, l'Illustration 20 présente un arbre de régression portant sur l'explication de la perte d'intégrité pour les plateformes ayant atteint la limite des 20 services (c'est-à-dire celles qui arrivent à la fin de l'évolution selon notre modèle de simulation). Nous pouvons y voir que l'accessibilité présente l'explication principale de la perte d'intégrité : quand le seuil d'accessibilité est fixé au dessus de 2,5 (donc que la plateforme est accessible uniquement à partir de la couche 3 et 4), la perte d'intégrité est plus faible (branche de gauche) et réciproquement (branche de droite). Ensuite, vient assez logiquement le ratio de technologies créées (plus il y a de création, moins il y a de chances de voir une perte d'intégrité) et le ratio de technologies propriétaires, qui vient ici remplacer $OCPref_p$, probablement car cette préférence ne montre que la volonté du sponsor, alors que le ratio mesure l'état réel de la plateforme¹⁰².

¹⁰²Nous observons néanmoins la variable $OCPref_Moy$, la moyenne des $OCPref$ à l'intérieur d'une industrie.

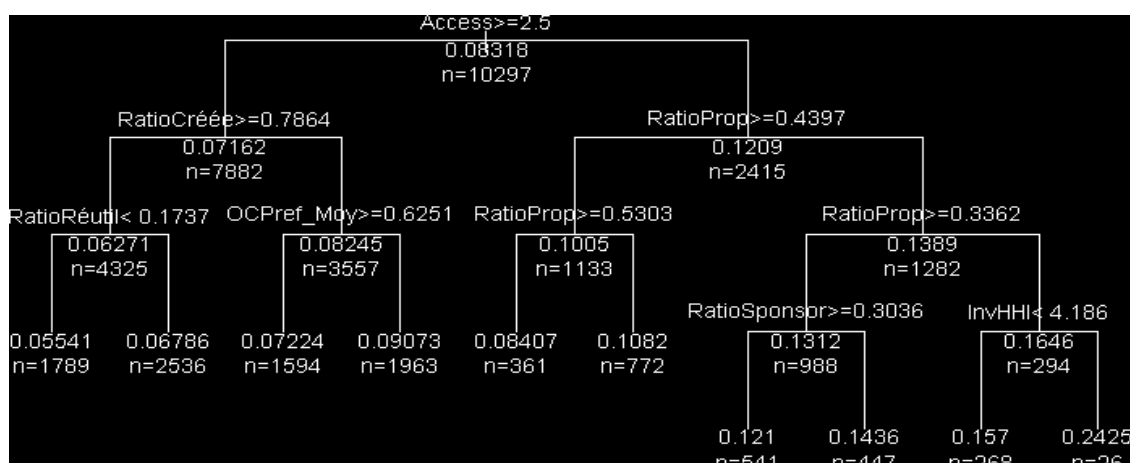


Illustration 20: Arbre de régression de la perte d'intégrité, pour les plateformes ayant atteint 20 services

Proposition 1: Le seuil d'accessibilité est la première explication de la perte d'intégrité d'une plateforme.

Proposition 2: Le ratio de technologies propriétaires est la contrepartie réelle du niveau d'OCPref_p.

103

Au travers de l'Illustration 21 nous trouvons également une relation non linéaire entre le seuil d'accessibilité et la réutilisation de technologies. Plus le seuil d'accessibilité est bas, moins il y a de réutilisation. La perte d'intégrité et le taux de réutilisation de technologies sont liés, dans la mesure où c'est justement le fait de réutiliser des technologies compatibles (plutôt que de développer des technologies ad hoc) qui produit la perte d'intégrité. Il s'agit alors pour nous de comprendre en quoi l'accessibilité influence cette réutilisation de technologie.

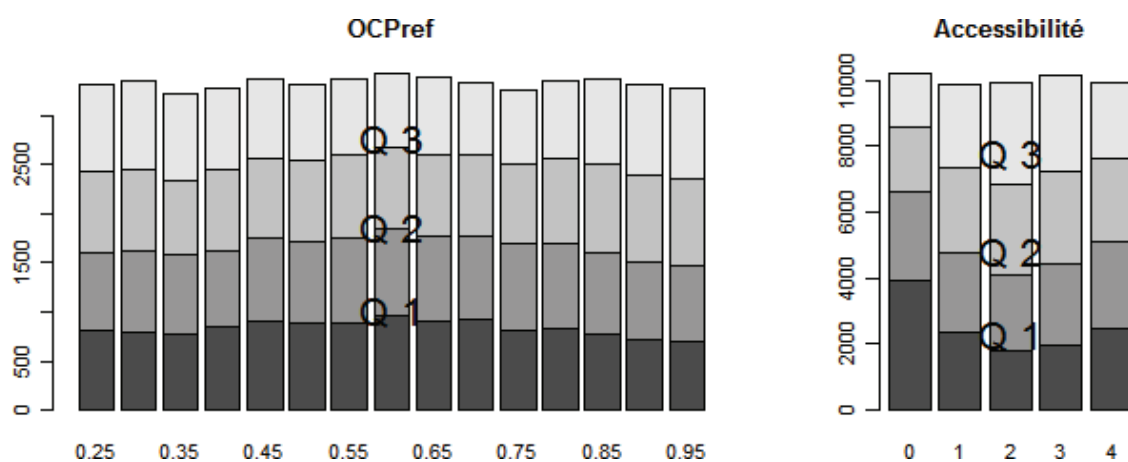


Illustration 21: Distribution des quartiles de ratio de réutilisation de technologies, en fonction du niveau d'OCPref_p et d'access_p

103 De la même manière que les Observations, les Propositions sont reprises en Annexe. En revanche, les Observations ont fourni la base de l'architecture du modèle de simulation, alors que les Propositions vont nous permettre d'en synthétiser les résultats.

L'Illustration 22 pousse la question de la réutilisation de technologies, au travers d'un sous-ensemble de technologies réutilisées : les technologies nées de la réutilisation de technologies développées pour la même plateforme. Cette Illustration nous permet d'observer l'interaction entre stratégie de la firme et stratégie concurrente. En effet, nous voyons que, quand l'ensemble de l'industrie préfère le développement de technologies libres plutôt que propriétaires¹⁰⁴, l'échange de technologies entre plateformes (qui en découle probablement) diminue le ratio de technologies réutilisées en interne. Toujours dans la branche de gauche, nous voyons que cette situation est d'autant plus affirmée que le sponsor détient une plus faible part des technologies. Or, la ratio de technologies détenues par le sponsor est fortement influencé par le niveau d'accessibilité (voir Illustration 23). Par contre, quand l'ensemble de l'industrie préfère développer des technologies propriétaires (branche de droite), stratégie globale de l'industrie et stratégie individuelle de la plateforme donnent des résultats paradoxaux : plus la stratégie individuelle sera pour le propriétaire et plus la part de technologies réutilisées en interne sera faible.

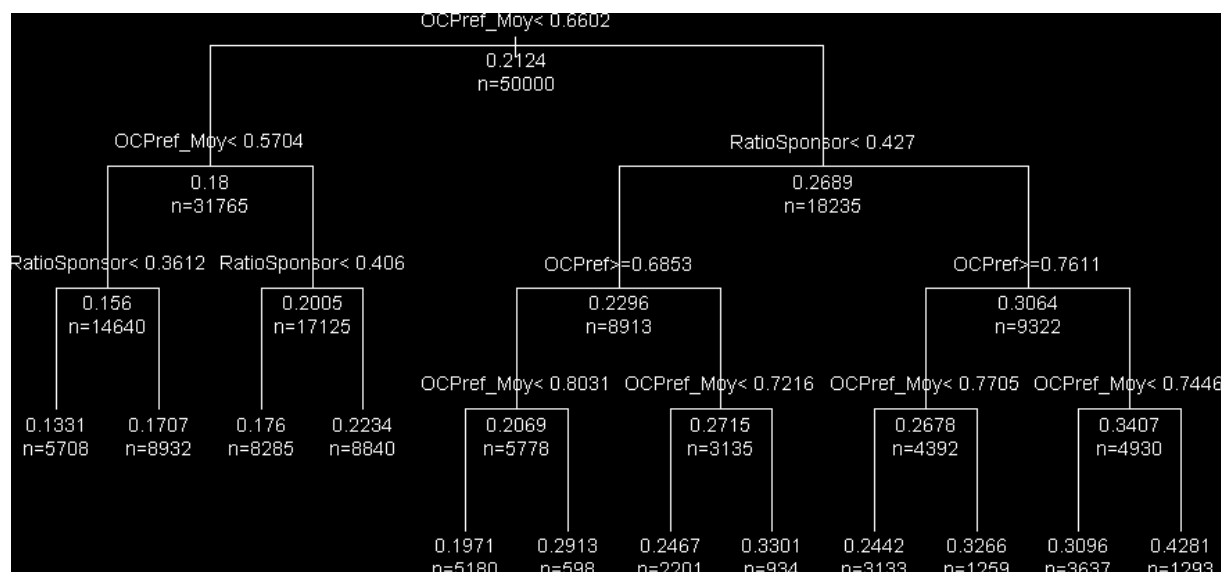


Illustration 22: Arbre de régression du ratio de technologies réutilisant des technologies créées à l'origine pour la même plateforme

¹⁰⁴Information donnée par la branche de gauche au travers du niveau moyen d'*OCPref* dans l'ensemble de l'industrie (*OCPref_Moy*).

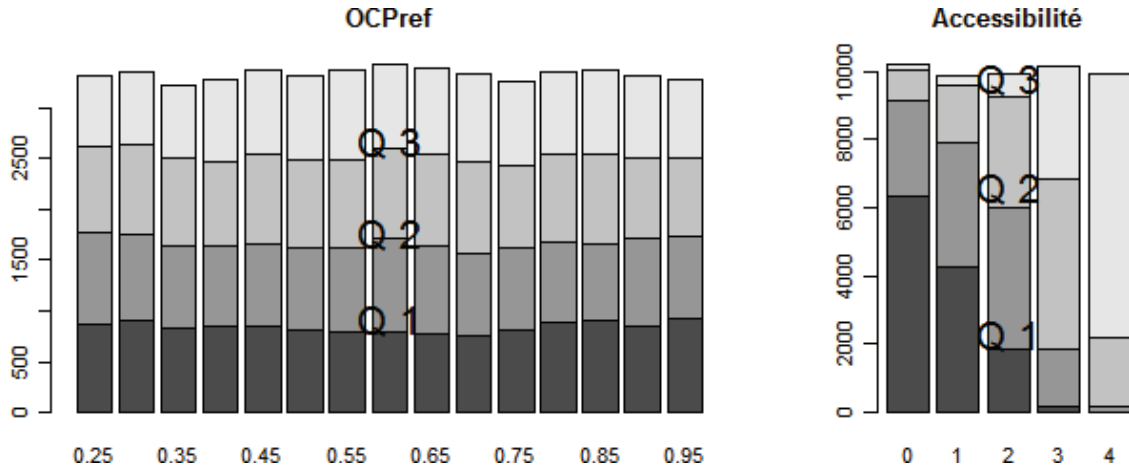


Illustration 23: Distribution des quartiles de ratio de technologies détenues par le sponsor, en fonction du niveau d' $OCPref_p$ et d' $access_p$

Proposition 2' : Le ratio de technologies détenues par le sponsor est la contrepartie réelle du niveau d' $access_p$.

Proposition 3: Une industrie favorable aux technologies libres facilite l'échange de technologies entre plateformes.

L'explication de ce paradoxe réside dans une compréhension plus globale des simulations. Nous avons vu (Illustration 17) que les plateformes les plus propriétaires sont moins performantes technologiquement. Elles font donc face à un large choix de technologies développées pour les plateformes concurrentes, alors que ce choix est beaucoup plus réduit en interne. La contrepartie est que les firmes les plus avancées technologiquement ne peuvent pas vraiment compter sur les technologies des autres. Cette idée est illustrée par l'illustration 24 qui met en relation la pléiotropie des plateformes et des indicateurs de leadership technologique. En effet, la pléiotropie se rapproche du ratio de technologies internes réutilisées, puisqu'elle mesure elle aussi la réutilisation d'une technologie à l'intérieur d'une plateforme, sans néanmoins poser d'hypothèses sur l'origine de la technologie. Les indicateurs de leadership technologique sont le nombre de services terminés sur la plateforme, le rang de commercialisation de la 1^{re} génération de plateforme, la performance harmonisée $PerfRel_{p,t}$ (voir Équation 24) et la distance harmonisée à la frontière $f_{p,t}$ (voir Équation 17)¹⁰⁵. Il apparaît que, plus la plateforme se situe sur une branche de droite (c'est à dire, plus la pléiotropie est importante), plus la plateforme exhibe un leadership technologique.

¹⁰⁵Ces éléments apparaissant dans l'illustration sous le nom de, respectivement, $NbServ$, $RangEntrée$, $PerfRel$ et $ScoreFront_Rel$.

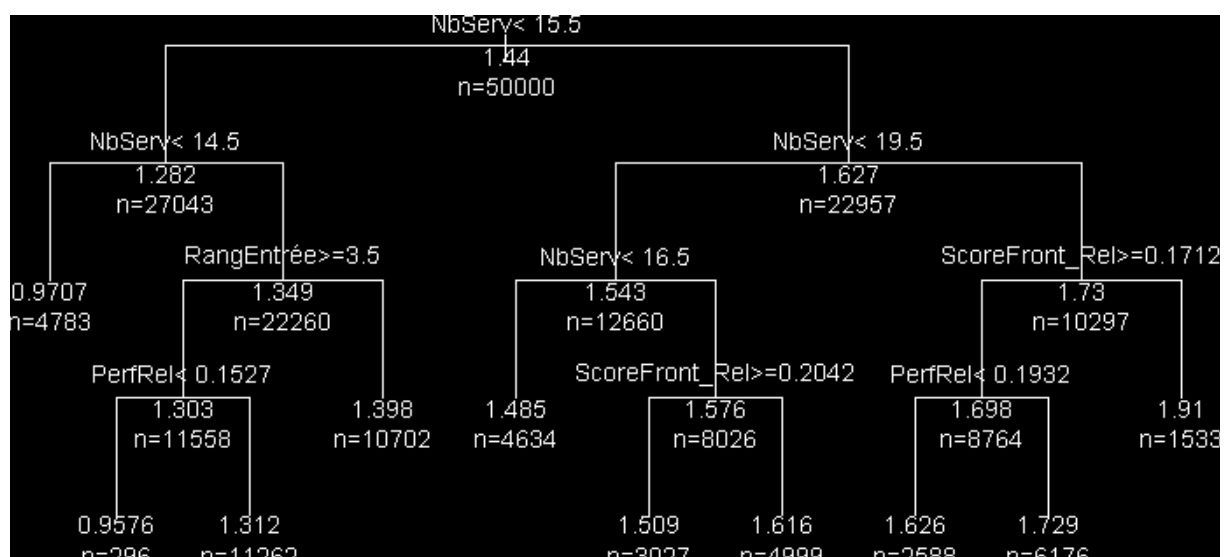


Illustration 24: Arbre de régression de la pléiotropie en fonction d'indicateurs de leadership technologique

Proposition 4: Les plateformes les plus avancées technologiquement exhibent un niveau de pléiotropie (i.e. un niveau d'interdépendances entre les technologies et les services à l'intérieur de la plateforme) bien plus élevé que les plateformes moins avancées.

Cette première série de Propositions (3 et 4 surtout) nous amène à un résultat intuitif, certes, mais que nous pouvons maintenant valider formellement : au delà des stratégies organisationnelles, la structure technologique de la plateforme dépend aussi des réussites technologiques des concurrents. En effet, l'avantage ou le retard technologique vis-à-vis des concurrents influence les formes de la concurrence ou de la coordination technologique. Dans le cadre de l'industrie des systèmes d'exploitation mobiles, nous en déduisons que RIM avec le BlackBerry et les membres de Symbian Ltd ont un avantage technologique. Néanmoins, d'un point de vue organisationnel, cet avantage se traduit par une faible implication dans la coordination avec les autres plateformes, d'où un savoir faire organisationnel limité quand il s'agit de se coordonner avec des concurrents. Nous pouvons donc y voir les racines des difficultés actuelles du BlackBerry à élargir sa base de services au delà des services qui ont fait ses premiers succès (son système de réception d'email en continu par exemple). Également, cette limite organisationnelle liée à un avantage technologique initial peut expliquer le changement organisationnel radical des promoteurs de Symbian : le passage d'une joint-venture (Symbian Ltd) à une fondation open source (Symbian Foundation).

Pour aller plus loin dans cette réflexion, l'Illustration 25 nous montre que les plateformes ayant le seuil d'accessibilité le plus élevé sont aussi celles qui commercialisent en premier leur

plateforme¹⁰⁶. Nous pouvons donc en déduire qu'un seuil élevé est bénéfique pour la performance technologique de la première génération. Cette tendance est beaucoup plus marquée que pour la performance en fin de simulation donnée par l'Illustration 17. D'autant plus qu' $OCPref_p$ n'a pas d'effet sur l'ordre d'arrivée de la première génération. Pour autant, ce leadership n'est pas pérenne. L'Illustration 26 montre le lien qu'il peut y avoir entre le fait de commercialiser en premier et la situation vis-à-vis de la frontière technologique en fin de simulation. Nous voyons assez clairement que le rang d'entrée dans l'industrie n'assure pas nécessairement la même place à la sortie. Au contraire, l'Illustration 27 montre que plus le rang est extrême lors de l'entrée (1er ou dernier) plus le changement de rang est important en fin de simulation.

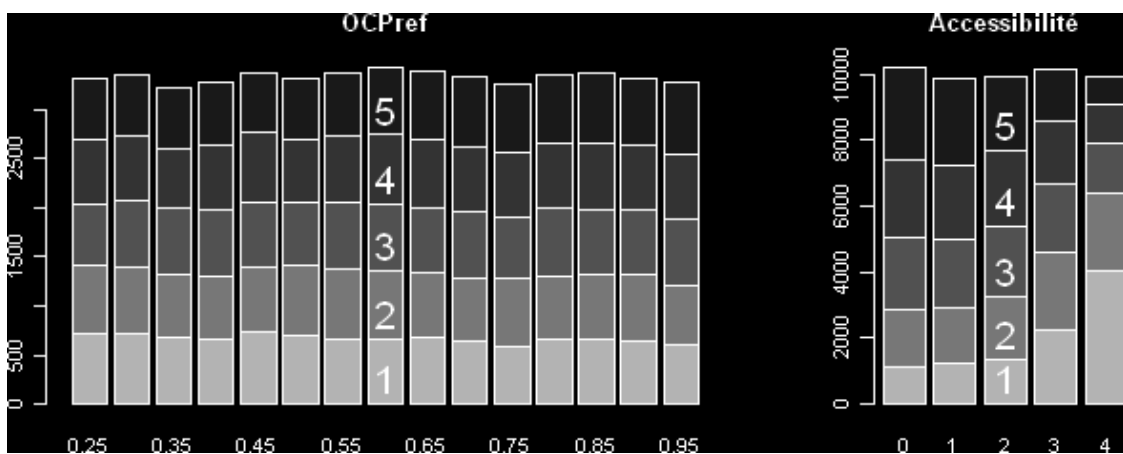


Illustration 25: Distribution des rangs d'entrée des plateformes sur le marché, en fonction du niveau d' $OCPref_p$ et d' $access_p$

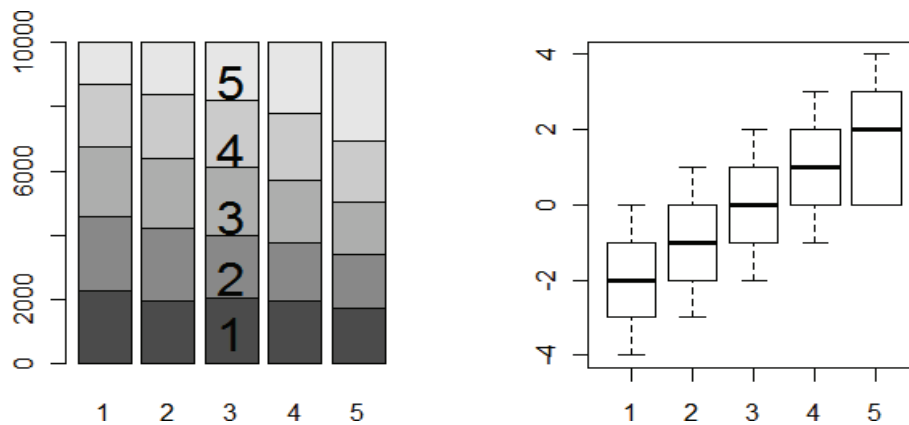


Illustration 26: Distribution des rangs de distances à la frontière, en fonction du rang d'entrée

Illustration 27: Progression entre le rang d'entrée et le rang de distance à la frontière, en fonction du rang d'entrée

¹⁰⁶Les Illustrations 25 et 26 diffèrent de la méthode présentée dans l'Encadré 3. Au lieu de faire apparaître l'appartenance à un quartile, elles font apparaître l'appartenance à un rang : elles se lisent donc de bas en haut, avec pour chaque rang le nombre de plateformes ayant ce rang et le niveau du paramètre étudié. Classiquement, nous considérons une plateforme comme performante si elle se situe dans les premiers rangs, c'est à dire plutôt vers le bas des graphiques.

Proposition 5: Les avantages technologiques liés à une stratégie vont se modifier au cours de l'histoire de l'industrie.

En s'intéressant aux choix stratégiques agrégés au niveau de l'industrie, l'Illustration 28 permet de voir que plus $OCPref_p$ et $access_p$ prennent des valeurs élevées (c'est-à-dire que l'industrie dans son ensemble est orientée vers des stratégies propriétaires), plus le processus d'innovation est rapide (au sens où, dans ces industries, une plateforme aura finalisé 20 services en moins de tours que dans les autres industries). Ainsi, l'avantage initial lié à un seuil d'accessibilité faible doit être revu en terme de leadership, en regard des stratégies des plateformes concurrentes. Également, l'Illustration 29 montre que les plateformes qui progressent – entre le classement d'entrée dans la 1^{re} génération et le classement de sortie quant à la proximité avec la frontière technologique – sont celles avec un seuil d'accessibilité et un ratio de technologies propriétaires faibles (et réciproquement).

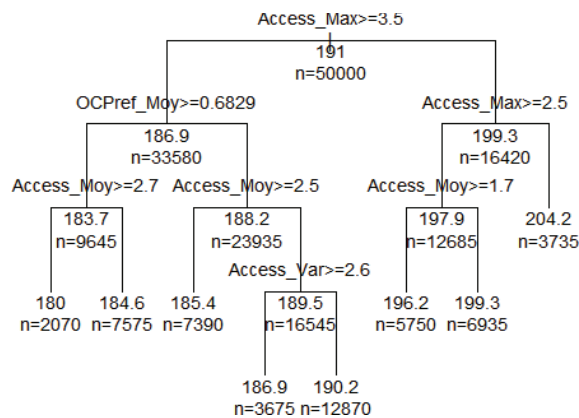


Illustration 28: Arbre de régression du tour de fin de simulation, en fonction du niveau agrégé d' $OCPref_p$ et d' $access_p$

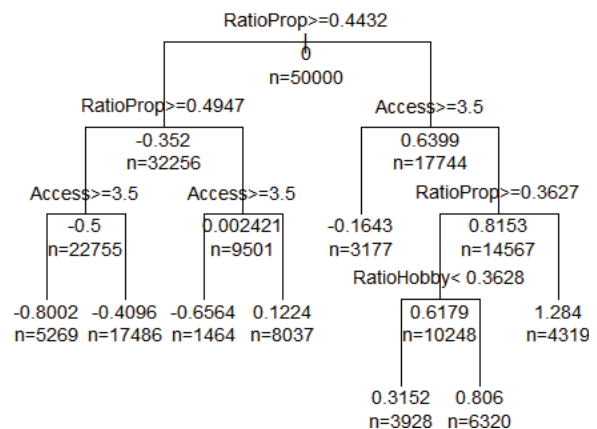


Illustration 29: Arbre de régression de la progression entre le rang d'entrée et le rang de sortie

Proposition 6: Une industrie globalement orientée vers des stratégies propriétaires obtiendra une innovation plus rapide.

Proposition 7: Une stratégie propriétaire, au niveau de la plateforme, offre un certain avantage de départ, avantage qui va se renverser au cours de l'histoire de l'industrie.

Cette seconde série de Propositions (5 à 7) est intéressante sur deux aspects. D'une part, nous voyons émerger un fait marquant de l'industrie des services mobiles (généralisé à l'ensemble de l'industrie informatique par West [2003]) : les premières plateformes à entrer sur le marché sont propriétaires. D'autre part, l'absence de pérennité relative à l'avantage des pre-

miers entrants vient renforcer notre compréhension de la situation de BlackBerry et Symbian. En plus des potentielles lacunes quant aux capacités de leurs plateformes à s'adapter à des stratégies de coordination que nous avons identifiées au dessus, nous voyons maintenant que la stratégie même n'offre pas les mêmes bénéfices au cours de l'histoire de l'industrie. C'est ce point que nous allons approfondir dans la suite de ce travail.

2.2.3. L'interaction des stratégies individuelles avec les stratégies agrégées

Pour étudier l'interaction entre les stratégies individuelles et les stratégies globales au niveau de l'industrie, nous allons nous intéresser aux plateformes suivant deux archétypes de stratégies individuelles : la stratégie la plus propriétaire définie par une préférence $OCPref_p$ supérieure à son 3e quartile (quartiles calculés pour l'ensemble des simulations) et le seuil d'accessibilité le plus haut ($access_p=4$) ; et, réciproquement, la stratégie la plus libre où $OCPref_p$ est inférieure à son 1er quartile et $access_p=0$.

Ainsi, l'Illustration 30 explique la part de technologies externes réutilisées par les plateformes les plus propriétaires¹⁰⁷. Les branches de l'arbre présentant des partitions sur les mêmes variables, la lecture peut s'opérer de la même manière branche après branche. En regardant le côté gauche des branches, la réutilisation de technologies externes sera d'autant plus faible que : (i) la majorité des technologies de la plateforme sont propriétaires ; (ii) la plateforme est bien avancée technologiquement (approche le nombre maximal de services, 20 services) ; (iii) le sponsor fournit l'essentiel des technologies ; et réciproquement pour le côté droit. Dans une moindre mesure, cette configuration est aussi liée à une performance harmonisée supérieure pour ces plateformes ($PerfRel$). Pour comprendre l'effet global de la concurrence sur cette situation, nous approfondissons l'analyse du ratio de technologies propriétaires avec l'Illustration 31. Cet arbre met en avant la corrélation positive entre part de technologies propriétaires et part de technologies détenues par le sponsor. Or dans l'Illustration 32, nous voyons que le ratio de technologies détenues par le sponsor est lui même fonction du niveau d'ouverture du marché et du nombre de firmes partenaires qui y gravitent. Donc plus l'industrie dans son ensemble est ouverte, plus le ratio sponsor sera faible et par conséquent plus le ratio propriétaire sera faible et donc plus il y aura de réutilisation de technologies externes.

¹⁰⁷Précédemment, nous avons étudié un ratio des technologies réutilisant des technologies de la même plateforme, relativement au nombre de technologies réutilisées par la plateforme. Ce nouveau ratio s'intéresse donc aux technologies opposées et se calcule à partir de l'ensemble des technologies de la plateforme (réutilisées ou créées).

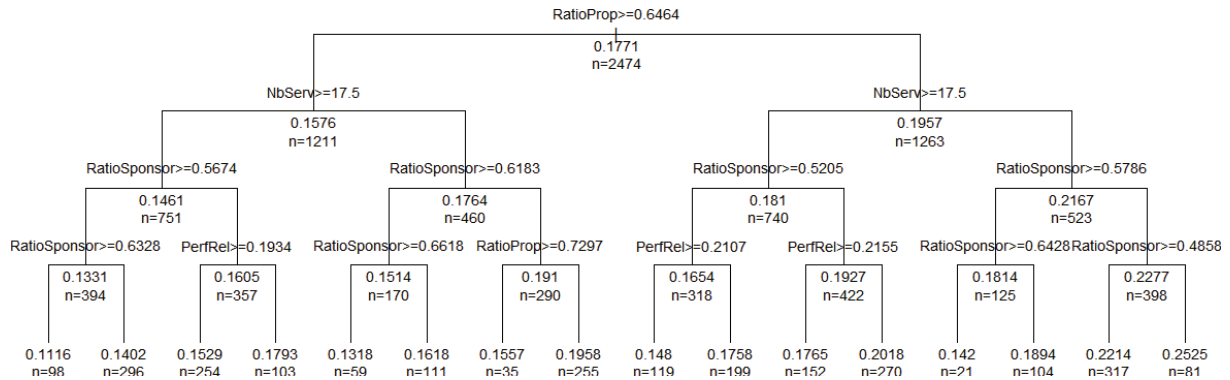


Illustration 30: Arbre de régression du ratio des technologies réutilisant technologies externes rapportées à l'ensemble des technologies, pour les plateformes les plus propriétaires ($OCPref_p > Q_3$ et $access_p = 4$)

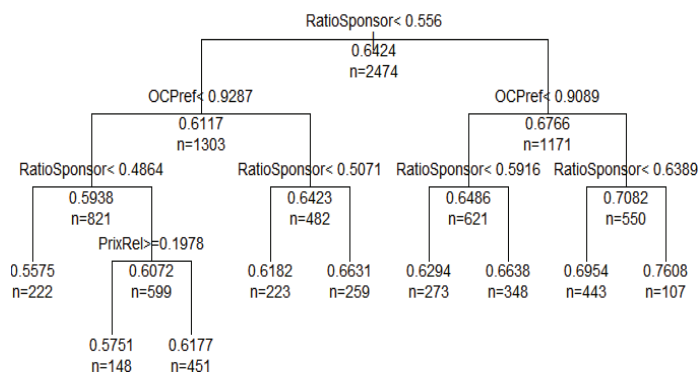


Illustration 31: Arbre de régression de la part de technologies propriétaires (même échantillon)

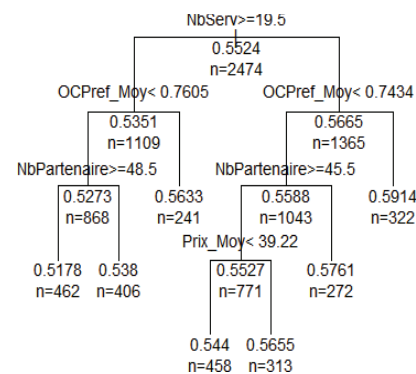


Illustration 32: Arbre de régression de la part de technologies détenues par le sponsor (même échantillon)

Dans le cas des plateformes les plus libres (Illustration 33 avec les mêmes variables que l'illustration 30), cette séquence est immédiate : plus l'industrie est libre (en terme de préférence $OCPref_p$ moyenne plutôt faible), plus la plateforme réutilisera des technologies externes. Il y a donc une forte influence de la structure du marché sur les résultats en termes d'architecture.

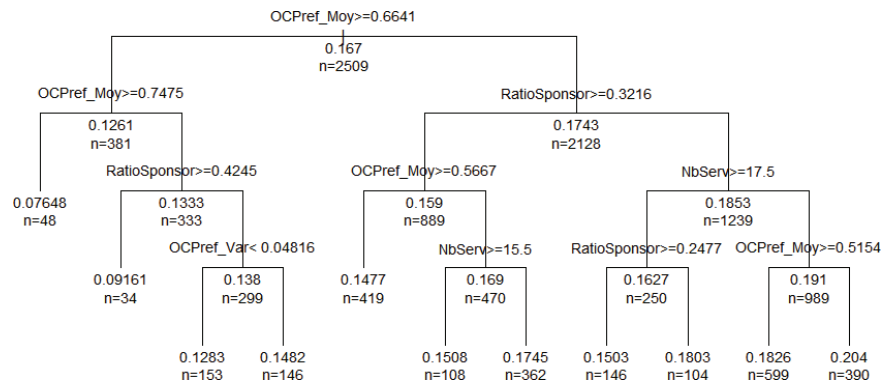


Illustration 33: Arbre de régression du ratio des technologies réutilisant technologies externes rapportées à l'ensemble des technologies, pour les plateformes les plus libres ($OCPref_p < Q_1$ et $access_p = 0$)

Proposition 8: Une plateforme propriétaire réutilisera d'autant plus de technologies externes que l'industrie sera ouverte, avec néanmoins le sponsor comme filtre.

Proposition 8': Une plateforme libre est directement dépendante de l'ouverture du marché quand il s'agit de réutiliser des technologies externes.

À ce stade, il convient donc de se demander dans quelle situation une stratégie propriétaire peut se révéler plus intéressante qu'une stratégie libre. Si l'on regarde l'Illustration 34, nous pouvons voir (branche de gauche) que les plateformes propriétaires ne dominent jamais l'industrie quand celle-ci est concentrée, sauf quand le nombre moyen de services est faible. D'où l'Illustration 35 qui nous montre que ces plateformes gravitent dans des industries où le nombre moyen de services est faible quand la date de fin arrive tôt. Or nous avons vu (Illustration 28) qu'une simulation finit tôt quand l'industrie est relativement propriétaire dans son ensemble. Ainsi quand la concentration de l'industrie est légèrement supérieure à la médiane (3,293, voir Illustration 44, en annexe), ce ne sont pas les plateformes propriétaires qui en bénéficient, sauf si le marché dans son ensemble est orienté vers des stratégies propriétaires.

Pour les plateformes libres (Illustration 36, symétrique à l'Illustration 30), nous pouvons voir (branche de droite) qu'elles dominent largement l'industrie (relativement plus que les plateformes propriétaires) quand elles ont un ratio de technologies propriétaires faible et qu'elles sont sur un marché concentré. Pour autant (branche de gauche), les résultats montrent qu'une plateforme, qui a subi une augmentation exogène (puisque cette augmentation n'est pas inscrite dans sa stratégie) de son ratio de technologies propriétaires, réussit quand même à surpasser ses concurrentes propriétaires, à condition que l'industrie dans son ensemble soit orientée vers une stratégie propriétaire.

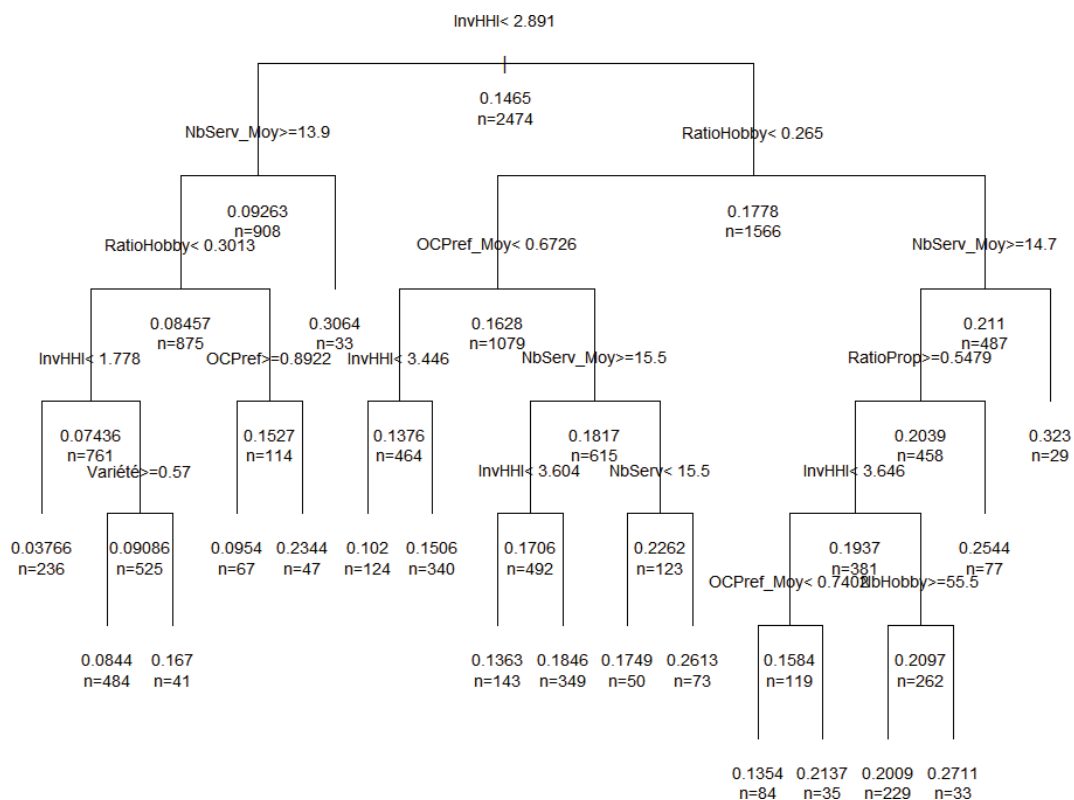


Illustration 34: Arbre de régression des parts de marché, pour les plateformes les plus propriétaires

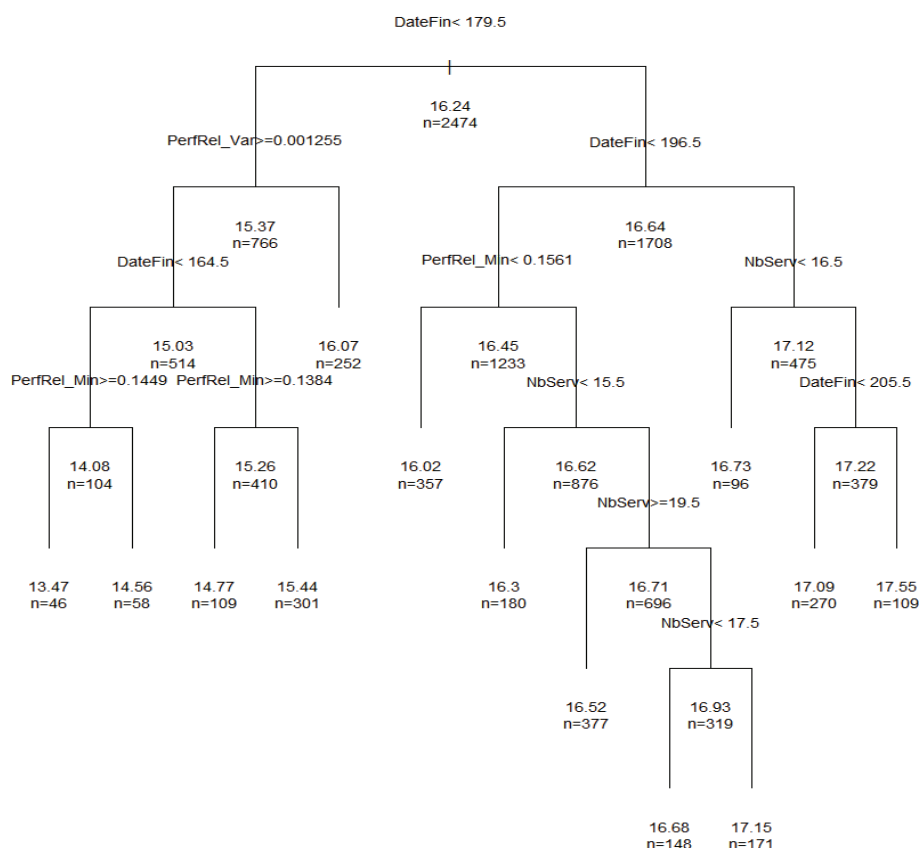


Illustration 35: Arbre de régression du nombre moyen de services sur le marché, pour les marchés où existent les plateformes les plus propriétaires

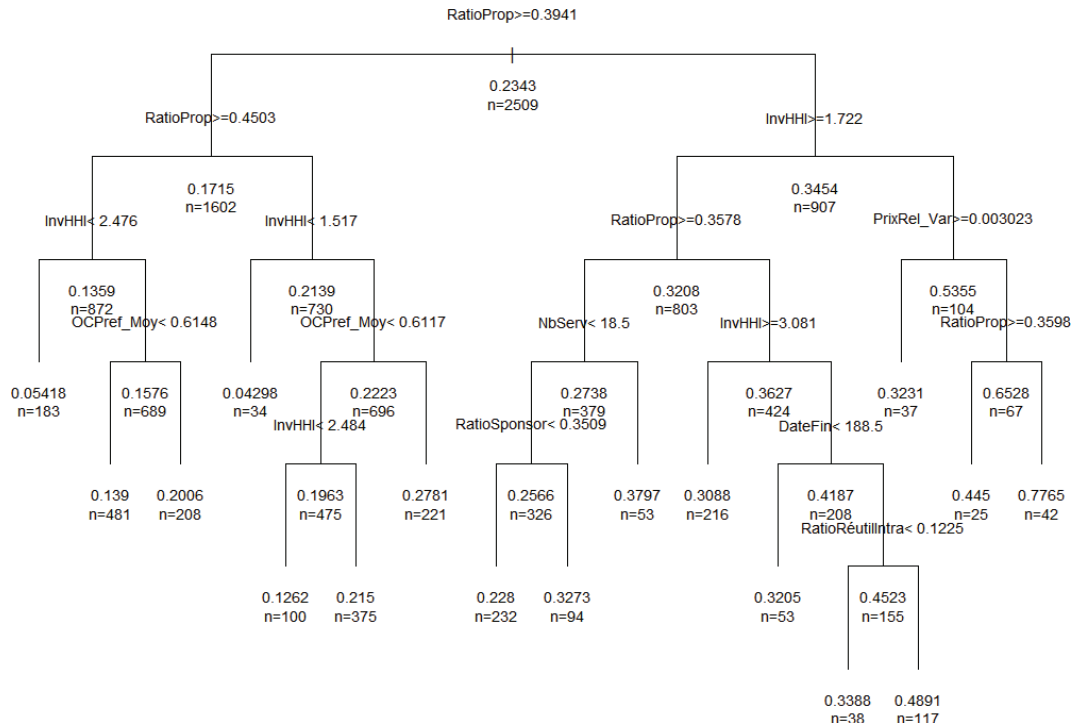


Illustration 36: Arbre de régression des parts de marché, pour les plateformes les plus libres

Ces résultats n'offrent pas vraiment de cadre à une proposition dans la mesure où ils entérinent un biais du modèle, en faveur de l'ouverture des plateformes. En revanche, la question de l'influence des firmes partenaires sur l'évolution – voir la performance de la plateforme – offre des résultats particulièrement intéressants. Dans le modèle, nous ne posons aucune contrainte sur les préférences en termes de droits de propriété des firmes partenaires ($OCPref_{\omega^*}$) : cette préférence est tirée selon une loi uniforme $U(0,25;1)$, quelle que soit la plateforme d'accueil et ne changera pas. Dans ce dernier point, nous étudions la différence entre $OCPref_p$ (la préférence en termes de droits de propriété de la plateforme) et le ratio observé de technologies propriétaires. Grâce à cela nous allons voir que les firmes partenaires, en déformant la structure des droits de propriété de la plateforme, n'ont pas le même effet selon que la plateforme soit, à l'origine, plus orientée vers des technologies libres ou propriétaires. En effet, une fois calculée cette différence, nous séparons cette population en deux, avec, d'une part, les plateformes pour lesquelles la différence est négative (Illustration 37, c'est-à-dire que le ratio observé de technologies propriétaires est supérieur au souhait initial de la plateforme) et, d'autre part, les plateformes pour lesquelles la différence est positive (Illustration 38). L'Illustration 39 nous permet, tout d'abord, de voir que la répartition de cette mesure est fortement liée à la valeur $OCPref_p$ des plateformes, élément que nous pouvons aussi observer sur les arbres de régression, puisqu' $OCPref_p$ apparaît comme la première variable explicative des différents niveaux de cette valeur. Ensuite, l'Illustration 37 nous montre

que pour les plateformes pour lesquelles cette différence est négative – les plateformes les plus ouvertes en terme d' $OCPref_p$, si l'on regarde l'Illustration 39 – plus la différence est importante, plus la plateforme subit une perte en termes de performance technologique ou de compétitivité prix. Nous pouvons donc en déduire que les plateformes ouvertes voient leur performance technologique et leur compétitivité se réduire en accueillant des technologies propriétaires. À contrario, les plateformes représentées dans l'Illustration 38, qui voient une déformation de leur stratégie au profit de technologies libres, ne bénéficient d'un gain de compétitivité prix ou de performance technologique que si le ratio de technologies détenues par le sponsor est faible. Or nous avons vu que cette situation va de pair avec un seuil d'accessibilité bas (Illustration 23, supra, p.162 et Proposition 2). C'est donc une stratégie hybride, articulant une préférence pour les technologies propriétaires et une ouverture aux partenariats extérieurs. Par conséquent, nous voyons que les plateformes totalement propriétaires n'ont rien à gagner à accueillir des technologies libres.

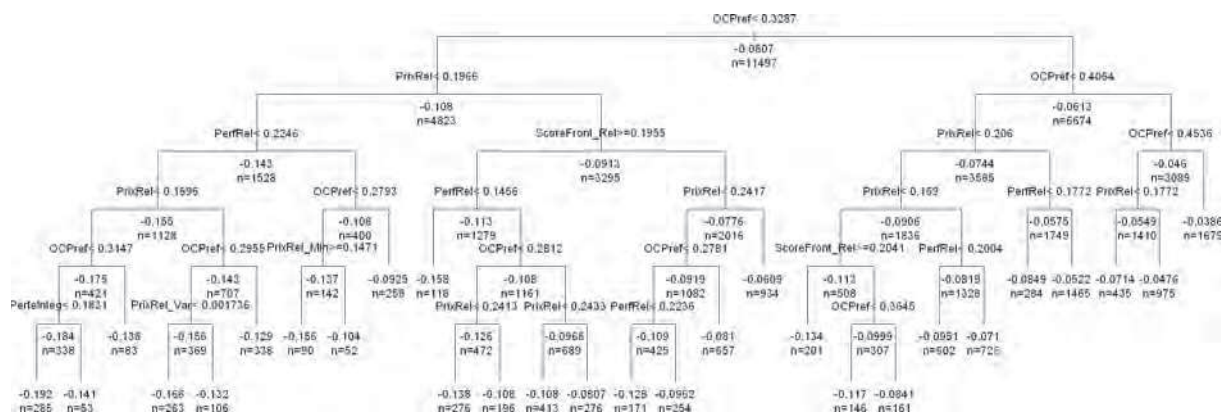


Illustration 37: Arbre de régression de l'évolution stratégique, pour les plateformes ayant une évolution négative

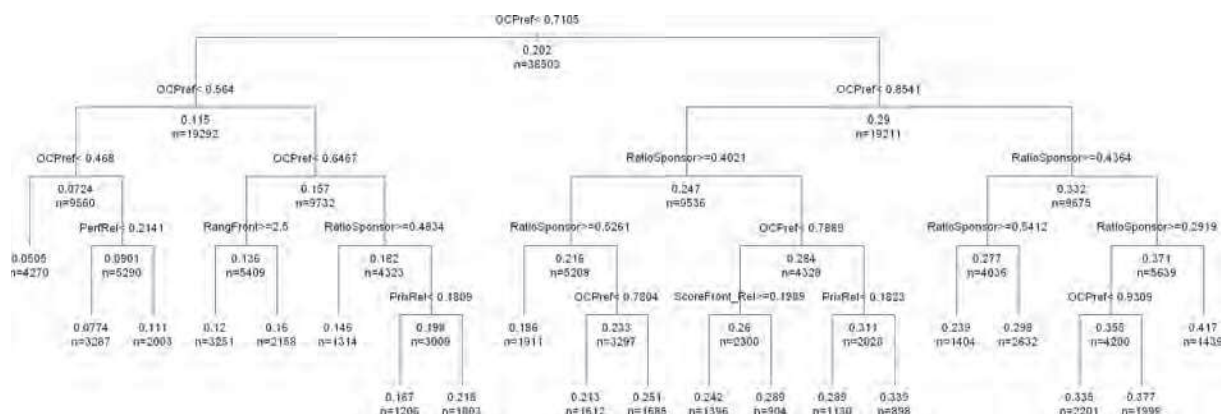


Illustration 38: Arbre de régression de l'évolution stratégique, pour les plateformes ayant une évolution positive

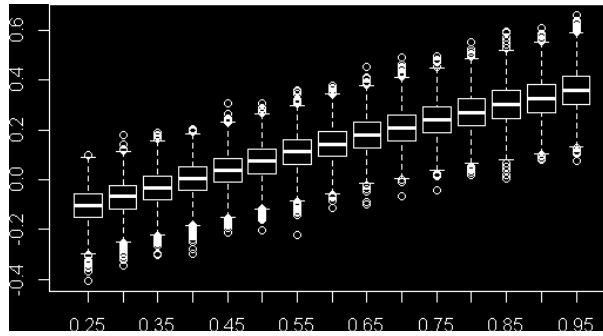


Illustration 39: Différence entre $OCPref_p$ et le ratio observé de technologies propriétaires, en fonction des tranches de valeurs de $OCPref_p$

Proposition 9: Une plateforme volontairement ouverte subit une perte de performance technologique et de compétitivité prix si elle accueille des technologies propriétaires venant de partenaires.

108

Proposition 9': Une plateforme volontairement hybride (technologies propriétaires et accessibilité importante) gagne à recevoir des technologies libres de la part de partenaires.

Proposition 9'': Une plateforme volontairement propriétaire n'a pas de gain de performance technologique ni de compétitivité prix en accueillant les technologies libres des partenaires.

Ces dernières propositions (8 à 9'') permettent de voir le positionnement stratégique des plateformes comme un continuum. En particulier, la stratégie hybride semble particulièrement éclairante des stratégies relatives aux systèmes d'exploitation : les projets Symbian et Android étudiés au chapitre 2 et, dans une certaine mesure, WindowsPhone présentent au moins à une période de leur histoire, cette double caractéristique de tolérance aux technologies libres et d'accessibilité aux partenaires extérieurs. Ainsi, les déboires de la plateforme Symbian semblent assez bien reproduits et, par conséquent, explicables dans ce modèle. Cette plateforme, à ses débuts, était caractérisée par une stratégie propriétaire, tout en étant accessible. En relâchant les droits de propriété avec le passage à la Symbian Foundation, nous aurions dû attendre une amélioration de la plateforme (Proposition 9'). Or nous avons vu avec les Propositions 8 et 8' que, pour pouvoir observer une baisse de la part des technologies détenues par le sponsor, il faut que l'industrie ait adopté relativement largement une approche libre. Nous pouvons donc imaginer que le changement de stratégie de Symbian s'est opéré trop tôt, l'in-

108Volontairement, c'est-à-dire que c'est la stratégie de départ choisie par le sponsor pour sa plateforme.

dustrie n'ayant pas encore suffisamment mobilisé des stratégies libres permettant d'attirer des partenaires extérieurs. D'une manière plus prospective, nous pouvons aussi voir un signal pour l'évolution future d'Android. Si cette plateforme répond à la guerre des brevets qui est menée contre elle, par une stratégie d'élargissement de sa base de technologies propriétaires (par l'intégration et l'accueil de partenaires détenant des brevets), nous pourrions observer un certain recul de la plateforme sur la compétitivité prix et la performance technologique.

Conclusion du Chapitre 3

En développant un modèle de simulation reproduisant un certain nombre d'éléments microéconomiques propres aux stratégies des plateformes, nous avons produit un certain nombre de résultats articulant ce niveau avec des éléments propres à l'industrie dans son ensemble. Les résultats ainsi obtenus nous permettant d'apporter un éclairage à l'évolution du marché des systèmes d'exploitation pour smartphones. Dans une logique de simulations « history-friendly », les hypothèses de représentation d'une architecture de plateforme et de la construction de cette architecture par les firmes nous ont permis de reproduire les trajectoires technologiques et commerciales des systèmes d'exploitation mobiles. Grâce à cela, nous avons pu mettre en avant des éléments d'explication de ces trajectoires, au travers de propriétés émergentes¹⁰⁹ présentées en deux temps. Le premier temps a été l'analyse des contraintes qui pèsent sur le leader technologique mettant en avant le poids de l'évolution de l'industrie dans son ensemble sur la pérennité de ce leadership. Cela nous a permis d'amener l'idée qu'une stratégie valable pour un leadership rapide peut s'avérer néfaste pour le maintien même de ce leadership quand la coordination entre plateformes devient une source d'avantage technologique (cas de Symbian et de BlackBerry). Le second temps a été un approfondissement de l'évolution des plateformes en lien avec la pression de l'industrie sur les stratégies initiales des firmes. Nous avons ainsi pu voir que cette pression n'a pas les mêmes effets selon les stratégies initiales des firmes, nous donnant ainsi quelques éléments critiques sur les avantages d'un changement de stratégie de la part des plateformes.

Ces résultats ouvrent la voie à de nouveaux travaux basés sur ce modèle, soit en dépassant ses limites, soit en introduisant des éléments d'évolution qui n'ont pas été explorés. En effet, une limite importante de ce modèle réside dans l'équilibre des avantages entre stratégies libres (clairement avantagées quant à la performance technologique) et stratégies propriétaires. Cela nous empêche par exemple de retrouver vraiment le cas de l'iPhone qui ne peut apparaître dans notre modèle que comme cas atypique et difficilement comme propriété émergente. L'explication de ce problème réside dans la difficulté à représenter en profondeur les leviers financiers que peuvent mobiliser les plateformes propriétaires. La modélisation de ces leviers produirait une limite inverse puisque les plateformes libres n'en bénéficient pas, elles se retrouveraient à leur tour désavantagées. Également une meilleure modélisation de l'apprentis-

¹⁰⁹Les propriétés émergentes sont des faits qui émergent des simulations sans avoir été prédéterminés de manière volontaire par le modèle de simulation.

sage permettrait un meilleur équilibre, les plateformes propriétaires bénéficiant d'une meilleure mémoire que les plateformes libres sujettes aux aller et venue de firmes à l'implication moindre (voir section 1.2.2.2., supra, p. 126).

En revanche, une utilisation future de ce modèle peut s'effectuer par une approche plus évolutive et endogène des stratégies des plateformes. Chaque plateforme s'inspire alors de ses propres succès et échecs et les comparent à ceux de ses concurrents, afin d'imiter les stratégies qui se révèlent fructueuses. Il serait dans ce cas intéressant de voir l'influence des stratégies de départ et des architectures de plateformes qui résultent dans un premier temps de ces stratégies, sur l'évolution globale des stratégies adoptées au sein de l'industrie. De la même manière, les firmes partenaires pourraient être modélisées de manière plus dynamique, certaines pouvant se rapprocher du statut de sponsor (à la manière des « core members » vus au chapitre 2) ou développer des rapports d'exclusivité avec une plateforme. Une évolution future du modèle peut aussi se faire par la modélisation d'origines sectorielles aux différents acteurs, qui dépasseraient la seule contrainte de spécialisation horizontale / verticale.

Conclusion générale

À l'origine de notre travail de recherche se trouve un questionnement sur la capacité pour des acteurs industriels hétérogènes à se structurer en industrie, afin de réaliser les innovations architecturales permettant la conception et la production des services mobiles. Nous avons abordé cette question en termes de dynamique industrielle, en portant notre regard sur le système de relations entre les firmes elles-mêmes, ainsi qu'entre les firmes et les technologies.

L'actualité de l'émergence des services mobiles associée à la complexité des interactions qui peuvent se nouer entre technologies et entre organisations nous ont conduit à mobiliser différentes méthodes propres à fournir des éléments de réponse complémentaires. La complémentarité des réponses est rendue possible par une trame constituée de trois idées clés : (i) le rôle et l'identité de l'organisation assurant la conception de l'architecture globale du système propre aux services mobiles, (ii) les formes de coordination des firmes, relatives à la création de standards, (iii) et les stratégies des firmes, relatives au débat libre-propriétaire, donc basé en particulier sur la définition des droits de propriété.

Ainsi, dans le premier chapitre, nous avons étudié l'émergence de l'industrie des services mobiles, en positionnant celle-ci dans le contexte plus large de la dérégulation des télécommunications et de la convergence numérique. À partir d'un cadre théorique adapté aux spécificités de cette industrie, nous avons analysé son émergence en trois étapes successives (les services de personnalisation, les services en mobilité et les services de mobilité). Chaque étape est ainsi caractérisée par un changement technologique, à l'origine de nouveaux services mobiles, modifiant ainsi la structure de l'industrie (quant aux acteurs au centre de la coordination) et les enjeux concurrentiels (source du leadership). Pour autant cette approche n'est pas basée sur un déterminisme technologique pur, mais sur une articulation du changement organisationnel et technologique. Les nouvelles avancées technologiques viennent fortement perturber la dynamique, tout en étant elles-mêmes le résultat du processus d'innovation antérieur.

En partant de cette analyse historique, nous avons pu voir l'évolution des réponses industrielles adoptées pour assurer la coordination entre opérateurs de réseaux, fabricants de terminaux et fournisseurs de services mobiles. Ainsi, l'arbitre de la coordination entre les firmes (l'architecte du système) était à l'origine le fabricant de terminaux. Ce rôle a ensuite échue aux opérateurs de réseaux et il semble que, finalement, le dernier mot soit aux usagers. Cette évolution est fortement liée à l'évolution des stratégies de spécialisation et de diversification, associée à l'évolution des positions des acteurs vis-à-vis des plateformes libres et propriétaires. Il en ressort le passage d'une implication dans le processus de standardisation à une implication dans la réactivité aux usages.

Le second chapitre reprend les trois idées clés de notre travail, au travers de l'étude des projets de développement de systèmes d'exploitation pour smartphones, combinant une coordination hiérarchique (présence d'un sponsor) et la création collective de standards selon une philosophie « open source ». En étudiant les expériences à la jonction de ces trois stratégies, nous approfondissons en particulier la question de l'hétérogénéité des acteurs à l'origine des services mobiles. Une première étape consiste à passer de la diversité des services mobiles présentée dans le premier chapitre, à une approche plus systémique au travers du concept de plateforme et d'architecture de la plateforme. Une seconde étape consiste à approfondir nos trois idées clés au regard du concept d'*open innovation*.

Il ressort de cette étude que la rencontre des firmes autour de ces plateformes est fortement dépendante de l'origine sectorielle de ces firmes, couplée au profil des sponsors des plateformes. Relativement à la technologie, la création de standards – que ce soit à l'intérieur de la plateforme ou entre les plateformes – n'est pas vraiment visible, même si les sponsors encouragent cette dynamique dès le départ.

Enfin le dernier chapitre correspond à un travail de formalisation qui a mobilisé une grande partie du temps consacré à notre recherche. En effet, les services mobiles sont déjà une extension du système de téléphonie mobile, mais constitue aussi un rapprochement avec d'autres systèmes technologiques numériques (Internet, plateformes logicielles de l'informatique traditionnelle, etc.). De ce fait, la représentation formelle de leur évolution au moyen d'un modèle de simulation soulève des questions importantes, relatives à la représentation d'un système aussi large et potentiellement interconnecté. Nous avons donc opté pour la simulation des projets de développement de systèmes d'exploitation et des services mobiles complémentaires. Ce choix réduit l'étendue du système propre aux services mobiles, par comparaison aux nombreuses interdépendances qui existent dans la réalité. Néanmoins, nous considérons qu'une partie de cette réflexion s'est effectuée par l'étude de cas du Chapitre 2.

Le point central de ce dernier chapitre est d'aborder l'industrie des services mobiles comme un tout. Le résultat est, tout d'abord, d'améliorer notre compréhension de l'architecture des produits en relation avec les stratégies de leurs créateurs. Ensuite, en lien avec notre problématique, nous mettons en avant grâce aux simulations que la configuration même des relations entre firmes aussi bien qu'entre firmes et des technologies est fortement dépendante de la structure de l'industrie.

L'ouverture assez naturelle de cette recherche consisterait à poursuivre cette réflexion une fois la période d'émergence des services mobiles terminée. En effet, ce travail se faisant sur un phénomène en train de se produire, un éclairage supplémentaire sera sûrement disponible une fois l'industrie stabilisée et ayant atteint une certaine maturité. Dans cette optique, l'étude des projets de systèmes d'exploitation pour smartphones pourrait s'élargir aussi aux plateformes propriétaires : les informations précises sur leur développement étant beaucoup moins accessible à court terme que pour les projets libres qui, par définition, s'appuient sur une circulation massive des informations.

Il nous semble également que de nombreuses réutilisations et réadaptations du modèle de simulation soient possibles. En termes de réutilisations, de nouveaux indicateurs et d'autres méthodes d'analyses des résultats pourraient être mobilisés afin d'étudier, en particulier, la dynamique d'évolution technologique et organisationnelle tout au long de l'histoire de la plateforme, alors que dans ce travail nous étudions surtout la fin de l'histoire. En termes de réadaptations, ce modèle de simulation pourrait être utilisé pour l'analyse d'autres objets numériques, pas nécessairement mobiles.

En effet, dans ce travail, en nous intéressant aux services numériques sur téléphone mobile, nous avons abordé un objet particulièrement complexe, multiforme et changeant. L'étendue des questions qu'il recouvre, dont les trois que nous avons retenues ont déjà un certaine ampleur, nous offre un cadre d'analyse suffisamment complet pour analyser la dynamique de changement technologique et organisationnel propre à d'autres objets numériques.

Bibliographie

- Abernathy W., Utterback J. (1978), "Patterns of industrial innovation", *Technology Review*, vol. 80 (7), pp. 40-47.
- Agar J. (2003), *Constant Touch – A Global History of the Mobile Phone*, Revolutions in Science, Icon Books UK, Cambridge.
- Akyildiz I., Xie J., Mohanty S. (2004), "A survey of mobility management in next-generation all-IP-based wireless systems", *IEEE Wireless Communications*, vol. 11 (4), pp. 16-28.
- Allen R.C. (1983), "Collective inventions", *Journal of Economic Behavior and Organization*, vol. 4, pp. 1-24.
- Altenberg L. (2005), "Modularity in evolution: some low-level questions", in: Callebaut W.R.-G.D. (Ed.), *Modularity: Understanding the Development and Evolution of Natural Complex Systems*, The MIT Press, Cambridge, pp. 99-128.
- Altenberg L. (1994), "Evolving better representations through selective genome growth", *The 1st IEEE Conference on Evolutionary Computation*, pp. 182-187.
- Antonelli C. (2005), "Models of knowledge and systems of governance", *Journal of Institutional Economics*, vol. 1 (1), pp. 51-73.
- Arthur B. (1989), "Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events", *The Economic Journal*, vol. 99, pp. 116-131.
- Babutsidze Z. (2011), "Returns to product promotion when consumers are learning how to consume", *Journal of Evolutionary Economics*, forthcoming, published online: 5 January 2011.
- Baldi S., Thaung H.P.-P. (2002), "The entertaining way to m-commerce: Japan's approach to the mobile internet – A model for Europe?", *Electronic Markets*, vol. 12 (1), pp. 6-13.
- Baldwin C.Y., Clark K.B. (2000), *Design Rules: the Power of Modularity*, MIT Press, Cambridge.

- Baldwin C.Y., Clark K.B. (2006), "The architecture of participation: does code architecture mitigate free riding in the open source development model?", *Management Science*, vol. 52 (7), pp. 1116–1127.
- Baldwin C.Y., Woodard C.J. (2009), "The architecture of platforms: a unified view", in: Gawer A. (Ed.), *Platforms, Markets and Innovation*, Edward Elgar, Cheltenham, pp. 19-44.
- Bekkers R. (2001), *Mobile Telecommunications Standards: GSM, UMTS, TETRA, and ERMES*, Artech House, Norwood.
- Bekkers R., Bongard R., Nuvolari A. (2011), "An empirical study on the determinants of essential patent claims in compatibility standards", *Research Policy*, vol. 40, pp. 1001-1015.
- Bekkers R., Verspagen B., Smits J. (2002), "Intellectual property rights and standardization: the case of GSM", *Telecommunications Policy*, vol. 26 (3-4), pp. 171-188.
- Benkler Y. (2006), "Exclusive rights in information and mobile wireless mass media", in: Groebel J., Noam E., Feldman V. (Ed.), *Mobile Media — Content and Services for Wireless Communications*, Lawrence Erlbaum, Mahwah, pp. 187-200.
- Besen S.M., Farrell J. (1994), "Choosing how to compete: strategies and tactics in standardization", *Journal of Economic Perspectives*, vol. 8 (2), pp. 117-137.
- Bessen J. (2004), "Patent thickets: strategic patenting of complex technologies", *Research on Innovation Working Papers*, vol. 0401.
- Blume M., Appel A.W. (1999), "Hierarchical modularity", *ACM Transactions on Programming Languages and Systems*, vol. 21 (4), pp. 813-847.
- 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 (7), pp. 1085-1098.
- Boudreau K. (2010), "Open platform strategies and innovation: granting access vs. devolving control", *Management Science*, vol. 56 (10), pp. 1849-1872.
- Bourreau M., Doğan P., Manant M. (2007), "Modularity and product innovation in digital markets", *Review of Networks Economics*, vol. 6 (2), pp. 175-193.
- Breiman L., Friedman J., Olshen R., Stone C. (1984), *Classification and Regression Trees*, Wadsworth, Belmont, CA.
- Briscoe B., Odlyzko A., Tilly B. (2006), "Metcalf's law is wrong", *IEEE Spectrum*, vol. 43 (7), pp. 26-31.
- Brousseau É., Curien N. (2001), "Économie d'Internet, économie du numérique", *Revue Économique*, vol. 52 (HS), pp. 7-36.
- Brousseau É., Pénard T. (2007), "The economics of digital business models: a framework for analyzing the economics of platforms", *Review of Network Economics*, vol. 6 (2), pp. 81-114.

- Brusoni S., Fontana R. (2011), "Incumbents' strategies for platform competition – Shaping the boundaries of creative destruction", in: De Liso N., Leoncini R. (Ed.), *Internationalization, Technological Change and the Theory of the Firm*, Routledge, New York, pp. .
- Brusoni S., Marengo L., Prencipe A., Valente M. (2004), "The value and costs of modularity: a cognitive perspective", *SPRU Electronic Working Paper Series*, Paper No. 123.
- Brusoni S., Prencipe A., Pavitt K. (2001), "Knowledge specialization, organizational coupling, and the boundaries of the firm: why do firms know more than they make?", *Administrative Science Quarterly*, vol. 46 (4), pp. 597-621.
- Buenstorf G. (2005), "Sequential production, modularity and technological change", *Structural Change and Economic Dynamics*, vol. 16, pp. 221-241.
- Callon M. (1999), "Le réseau comme forme émergente et comme modalité de coordination : le cas des interactions stratégiques entre firmes industrielles et laboratoires académiques", in: Callon M., Cohendet P., Curien N., et al. (Ed.), *Réseau et Coordination*, Economica, , pp. 13-64.
- Camarillo G., Garcia-Martin M. (2008), *The 3G IP multimedia subsystem (IMS): merging the Internet and the cellular worlds*, Wiley, Chichester.
- Carlsson B. (1992), "Industrial dynamics : a framework for analysis of industrial transformation", *Revue d'Économie Industrielle*, vol. 61, pp. 7-32.
- CERNA (2004), "Enjeux économiques de la distribution des contenus", *Étude RIAM-Contango*, Bomsel Olivier (dir.).
- Chang M., Harrington J. (2006), "Agent-based models of organizations", in: Tesfatsion L., Judd K.L. (Ed.), *Handbook of computational economics, volume 2*, Elsevier, Amsterdam, pp. 1273-1337.
- Chantepie P. (2004), "Analyses économiques de la communication de contenus numériques sur les réseaux", *Inspection Générale de l'Administration des Affaires Culturelles*, rapport 2004-46.
- Chesbrough H. (2006), "Open innovation: a new paradigm for understanding industrial innovation", in: Chesbrough H., Vanhaverbeke W., West J. (Ed.), *Open Innovation: Researching a New Paradigm*, Oxford University Press, Oxford, pp. 1-12.
- Choi S., Whinston A. (2000), "Benefits and requirements for interoperability in the electronic marketplace", *Technology In Society*, vol. 22 (1), pp. 33-44.
- Ciarli T., Leoncini R., Montresor S., Valente M. (2008), "Technological change and the vertical organization of industries", *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 18, pp. 367-387.
- Cohen W.M., Levinthal D.A. (1990), "Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation", *Administrative Science Quarterly*, vol. 35 (1), pp. 128-152.
- Coris M. (2006), "Les consortiums ouverts: une nouvelle approche pour la standardisation des logiciels", *Revue d'Économie Industrielle*, vol. 116, pp. 105-126.
- Curien N. (1987), "L'accès et l'usage téléphoniques : modélisation conjointe et tarification optimale", *Revue Économique*, vol. 38 (2), pp. 415-458.

- Curien N. (2005), *Économie des Réseaux*, Repères, La Découverte, Paris.
- Curien N., Gensollen M. (1992), *Économie des Télécommunications – Ouverture et Réglementation*, Economica, Paris.
- Dalle J.-M., David P.A. (2007), "Simulating code growth in Libre (open source) mode", in: Brousseau É., Curien N. (Ed.), *Internet and Digital Economics - Principles, Methods and Applications*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 391-424.
- Dang-Nguyen G., Pénard T. (2000), "Les accords d'interconnexion dans les réseaux de télécommunications: des comportements stratégiques aux droits de propriété", *Revue d'Économie Industrielle*, vol. 92, pp. 297-316.
- Danilovic M., Browning T.R. (2007), "Managing complex product development projects with design structure matrices and domain mapping matrices", *International Journal of Project Management*, vol. 25 (3), pp. 300-314.
- David P., Greenstein S. (1990), "The economics of compatibility standards: an introduction to recent research", *Economics Of Innovation And New Technology*, vol. 1 (1-2), pp. 3-41.
- Dosi G. (1982), "Technological paradigms and technological trajectories", *Research Policy*, vol. 11, pp. 147-162.
- Dosi G., Levinthal D.A., Marengo L. (2003), "Bridging contested terrain: linking incentive-based and learning perspectives on organizational evolution", *Industrial and Corporate Change*, vol. 12 (2), pp. 413-436.
- Economides N. (1996), "The economics of networks", *International Journal of Industrial Organization*, vol. 14 (6), pp. 673-699.
- Edquist C. (2003), "The fixed Internet and mobile telecommunications sectoral system of innovation: equipment, access and content", in: Edquist C. (Ed.), *The Internet and Mobile Telecommunications System Of Innovation: Developments in Equipment, Access and Content*, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, pp. 1-39.
- van den Ende J. (2003), "Models of governance of new service development for mobile networks. A life cycle perspective", *Research Policy*, vol. 32, pp. 1501-1518.
- Engler D.R., Kaashoek M.F., O'toole J.J. (1995), "Exokernel: An operating system architecture for application-level resource management", *Proceedings of the Fifteenth ACM Symposium on Operating Systems Principles*, pp. 251-266.
- Ethiraj S.K., Levinthal D. (2002), "Search for architecture in complex worlds: an evolutionary perspective on modularity and the emergence of dominant designs", *Working Paper*.
- Ethiraj S.K., Levinthal D. (2004), "Modularity and innovation in complex systems", *Management Science*, vol. 50 (2), pp. 159-173.
- Evans D.S., Hagiu A., Richard S. (2006), *Invisible Engines: How Software Platforms Drive Innovation and Transform Industries*, The MIT Press, Cambridge.
- Farrell J., Saloner G. (1988), "Coordination through committees and markets", *RAND Journal of Economics*, vol. 19 (2), pp. 235-252.
- Feijòo C., Maghiros I., Abadie F., Gómez-Barroso J.L. (2009), "Exploring a heterogeneous and fragmented digital ecosystem: Mobile content", *Telematics and Informatics*, vol. 26, pp. 282-292.

- Feldmann V. (2005), *Leveraging Mobile Media: Cross-media Strategy and Innovation Policy for Mobile Media Communication*, Information Age Economy Serie, Physica-Verlag, Heidelberg.
- Fine C.H., Whitney D.E. (1996), "Is the make-buy decision process a core competence?", *MIT Working Papers*, MIT Center for Technology, Policy, and Industrial Development.
- Foray D. (1993), "Standardisation et concurrence : des relations ambivalentes", *Revue d'Économie Industrielle*, vol. 63, pp. 84-101.
- Foray D. (2002), "Innovation et concurrence dans les industries de réseau", *Revue française de gestion*, vol. 139 (3), pp. 131-154.
- Frenken K. (2006a), *Innovation, Evolution and Complexity Theory*, Edward Elgar, Cheltenham.
- Frenken K. (2006b), "A fitness landscape approach to technological complexity, modularity, and vertical disintegration", *Structural Change and Economic Dynamics*, vol. 17 (3), pp. 288-305.
- Frenken K., Marengo L., Valente M. (1999), "Interdependencies, nearly-decomposability and adaption", *CEEL Working Papers*.
- Frigant V. (2005), "Vanishing hand versus Systems integrators - Une revue de la littérature sur l'impact organisationnel de la modularité", *Revue d'Économie Industrielle*, vol. 109, pp. 29-52.
- Funk J.L. (2001), *The Mobile Internet: How Japan Dialed Up and the West Disconnected*, ISI publications, Hong Kong.
- Funk J.L. (2004), *Mobile Disruption – The Technologies and Applications Driving the Mobile Internet*, Wiley-Interscience, Hoboken.
- Funk J.L. (2007), "Solving the startup problem in Western mobile Internet markets", *Telecommunications Policy*, vol. 31 (1), pp. 14-30.
- Funk J.L. (2009a), "The emerging value network in the mobile phone industry: The case of Japan and its implications for the rest of the world", *Telecommunications Policy*, vol. 33 (1-2), pp. 4-18.
- Funk J.L. (2009b), "The co-evolution of technology and methods of standard setting: the case of the mobile phone industry", *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 19 (1), pp. 79-93.
- Gallini N. (2002), "The economics of patents: Lessons from recent US patent reform", *The Journal of Economic Perspectives*, vol. 16 (2), pp. 131-154.
- Gallouj F., Weinstein O. (1997), "Innovation in services", *Research Policy*, vol. 26, pp. 537-556.
- Ganco M., Hoetker G. (2009), "NK modeling methodology in the strategy literature: bounded search on a rugged landscape", in: Bergh D., Ketchen D. (Ed.), *Research Methodology in Strategy and Management - Vol. 5*, Emerald Group Publishing, Bingley, pp. 237-268.
- Garud R., Kumaraswamy A. (1995), "Technological and organizational designs for realizing economies of substitution", *Strategic Management Journal*, vol. 16 (1), pp. 93-109.

- Gawer A., Cusumano M.A. (2002), *Platform Leadership – How Intel, Microsoft, and Cisco Drive Industry Innovation*, Harvard Business School Press, Boston.
- Gawer A., Henderson R. (2007), "Platform owner entry and innovation in complementary markets: evidence from Intel", *Journal of Economics & Management Strategy*, vol. 16 (1), pp. 1–34.
- Gille L. (2007), "Vers de nouveaux modèles d'affaires et de chaînes de valeur", *La Société de la Connaissance à l'Ère de la Vie Numérique*, Colloque du 10ème anniversaire du GET.
- Glimstedt H. (2001), "Competitive dynamics of technological standardization: the case of third generation cellular communications", *Industry and Innovation*, vol. 8 (1), pp. 49-78.
- Greenstein S. (2010), "Innovative conduct in computing and Internet markets", in: Hall B.H., Rosenberg N. (Ed.), *Handbook of Economics of Invention*, Elsevier, Amsterdam, pp. 477-537.
- Grimaldi R., Torrisi S. (2001), "Codified-tacit and general-specific knowledge in the division of labour among firms - A study of the software industry", *Research Policy*, vol. 30, pp. 1425–1442.
- Griset P. (2002), "Entre monopole et haute technologie, les mutations d'une entreprise dans la longue durée: le Bell System 1876-2000", *Entreprises et Histoire*, vol. 30, pp. 100-114.
- Gueguen G. (2008), "Coopétition et écosystèmes d'affaires dans les secteurs des technologies de l'information: le cas des Terminaux Mobiles Intelligents", *Conférence de l'AIMS*.
- Helpman E., Trajtenberg M. (1996), "Diffusion of General Purpose Technologies", *NBER Working Papers*, No 5773.
- Henderson R.M., Clark K.B. (1990), "Architectural innovation: the reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms", *Administrative Science Quarterly*, vol. 35, pp. 9-30.
- von Hippel E. (1988), *The Sources of Innovation*, Oxford University Press, New York.
- von Hippel E., von Krogh G. (2003), "Open source software and the 'private-collective' innovation model: issues for organization science", *Organization Science*, vol. 14 (2), pp. 208-223.
- Hobday M. (2000), "The project-based organisation: an ideal form for managing complex products and systems?", *Research Policy*, vol. 29 (7-8), pp. 871-893.
- IDATE (2008), "Mobile 2008 – Markets and trends – Facts and figures", *Market Report*.
- Jaokar A., Fish T. (2006), *Mobile Web 2.0 – The Innovator's Guide to Developing and Marketing Next Generation Wireless/Mobile Applications*, Futuretext, London.
- Jullien B. (2011), "Approche institutionnaliste de la dynamique industrielle", in: Belis-Bergouignan M.-C., Jullien B., Lung Y., Yildizoglu M. (Ed.), *Industries, Innovations, Institutions - Éléments de Dynamique Industrielle*, Presses Universitaires de Bordeaux, Pessac, pp. 67-126.
- Juniper Research (2007), "The race for mobile content revenues", *Juniper Research - White Paper*.

- Kauffman S.A. (1989), "Adaptation on rugged fitness landscapes", *Lectures in the Sciences of Complexity*, vol. 1, pp. 527-618.
- Kelly J. (2006), "Design strategies for future wireless content", in: Groebel J., Noam E., Feldman V. (Ed.), *Mobile Media — Content and Services for Wireless Communications*, Lawrence Erlbaum, Mahwah, pp. 69-85.
- Kicing R., Arciszewski T., Jong K.D. (2005), "Evolutionary computation and structural design: A survey of the state-of-the-art", *Computers & Structures*, vol. 83 (23-24), pp. 1943-1978.
- Klepper S. (1997), "Industry life cycles", *Industrial and Corporate Change*, vol. 6 (1), pp. 145-182.
- von Krogh G., Stuermer M., Geipel M., Spaeth S., Haefliger S. (2009), "How component dependencies predict change in complex technologies", *Druid Summer Conference 2009*.
- Laffont J.-J., Tirole J. (2001), *Competition in Telecommunications*, The MIT Press, Cambridge.
- Lancaster K.J. (1966), "A new approach to consumer theory", *The Journal of Political Economy*, vol. 74, pp. 132-157.
- Langlois R. (2002), "Modularity in technology and organization", *Journal of Economic Behavior and Organization*, vol. 49, pp. 19-37.
- Langlois R., Garzarelli G. (2008), "Of Hackers and Hairdressers: Modularity and the Organizational Economics of Open-source Collaboration", *Industry and Innovation*, vol. 15 (2), pp. 125-143.
- Lanthier P. (1998), "L'électricité, construction sociale ou système technologique ? Réflexions sur de récentes théories en histoire des techniques", in: Merger M., Barjot D. (Ed.), *Les Entreprises et leurs Réseaux : Hommes, Capitaux, Techniques et Pouvoirs XIXe – XXe siècle*, Presses de l'Université de Paris-Sorbonne, Paris, pp. 581-587.
- Le Masson P., Weil B., Hatchuel A. (2009), "Platforms for the design of platforms: collaborating in the unknown", in: Gawer A. (Ed.), *Platforms, Markets and Innovation*, Edward Elgar, Cheltenham, pp. 273-305.
- Leavitt N. (2000), "Will WAP deliver the wireless internet?", *Computer*, vol. 335, pp. 16-20.
- Lerner J., Tirole J. (2005), "The scope of open source licensing", *The Journal of Law, Economics, & Organization*, vol. 21 (1), pp. 20-56.
- Liebowitz S., Margolis S. (1994), "Network externality: an uncommon tragedy", *Journal of Economic Perspectives*, vol. 8 (2), pp. 133-150.
- Lipartito K. (2011), "Regulation reconsidered: the telephone industry since 1975", *Entreprises et Histoire*, vol. 61 (4), pp. 164-191.
- Luer C., Rosenblum D.S., Van Der Hoek A. (2001), "The evolution of software evolvability", *Proceedings of International Workshop on the Principles of Software Evolution*, pp. 131-134.

- 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 (7), pp. 1015–1030.
- MacCormack A., Verganti R. (2003), "Managing the sources of uncertainty: Matching process and context in software development", *Journal of Product Innovation Management*, vol. 20 (3), pp. 217-232.
- Maitland C. (2006), "Mobile commerce business models and network formation", in: Groebel J., Noam E., Feldman V. (Ed.), *Mobile Media - Content and Services for Wireless Communications*, Lawrence Erlbaum, Mahwah, pp. 139-152.
- Malerba F., Nelson R., Orsenigo L., Winter S. (1999), "'History-friendly' models of industry evolution: the computer industry", *Industrial and Corporate Change*, vol. 8 (1), pp. 3-40.
- Malerba F., Nelson R., Orsenigo L., Winter S. (2008), "Vertical integration and disintegration of computer firms: a history-friendly model of the coevolution of the computer and semiconductor industries", *Industrial and Corporate Change*, vol. 17 (2), pp. 197-231.
- Marengo L., Valente M. (2010), "Industry dynamics in complex product spaces: An evolutionary model", *Structural Change and Economic Dynamics*, vol. 21 (1), pp. 5-16.
- Matutes C., Regibeau P. (1988), "'Mix and match': product compatibility without network externalities", *The RAND Journal of Economics*, vol. 19 (2), pp. 221-234.
- Maula M., Keil T., Salmenkaita J.-P. (2006), "Open innovation in systemic innovation contexts", in: Chesbrough H., Vanhaverbeke W., West J. (Ed.), *Open Innovation: Researching a New Paradigm*, Oxford University Press, Oxford, pp. 241-257.
- Meyer M.H., Seliger R. (1998), "Product platforms in software development", *Sloan Management Review*, vol. 40 (1), pp. 61-74.
- Morgan Stanley Research (2009), "The mobile Internet report", *Morgan Stanley Research*.
- Morgan Stanley Research (2010), "Ten questions Internet execs should ask and answer", *Morgan Stanley Research*, Web 2.0 Summit – San Francisco, CA.
- Murmann J., Frenken K. (2006), "Toward a systematic framework for research on dominant designs, technological innovations, and industrial change", *Research Policy*, vol. 35 (7), pp. 925-952.
- Musso P. (2008), *Les Télécommunications*, Repères, La Découverte, Paris.
- Nalebuff B.J., Brandenburger A.M. (1997), *Co-opetition*, Harper Collins Business, London.
- Narduzzo A., Rossi A. (2003), "Modular design and the development of complex artefact lesson from free open source software", *Quaderni DISA*.
- Nelson R.R., Winter S. (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge.
- Noam E. (2006), "Access of content to mobile wireless : opening the 'walled airwave'", in: Groebel J., Noam E., Feldman V. (Ed.), *Mobile Media — Content and Services for Wireless Communications*, Lawrence Erlbaum, Mahwah, pp. 225-237.
- Nuvolari A. (2004), "Collective invention during the British Industrial Revolution: the case of the Cornish pumping engine", *Cambridge Journal of Economics*, vol. 28, pp. 347-363.

- Odlyzko A. (2001), "Content is not king", *First Monday*, vol. 6 (2).
- O'Mahony S., Ferraro F. (2007), "The emergence of governance in an open source community", *Academy of Management Journal*, vol. 50 (5), pp. 1079–1106.
- Parnas D. (1972), "On the criteria to be used in decomposing systems into modules", *Communications of the ACM*, vol. 15 (12), pp. 1053-1058.
- Perez C. (1986), "The new technologies: An integrated view", *Working Papers in Technology Governance and Economic Dynamics*, vol. 19.
- Poupée K. (2003), *La Téléphonie Mobile*, Que Sais-je ?, Presses Universitaires de France, Paris.
- Powell W.W., Giannella E. (2009), "Collective invention and inventor networks", in: Hall B.H., Rosenberg N. (Ed.), *Handbook of Economics of Invention*, Elsevier, Amsterdam, pp. 575-605.
- Pénard T. (2001), "Comment analyser le succès de la téléphonie mobile en France ?", *miméo CREREG*, Université de Rennes 1.
- Pénin J. (2008), "More open than open innovation? Rethinking the concept of openness in innovation studies", *Working Papers of BETA*, n° 2008-18.
- Querbes-Revier A. (2011), "The strategic trade-offs for beneficial open innovation : the case of 'open source' consortia in mobile OS development", *Journal of Innovation Economics*, vol. 7, pp. 109-130.
- Radhika N.A. (2003), "DoCoMo - The Japanese wireless telecom leader", *ICMR Case Collection*, vol. 49.
- Rallet A. (1995), "De la 'convergence des techniques' à la divergence des acteurs", *Technologies de l'Information et Société*, vol. 7 (2), pp. 257-270.
- Raymond E. (2001), *The Cathedral and The Bazaar: Musings on Linux and Open Source by an Accidental Revolutionary*, O'Reilly Media, Sebastopol (CA).
- Rivkin J.W., Siggelkow N. (2003), "Balancing search and stability: interdependencies among elements organizational design", *Management Science*, vol. 49 (3), pp. 290-311.
- Rivkin J.W., Siggelkow N. (2007), "Patterned interactions in complex systems: Implications for exploration", *Management Science*, vol. 53 (7), pp. 1068-1085.
- Rochelandet F., Mbo'o Ida M.F. (2007), "Les enjeux économiques de l'interopérabilité", *Revue Lamy - Droit de l'immatériel*, vol. 23 (janvier), pp. 25-31.
- Rosenberg N. (1969), "The direction of technological change: inducement mechanisms and focusing devices", *Economic Development and Cultural Change*, vol. 18 (1), pp. 1-24.
- Sanchez R. (1995), "Strategic flexibility in product competition", *Strategic Management Journal*, vol. 16 (1), pp. 135-159.
- Sanchez R., Mahoney J. (1996), "Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design", *Strategic Management Journal*, vol. 17, pp. 63-76.
- Saviotti P.P., Metcalfe J.S. (1984), "A theoretical approach to the construction of technological output indicators", *Research Policy*, vol. 13, pp. 141-151.

- Schilling M.A. (2009), "Protecting of diffusing a technology platform: tradeoffs in appropriability, network externalities, and architectural control", in: GAWER A. (Ed.), *Platforms, Markets and Innovation*, Edward Elgar, Cheltenham, pp. 192-218.
- Sen R., Subramaniam C., Nelson M.L. (2008), "Determinants of the choice of open source software license", *Journal of Management Information Systems*, vol. 25 (3), pp. 207–239.
- Shah S.K. (2006), "Motivation, governance, and the viability of hybrid forms in open source software development", *Management Science*, vol. 52 (7), pp. 1000-1014.
- Shalit R. (2002), "Lord of the ring", *M-Pulse Magazine*, November.
- Shapiro C. (2000), "Navigating the patent thicket: cross licenses, patent pools, and standard-setting", *Presentation at "Innovation Policy and the Economy"*, NBER.
- Shapiro C., Varian H.R. (1999), *Économie de l'Information – Guide Stratégique de l'Économie des Réseaux*, De Boeck Université, Bruxelles.
- Siggelkow N., Levinthal D. (2003), "Temporarily divide to conquer: centralized, decentralized, and reintegrated organizational approaches to exploration and adaptation", *Organization Science*, vol. 14, pp. 650-669.
- Silverberg G., Verspagen B. (2005), "A percolation model of innovation in complex technology spaces", *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 29 (1-2), pp. 225-244.
- Simcoe T. (2006), "Open standards and intellectual property rights", in: Chesbrough H., Vanhaverbeke W., West J. (Ed.), *Open Innovation: Researching a New Paradigm*, Oxford University Press, Oxford, pp. 161-183.
- Simon H.A. (1962), "The Architecture of complexity", *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 106 (6), pp. 467-482.
- Stango V. (2004), "The economics of standards wars", *Review Of Network Economics*, vol. 3 (1), pp. 1-19.
- Steinbock D. (2003), *Wireless Horizon: Strategy and Competition in the Worldwide Mobile Marketplace*, Amacom Books, New York.
- Steinbock D. (2005), *The Mobile Revolution - The Making of Mobile Services Worldwide*, Kogan Page, London.
- Steinmuller W.E. (2003), "The role of technical standards in coordinating the division of labour in complex system industries", in: Prencipe A., Davies A., Hobday M. (Ed.), *The Business of Systems Integration*, Oxford University Press, Oxford, pp. 133-152.
- Tee R. (2010), "Coordinating technological collaboration in fast changing environments: understanding the interplay between product and organizational architecture", *DRUID Summer Conference 2010*.
- Thorngren B. (2006), "Profitable at any speed ?", in: Groebel J., Noam E., Feldman V. (Ed.), *Mobile Media — Content and Services for Wireless Communications*, Lawrence Erlbaum, Mahwah, pp. 133-138.
- Ulrich K. (1995), "The role of product architecture in the manufacturing firm", *Research Policy*, vol. 24 (3), pp. 419-440.

- Valente M. (2008), "Pseudo-NK : an enhanced model of complexity", *LEM Working Papers Series*, vol. 2008/26.
- Valente M., Andersen E. (2002), "A hands-on approach to evolutionary simulation: Nelson–Winter models in the Laboratory for Simulation Development", *The Electronic Journal of Evolutionary Modeling and Economic Dynamics*, vol. 1003.
- Varian H.R. (2004), "Competition and market power", in: Varian H.R., Farrell J., Shapiro C. (Ed.), *The Economics of Information Technology*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1-47.
- West J. (2007), "The economic realities of open standards: black, white and many shades of gray", in: Greenstein S., Stango V. (Ed.), *Standards And Public Policy*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 87-122.
- West J. (2003), "How open is open enough? Melding proprietary and open source platform strategies", *Research Policy*, vol. 32, pp. 1259–1285.
- West J., Gallagher S. (2006), "Patterns of open innovation in open source software", in: Chesbrough H., Vanhaverbeke W., West J. (Ed.), *Open Innovation: Researching a New Paradigm*, Oxford University Press, Oxford, pp. 241-257.
- West J., Lakhani K.R. (2008), "Getting clear about communities in open innovation", *Industry and Innovation*, vol. 15 (2), pp. 223–231.
- West J., Mace M. (2010), "Browsing as the killer app: Explaining the rapid success of Apple's iPhone", *Telecommunications Policy*, vol. 34 (5-6), pp. 270-286.
- West J., O'Mahony S. (2008), "The Role of participation architecture in growing sponsored open source communities", *Industry and Innovation*, vol. 15 (2), pp. 145-168.
- West J., Wood D. (2008), "Creating and evolving an open innovation ecosystem: lessons from Symbian ltd", *Working Paper*.
- Willinger M., Zuscovitch E. (1993), "Efficiency, irréversibilités et constitution des technologies", *Revue d'Économie Industrielle*, vol. 65, pp. 7-22.
- Winter S., Cattani G., Dorsch A. (2007), "The value of moderate obsession: Insights from a new model of organizational search", *Organization Science*, vol. 18 (3), pp. 403-419.
- Woodard C. (2006), *Architectural Strategy and Design Evolution in Complex Engineered Systems*, PhD Dissertation in Information, Technology and Management, Harvard University.
- Yakob R., Tell F. (2007), "Managing near decomposability in complex platform development projects", *International Journal of Technology Intelligence and Planning*, vol. 3 (4), pp. 387-407.
- Yamakami T. (2009), "Foundation-based mobile platform software engineering: implications to convergence to open source software", *ACM International Conference Proceeding Series*, vol. 403.
- Yoo Y., Lyytinen K., Yang H. (2005), "The role of standards in innovation and diffusion of broadband mobile services: The case of South Korea", *The Journal of Strategic Information Systems*, vol. 14 (3), pp. 323-353.

- Yu L., Ramaswamy S. (2006), "Software and biological evolvability: a comparison using key properties", *Second International IEEE Workshop on Software Evolvability*, pp. 82-88.
- Zimmermann J.-B. (1999), "Logiciel et propriété intellectuelle : du Copyright au Copyleft", *Terminal*, vol. 80/81, pp. 151-166.
- Zysman G., Tarallo J., Howard R., Freidenfelds J., Valenzuela R., Mankiewich P. (2000), "Technology evolution for mobile and personal communications", *Bell Labs Technical Journal*, vol. 5 (1), pp. 107-129.

Index des illustrations

Illustration 1: Chronologie de la préhistoire des services mobiles (1870-1992).....	25
Illustration 2 : Procès en cours ou finalisés par des accords de licence, octobre 2010.....	33
Illustration 3: Chronologie de l'émergence des services mobiles (1992 à nos jours).....	38
Illustration 4 : Les normes 1G et 2G et leur répartition géographique.....	39
Illustration 5: Relations épistatiques aléatoires pour $N=10$, $K=4$	108
Illustration 6: Example of a genotype–phenotype map.....	111
Illustration 7: Exemples d'architectures de systèmes d'exploitation mobiles.....	114
Illustration 8: Hiérarchie par niveaux des modules d'un système logiciel.....	115
Illustration 9: Croissance d'un génome via une sélection par constructions.....	120
Illustration 10: Carte génotype-phénotype issue d'une sélection par construction.....	120
Illustration 11: Exemple de plateforme au bout des 10 premiers tours d'une simulation.....	135
Illustration 12: Exemple de plateforme au tour 11.....	142
Illustration 13: Processus global d'évolution des plateformes à chaque tour.....	143
Illustration 14: Diagramme fonctionnel du processus de choix de la modalité d'un projet....	146
Illustration 15: Exemple de plateforme au tour 18.....	150
Illustration 16: Distribution des quartiles de compétitivité prix harmonisée dans l'industrie.	158
Illustration 17: Distribution des quartiles de performance harmonisée dans l'industrie.....	158
Illustration 18: Distribution des quartiles de parts de marché des plateformes.....	158
Illustration 19: Distribution des quartiles de perte d'intégrité des plateformes.....	159
Illustration 20: Arbre de régression de la perte d'intégrité.....	160
Illustration 21: Distribution des quartiles de ratio de réutilisation de technologies.....	160
Illustration 22: Arbre de régression du ratio de technologies réutilisant des technologies créées à l'origine pour la même plateforme.....	161
Illustration 23: Distribution des quartiles de ratio de technologies détenues par le sponsor. .	162
Illustration 24: Arbre de régression de la pléiotropie en fonction d'indicateurs de leadership technologique.....	163
Illustration 25: Distribution des rangs d'entrée des plateformes sur le marché.....	164
Illustration 26: Distribution des rangs de distances à la frontière, en fonction du rang d'entrée	164
Illustration 27: Progression entre le rang d'entrée et le rang de distance à la frontière, en fonction du rang d'entrée.....	164
Illustration 28: Arbre de régression du tour de fin de simulation.....	165
Illustration 29: Arbre de régression de la progression entre le rang d'entrée et le rang de sortie	165
Illustration 30: Arbre de régression du ratio des technologies réutilisant technologies externes rapportées à l'ensemble des technologies, pour les plateformes les plus propriétaires.....	167

Illustration 31: Arbre de régression de la part de technologies propriétaires (même échantillon).....	167
Illustration 32: Arbre de régression de la de la part de technologies détenues par le sponsor (même échantillon).....	167
Illustration 33: Arbre de régression du ratio des technologies réutilisant technologies externes rapportées à l'ensemble des technologies, pour les plateformes les plus libres	167
Illustration 34: Arbre de régression des parts de marché, pour les plateformes les plus propriétaires.....	169
Illustration 35: Arbre de régression du nombre moyen de services sur le marché, pour les marchés où existent les plateformes les plus propriétaires.....	169
Illustration 36: Arbre de régression des parts de marché, pour les plateformes les plus libres	170
Illustration 37: Arbre de régression de l'évolution stratégique, pour les plateformes ayant une évolution négative.....	171
Illustration 38: Arbre de régression de l'évolution stratégique, pour les plateformes ayant une évolution positive.....	171
Illustration 39: Différence entre <i>OCPref</i> et le ratio observé de technologies propriétaires....	172

Table des matières

Introduction générale.....	4
– Chapitre 1 – Une approche historique de la dynamique industrielle.....	18
Introduction du Chapitre 1.....	22
1. Une grille de lecture historique de l'émergence des services mobiles.....	25
1.1. Avant les services mobiles : le développement de la téléphonie mobile.....	25
1.1.1. La construction d'un réseau de téléphonie mobile.....	26
1.1.2. Les bases d'une démocratisation de la téléphonie mobile.....	27
1.2. Une grille d'analyse de la dynamique industrielle des services mobiles.....	30
1.2.1. Le changement technologique : une lecture historique par les trajectoires....	31
1.2.2. La structure industrielle : gouvernance, spécialisation et connaissance.....	33
1.2.3. Les enjeux concurrentiels : partage de la valeur et attractivité.....	35
2. Une périodisation de la trajectoire des services mobiles.....	38
2.1. La genèse des services sur téléphone mobile : les services de personnalisation des terminaux.....	39
2.1.1. Le changement technologique : quand le téléphone mobile s'éveille au Monde numérique.....	40
2.1.2. La structure industrielle : une poignée de précurseurs.....	42
2.1.3. Les enjeux concurrentiels : le bricolage d'un marché.....	44
2.2. La généralisation des services sur téléphone mobile : les services en mobilité....	45
2.2.1. Le changement technologique : le Téléphone devient un Terminal.....	45
2.2.2. La structure industrielle : les prémices d'un ménage à trois.....	48
2.2.3. Les enjeux concurrentiels : l'abolition des frontières nationales et techniques	50
2.3. Connecting people ? : les services de mobilité.....	54
2.3.1. Le changement technologique : le terminal comme central.....	54
2.3.2. La structure industrielle : la remise en cause des spécialisations.....	55
2.3.3. Les enjeux concurrentiels : la remise en cause des modèles d'affaires.....	57
Conclusion du Chapitre 1.....	60
– Chapitre 2 – L'émergence de plateformes logicielles pour les services mobiles.....	62
Introduction du Chapitre 2.....	64
1. Des services mobiles aux plateformes mobiles.....	66
1.1. Une approche systémique par les plateformes.....	66
1.2. Les tenants de la construction collective des plateformes mobiles.....	70
1.2.1. La question de la compatibilité.....	71

1.2.2. La structuration des relations industrielles.....	73
1.2.3. Vers une stratégie d'open innovation ?.....	76
2. The strategic trade-offs for beneficial open innovation: the case of “open source” consortia in mobile OS development.....	80
2.1. A conceptual framework.....	82
2.1.1. The mobile OS market competition.....	82
2.1.2. How to pin down open innovation?.....	84
2.1.3. The standards settings as a proxy of organizational coherence.....	86
2.2. The consortia: open innovation in progress?.....	89
2.2.1. The consortia: from philosophy to practice.....	89
2.2.2. An undecided involvement on vertical cooperation within platforms.....	91
2.3. Discussion: towards horizontal cooperation between platforms?.....	94
2.4. Summary, limitations and future research.....	97
Conclusion du Chapitre 2.....	99
– Chapitre 3 – L'architecture technologique et organisationnelle des systèmes d'exploitation pour smartphones : un modèle de simulation.....	101
Introduction du chapitre 3.....	104
1. Les fondements théoriques et empiriques du modèle de simulation.....	107
1.1. La représentation des systèmes d'exploitation pour smartphones comme systèmes technologiques complexes.....	109
1.1.1. Modéliser les interdépendances technologiques : le modèle NK.....	109
1.1.2. Le retour aux projets de systèmes d'exploitation mobiles : décomposition hiérarchique et interfaces.....	112
1.1.2.1. Des interdépendances technologiques aux interdépendances entre technologies et fonctionnalités de la plateforme.....	113
1.1.2.2. La hiérarchie dans les projets logiciels : la logique de couches technologiques.....	116
1.1.2.3. La réutilisation de modules logiciels : le rôle des interfaces.....	118
1.2. L'évolution des systèmes d'exploitation : projets et organisations.....	121
1.2.1. La structure de l'évolution : projets et workpackages.....	122
1.2.2. Une évolution contrôlée.....	124
1.2.2.1. Le rôle des sponsors et l'intégration système.....	125
1.2.2.2. L'arbitrage entre technologie libre ou propriétaire.....	128
1.3. La question de la valeur des solutions.....	130
2. Un modèle de simulation de l'évolution architecturale des systèmes d'exploitation mobiles.....	134
2.1. Le modèle.....	134
2.1.1. Les éléments de représentation.....	135

2.1.2. Les éléments d'évolution.....	138
2.1.2.1. L'entrée de nouveaux acteurs.....	138
La promotion volontaire des plateformes par les sponsors.....	138
La promotion involontaire des plateformes, basée sur la réussite des entrants précédents et l'entrée des partenaires.....	140
La spécificité du processus de décision d'entrer des hobbyistes.....	140
2.1.2.2. La création de projets.....	141
La création de projets par les sponsors.....	141
La création de projets par les firmes partenaires.....	142
La sélection de projets par les hobbyistes open source.....	143
Projets actifs et projets abandonnés.....	144
2.1.2.3. La R&D : une question de temps.....	145
La modalité du projet : création ou réutilisation de technologie.....	146
La temporalité du projet : implication et expérience.....	149
2.1.2.4. La finalisation des projets.....	150
2.1.3. Les éléments de mesure.....	153
2.1.3.1. La commercialisation des plateformes : performance, prix et part de marché.....	153
2.1.3.2. Les mesures sur la structure organisationnelle et technologique des plateformes et de l'industrie.....	155
2.2. Les résultats des simulations.....	157
2.2.1. Fonctionnement global du modèle.....	158
2.2.2. Leadership technologique et architecture de la plateforme.....	161
2.2.3. L'interaction des stratégies individuelles avec les stratégies agrégées.....	168
Conclusion du Chapitre 3.....	176
Conclusion générale.....	178