

Document de travail

Colloque international « Logiques sociales de l'Innovation » Bordeaux, 15-17 novembre 2006.

Les activités de systèmes embarqués à Toulouse : une organisation en « système local de compétences » ?

Jean-Marc ZULIANI (LIIST – CNRS UMR 51 93)

Les changements de paradigmes technologiques dans une industrie à haute intensité de recherche et développement comme l'aéronautique offrent l'illustration de temporalités stratégiques produites par les firmes dans la gestion de l'innovation technologique. Tel est le cas avec l'adoption, par la firme Aérospatiale dans les années 80, des technologies numériques, c'est-à-dire des systèmes de calculateurs de bord alliant électronique et informatique (technologies digitales), qui gèrent les dispositifs l'assistance au pilotage des appareils. La question se pose de savoir comment l'avionneur Aérospatiale, membre à l'époque dans une fédération de constructeurs nationaux, le GIE Airbus, a développé une stratégie forte de maîtrise technologique afin d'internaliser une activité informatique, dédiée à la réalisation des systèmes embarqués, en l'occurrence des logiciels et calculateurs de bord. On entend par « systèmes embarqués », des ensembles « interfacés » constitués de composants électroniques et de logiciels. Ces systèmes se sont développés rapidement au fil des années et sous des formes diverses en étant présents aussi bien dans les avions que dans les automobiles, les fusées et les satellites et même les téléphones mobiles. Concernant l'aéronautique, les systèmes embarqués exécutent des tâches prédéfinies en ayant des contraintes fortes qui concernent la sécurité et la sûreté de fonctionnement notamment pour les commandes de vol. Leur fonctionnement est qualifié de « critique » dans la mesure où ils ne doivent jamais faillir.

Systèmes embarqués et transversalités de compétences entre secteurs industriels

La trajectoire de développement suivie Aérospatiale dans le champ des systèmes embarqués se produit alors que presque de façon contingente, d'autres firmes de Midi-Pyrénées se sont engagées dans des activités proches de R&D. À Toulouse d'abord, autour de l'électronique automobile (Siemens), de la construction spatiale (Matra Marconi, Alcatel Space), puis à Tarbes où se produit la reconversion, au milieu des années 90, des fonctions d'Alstom vers les activités appliquées à l'électronique et les logiciels embarqués pour la traction ferroviaire. Le segment des systèmes embarqués, et notamment la partie relative aux logiciels, sera l'objet d'une mutualisation de ressources, complétées par la circulation de savoirs entre les entreprises de différents secteurs. De là, naît une architecture spécifique des relations interentreprises qui s'affranchit des logiques sectorielles pour correspondre à une transversalité de compétences entre des domaines d'activités a priori différents mais qui ont la particularité de produire des logiciels et des calculateurs destinés à être embarqués dans des avions, des satellites et engins spatiaux, des automobiles voire des motrices de TGV.

Le développement de la technopole toulousaine et sa logique économique-politique ont été beaucoup étudiés ces deux dernières décennies. Des auteurs comme Dupuy et Gilly (1999), Grossetti (2001), Jalabert (1995), Kechidi et Panadero (1994), Longhi (2005), Zuliani (1998), Zuliani et al. (2003, 2005), entre autres ont largement décrit l'organisation et les mécanismes externes et internes de la croissance de l'appareil central productif axé sur le complexe industriel de l'aéronautique, du secteur spatial et dans une moindre mesure de l'électronique automobile. Il existe beaucoup moins de recherches sur les dynamiques plus spécialisées qui environnent le complexe aérospatial en général, et surtout sur l'industrie de l'informatique et ses impacts sur le développement des technologies électroniques et logicielles embarquées parmi d'autres branches industrielles locales. À part un petit nombre d'études préliminaires ou très spécialisées produites par Gilly et al. (1992), Grossetti (1990) et Zuliani (1998), nous disposons de très peu de connaissances en ce qui concerne le statut et le rôle de cette industrie stratégique dans la technopole toulousaine. D'autant que l'industrie de l'informatique avec ses applications industrielles pose les principes d'une transversalité des compétences entre les branches, et donc entre les donneurs d'ordres de l'aéronautique, du secteur spatial et de l'électronique qui développent à Toulouse des équipements embarqués.

Au-delà du cluster, le postulat d'une organisation en « système local de compétences » ?

Les notions de « districts industriels » (Beccatini, 1992) ou de « cluster » (Jacobs et De Jong, 1992, Porter, 2000) ont été souvent mobilisées pour désigner des ensembles d'entreprises spécialisées dans un même produit ou une même filière, qui se concentrent dans un espace régional ou urbain et entretiennent des liens de coopération et de concurrence. De tels modes d'organisation productive se structurent sur la base de marchés du travail spécifiques, de relations transactionnelles inter firmes de nature marchande ou non marchande et d'interventions promues par des institutions publiques, des instances associatives et professionnelles (Scott, 2006). Dans le cadre des organisations productives connues sous la forme de « cluster » ou de « systèmes productifs locaux », prévaut l'idée que les transactions inter firmes convergent vers la réalisation d'un type ou d'une famille de produits. Au-delà de cette surdétermination par le produit final apparaît de moins en moins pertinente. Dès lors, on peut supposer que se produisent des interactions marquées par des circulations de savoirs entre firmes industrielles, de différents secteurs. L'idée d'une proximité d'échanges entre branches industrielles, aboutissant au développement de technologies dans les activités de systèmes embarqués, jette les bases d'une interprétation théorique nouvelle en matière d'organisation territoriale et industrielle. Les caractéristiques d'une organisation en système productif local certes demeurent, à ceci près que la concentration d'activités ne se définirait plus sur la base d'une logique de produit mais plutôt sur celle d'un type de compétences. Le plus souvent, les réflexions centrées sur les organisations productives de type SPL ont comme objectif de montrer comment autour d'un produit s'organisent les rapports entre différentes activités qui contribuent à sa réalisation avec leurs imbrications et interférences. En général, les auteurs insistent sur la pérennité dans le temps des localisations métropolitaines le plus souvent, renvoyant à des travaux théoriques sur les « lieux-aimants » (Markusen, 2000 ; Scott, 2001). Le postulat « d'un système local de compétences » des systèmes embarqués suppose des liens irréductibles à une logique de secteurs de marché : l'enjeu réside dans la construction et la circulation de savoirs entre des firmes

aux branches d'activités distinctes afin qu'elles en perçoivent chacune en retour des avantages dans le cadre de leur propre marché.

I – D'Aérospatiale à Airbus : la construction d'une compétence dans les systèmes embarqués

La construction locale d'un système productif axé sur les technologies de systèmes embarqués amène à caractériser la stratégie d'un acteur central, l'établissement toulousain d'Aérospatiale, devenu par la suite le centre de compétences d'Airbus dans les technologies de commandes de vol. Si une stratégie forte de maîtrise technologique a prévalu, elle s'est accompagnée d'un ancrage au territoire métropolitain via la circulation de compétences que favorisent le marché du travail et le système local de formation en informatique.

1.1 Une stratégie de maîtrise technologique dans les systèmes embarqués par Aérospatiale

Dès le début des années 80, l'adoption des commandes de vol électriques dans le cadre de la réalisation des avions Airbus de la gamme A320 constitue un changement technologique d'importance dans la trajectoire de développement des activités de systèmes embarqués. L'initiative souvent considérée comme avant-gardiste en revient à un groupe de responsables techniques (Ex. Bernard Ziegler) décidés vers la fin des années 70 à lancer un « produit avion » répondant à la concurrence du Boeing 737 dans la gamme des appareils mono-couloirs et moyens courriers. L'enjeu pour Aérospatiale est d'intégrer des équipements spécifiques de cockpit qui s'appuie sur l'utilisation de technologies numériques avec l'emploi de calculateurs destinées à la gestion des commandes de vol. Ces innovations doivent progressivement se substituer à l'emploi des technologies, exclusivement analogiques, qui prévalent alors dans la construction aéronautique civile. Sur la base d'une capitalisation de connaissances acquises à partir d'expériences réalisées sur les premiers modèles d'Airbus (A300), Aérospatiale constitue un groupe opérationnel au début des années 80 (1983-1984), intégrant différentes disciplines (mécanique de vol, électronique, électrotechnique...). Les premières expérimentations développées portent sur l'introduction des systèmes de pilotes automatiques gérés par informatique. Certes, la perspective de réussite commerciale guide la démarche d'innovation mais au-delà, il faut considérer ce changement de paradigme technologique comme la résultante d'un investissement porté par un groupe d'ingénieurs avec une forte autonomie de décision et d'action. La prégnance de leur position illustre parfaitement le poids influent de la technique et l'innovation technologique sur les considérations commerciales dans le développement d'un programme innovateur comme l'est à l'époque l'Airbus A320.

L'enjeu est aussi pour Aérospatiale de construire en interne une compétence technologique forte. Il s'agit d'accéder pour l'avionneur au rang de constructeur de matériels informatiques avec ses technologies logicielles spécifiques afin que soit renforcée une vocation majeure dans l'ingénierie et la fabrication des calculateurs destinés aux commandes de vol. Jusque là (programme Concorde et lancement des premiers Airbus), Aérospatiale dépendait de fournisseurs extérieurs pour les calculateurs de bord à technologie analogique. Ce réseau stable de sous-traitants s'établissait à l'échelle nationale car pratiquement aucune firme d'électronique et d'informatique n'était implantée à Toulouse. En outre, il était constitutif « d'une stratégie industrielle d'arsenal » avec des firmes fournisseuses d'avionique (SFENA, Thomson) contrôlées étroitement par les pouvoirs publics. Dans une situation quelque peu conflictuelle avec ces fournisseurs, Aérospatiale s'entoure des

compétences nécessaires pour maîtriser le développement des technologies numériques. Or, les exigences techniques sont ici très élevées. Les technologies logicielles appliquées au transport aéronautique intègrent des impératifs de forte criticité, ne serait-ce qu'en raison des garanties de sécurité requises. L'établissement toulousain d'Aérospatiale où s'étaient constituées dans le cadre du programme Concorde quelques savoir-faire en avionique, se lance dans une politique active de R&D dans les technologies logicielles d'avionique. Pour cela, il autonomise sa démarche en créant dès 1983 un atelier logiciel. L'objectif est le développement des logiciels appliqués aux commandes de vol en travaillant en complémentarité à la réalisation des équipements de hardware (calculateurs). Mais cette démarche n'est pas indépendante de la gestion par le projet du programme aéronautique : l'adoption des technologies numériques dans les systèmes embarqués forme la pierre angulaire du programme A320 en apportant une valeur ajoutée décisive sur le plan commercial. D'où la constitution chez Aérospatiale d'un groupe opérationnel spécialisé dans le développement des technologies de commande automatique de vol, dont l'intervention soit en adéquation avec la logique industrielle du projet aéronautique, représentée par le programme d'avion A320.

1.2 L'implication du système local de formation en informatique

La stratégie volontariste de maîtrise technologique intervient dans un double contexte. En interne, Aérospatiale avait concentré depuis les programmes Concorde des compétences de R&D dans les systèmes avioniques par la création dans les années 60 d'un laboratoire « essais en vol et intégration systèmes » de 200 personnes. Cette structure de recherche, dénommée également « Labo 35 », travaillait à la mise au point de technologies électroniques tout en intégrant des expérimentations de logiciels. Elle émergera par la suite comme « une entreprise dans l'entreprise », ayant pour mission de développer des marges commerciales à partir de la vente de testeurs de systèmes embarqués aux compagnies aériennes. Au plan externe, l'enjeu était de s'affranchir des fournisseurs d'avionique, SFENA et Thomson, à qui le bureau d'études d'Aérospatiale confiait jusqu'au début des années 80, la réalisation d'équipements moyennant des spécifications techniques. Le développement et la fabrication en interne par Aérospatiale des technologies numériques les plus critiques comme les commandes de vol confère dès lors à ces équipementiers, spécialistes d'avionique, un rôle moins stratégique. Au-delà, la constitution d'un atelier logiciel procède de la volonté d'un milieu naissant d'informaticiens qui militent pour la création d'une structure autonome de R&D sur les technologies logicielles de systèmes embarqués. D'autre part, si les fournisseurs équipementiers étaient jugés alors bons électroniciens, ils pâtissaient aux dires des responsables de l'époque chez Aérospatiale de lacunes dans la réalisation de technologies logicielles.

Certes, l'internalisation du développement des technologies électroniques et logicielles les plus cruciales s'accompagne de la cession aux équipementiers de calculateurs et d'équipements plus connexes. Mais pour Aérospatiale, la stratégie à l'œuvre consiste bien à se doter de capacités nouvelles afin de se substituer aux fournisseurs d'avionique les plus importants, pour la réalisation des systèmes de commandes de vol (calculateurs centraux). Ce choix stratégique illustré par le programme A320 se répercute par une montée en puissance considérable des emplois d'ingénieurs à laquelle contribuent les processus de mobilités internes par l'accession des techniciens à des postes d'ingénieurs. Le développement prééminent des activités de conception dans les systèmes de bord est alors vérifié par l'importance de plus en plus significative du bureau d'études dont les effectifs

dépassent 2 000 personnes au début de la décennie 90. Dans ce contexte, les activités de l'atelier logiciel consacrées aux systèmes embarqués connaissent une croissance soutenue à mesure que se succèdent les programmes A 320 puis A330 et A340 avec une augmentation correspondante de la puissance des calculateurs liés aux commandes de vol. La réponse aux besoins de conception dans une informatique axée prioritairement sur les calculs et les processus temps réel intervient sous la forme du recrutement intense de diplômés formés pour la plupart dans les écoles toulousaines d'ingénieurs (Sup'Aéro, ENSEEIHT) ou à l'INSAT. Comme pour le secteur spatial quelques années plutôt, le système toulousain de formation supérieure en informatique pourvoit aux demandes dans le champ de l'informatique embarquée pour l'aéronautique où prévalent des exigences en matière de qualité et de sûreté des systèmes. Dès les années 80 plusieurs ingénieurs diplômés de l'INSAT et de l'Université, dont certains avaient fait des thèses au LAAS dans le domaine de l'informatique temps réel, investissent chez Aérospatiale les activités de R&D sur les logiciels embarqués. Le système local de formation supérieure des compétences en informatique, en place depuis les années 60, favorise d'autant l'évolution des activités suivies par Aérospatiale vers la conception des technologies numériques pour les commandes de vol. Mais au-delà, l'intégration par Aérospatiale de diplômés informaticiens sortis du système universitaire local conduit à s'interroger sur leur capacité décisive d'influence quant à l'adoption des choix technologiques que se donne Aérospatiale pour la maîtrise des activités de systèmes embarqués. En opérant un virage technologique vers le développement des commandes automatiques de vol au milieu des années 80, le secteur aéronautique se rapproche du système qui s'était développé dans l'informatique liée à l'industrie spatiale, pour former la base principale du développement des activités informatiques de pointe.

1.3 Polarisation des compétences et stratégies d'ancrage au territoire technopolitain

En parallèle à l'autonomisation de la R&D en informatique, se dessine chez Aérospatiale une concentration des compétences conceptrices dans les systèmes embarqués : en 1995 se produit la fusion entre l'atelier logiciel et « le labo. 35 » non sans générer quelques conflits inhérents à une culture de métiers distincte. Alors que l'atelier logiciel entretient une logique de recherche, le « labo 35 » garde une orientation axée sur le développement de marges commerciales en rapport avec sa spécialisation dans la réalisation et la vente d'équipements électroniques. Cette réorganisation favorise une nouvelle économie d'échelles pour réalisation des produits d'avionique et se traduit par la création d'un département dédiée à la mise au point des systèmes hardware et software pour les commandes de vol (« Département EYY »). Sa fonction s'avère cruciale à l'égard d'une « mémoire d'entreprise », via laquelle seraient conservés en interne tous les moyens inhérents à la conception de systèmes comme les méthodes de spécification et de contrôle qualité des logiciels avec leurs codes sources. Surtout, la nouvelle entité fusionnée fonctionne quasiment sur le mode d'une SSII interne à la firme Airbus (200 personnes) avec une large capacité d'intervention dans les développements de projets. Se pose pourtant le problème d'une division technique du travail avec les fournisseurs de calculateurs et les sociétés de services spécialisées dans les applications temps réel (« informatique scientifique et technique »). Le débat est d'ailleurs récurrent entre les tenants d'une ouverture élargie à des expertises externes et les partisans d'une internalisation toujours plus forte des compétences.

Une répartition hiérarchisée des fonctions confère à l'entité spécialisée dans les systèmes embarqués une vocation à contrôler la spécification détaillée de tous les calculateurs employés dans les appareils, comme ne manque pas de le rappeler un des responsables interrogés : *« il y a une obligation du bureau d'études d'Airbus à être responsable de la spécification détaillée de tous les calculateurs et logiciels embarqués employés dans les avions. On achète déjà beaucoup de calculateurs à l'extérieur. En conséquence, il faut être expert en la matière pour mieux choisir ceux à qui on fait faire ! »*. Le département d'étude et d'expertise sur les systèmes embarqués répartit ses interventions entre une expertise interne à Airbus pour l'élaboration de ses systèmes et calculateurs de bord les plus critiques, et une supervision des calculateurs fournis par divers systémiers (Thalès, Liebherr, Messier Downty...). Dans cette répartition des tâches, la production des logiciels pour les calculateurs de bord requiert la mobilisation d'un pool spécialisé de sociétés de services avec lesquelles Aérospatiale signe des contrats à long terme. Or, ces entreprises ont au préalable souvent travaillé pour le secteur spatial sur des aspects de logiciels embarqués. Il leur est donc aisé de transférer des compétences pour des problématiques technologiques proches qui touchent à l'aéronautique. La mise à disposition des personnels auprès d'Aérospatiale peut être l'occasion pour l'avionneur de procéder à des embauches, ce qui conforte ensuite son pôle d'expertise dans les technologies embarquées. Cette capacité à puiser dans le vivier local des ingénieurs jeunes diplômés ou confirmés révèle le rôle de plus en plus prépondérant du marché du travail des ingénieurs dans la circulation des savoirs propice au renforcement d'un milieu de compétences dans l'informatique scientifique et technique, celle à laquelle on recourt dans la construction des technologies logicielles de systèmes embarqués.

Par ailleurs, la livraison de sous-ensembles complets d'avionique (systèmes d'alarme ou systèmes d'application cabine) mobilise les systémiers qui partagent les risques financiers avec Aérospatiale en finançant R&D et les coûts d'industrialisation. Ils sont devenus progressivement des apporteurs d'affaires incontournables pour les activités de systèmes embarqués. C'est précisément à ce niveau que prévalent les liens dits « d'horizontalité » conformes aux principes de désintégration verticale qui caractérisent souvent les districts technologiques (Scott, 2001). La plupart des fournisseurs travaillent sur la base d'échanges constants avec les représentants de l'avionneur, pour définir en amont les caractéristiques des systèmes, ce qui requiert la création d'équipes intégrées travaillant alternativement dans les locaux de l'une des deux firmes contractantes. Cependant, à mesure que les technologies se complexifient, les partages industriels le deviennent tout autant : pour la réalisation des calculateurs de commandes de vol de l'Airbus A380 par exemple, Airbus développe une stratégie de travail en commun notamment avec Thalès qui a installé pour l'occasion de nombreuses équipes non loin du site toulousain de l'avionneur.

1.4 Face à la complexification des technologies, l'amorce d'un processus d'ouverture.

Dans l'organisation productive des activités de systèmes embarqués, plusieurs tendances à bien des égards contradictoires semblent à l'œuvre. D'une part, la complexification des technologies fait naître chez Airbus une revendication légitime à contrôler la spécification et la qualité des systèmes logiciels. Et les transformations marquées par l'émergence d'une entité unique de recherche sur les technologies de commandes de vol visent à renforcer cette vocation. Mais en complément, Airbus exerce un contrôle sur la fabrication de ses calculateurs : l'avionneur possède une unité d'ingénierie et de production de cartes électroniques en concédant la fabrication en série

de circuits imprimés à plusieurs fabricants, disséminés en France et en Italie. S'il y a affirmation d'une concentration de compétences, on assiste aussi à une décomposition des activités qu'illustre la collaboration avec des SSII et des fournisseurs d'avionique (Thalès, Honeywell, Rockwell Colins...). Cet éclatement des activités requiert des missions de vérification, souvent lourdes à conduire lorsqu'il s'agit de travailler à la spécification des logiciels développés par les sous-traitants. Pour leur part, ces fournisseurs restent d'abord installés à Toulouse. Ils mettent à profit la proximité pour le travail en plateau lorsque les ingénieurs des différentes sociétés travaillent ensemble lors des périodes de définition des appareils. En complément, les ingénieurs inscrits dans les métiers et les activités de l'informatique embarquée sortent souvent des mêmes écoles ou des mêmes instituts de formation, ce qui développe des habitudes de penser communes, des modes communicants avec en retour un renforcement de la proximité institutionnelles des acteurs (Dupuis & Gilly, 2004).

À l'égard des technologies de systèmes embarqués, la stratégie d'Airbus reproduit celle qui est la sienne au plan industriel : tout à la fois architecte d'un mecano industriel avec l'intégration de composants externes, et spécialiste de la production de technologies considérées comme critiques (les calculateurs liés aux commandes de vol). C'est précisément dans une optique de renforcement de compétences que s'élabore au cours des années 90 une démarche coopérative avec l'appareil scientifique local en informatique et automatique. Ces relations de recherche sont d'autant mieux activées que plusieurs responsables du département R&D sur les systèmes embarqués d'Aérospatiale ont fait une thèse au LAAS (Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes) avec lequel ils conservent des relations via des professionnels d'interconnaissance, propices aux échanges. En conséquence, la firme Airbus qui a succédé entre temps à l'entité Aérospatiale après la formation de EADS (2000), collabore activement avec le LAAS sur des thématiques de recherche communes dans l'architecture des logiciels et la sûreté de fonctionnement, sans aller toutefois jusqu'à une formalisation de la recherche coopérative par le montage d'un laboratoire commun. Cependant, la relation qui s'établit avec le LAAS au moyen des réseaux d'interconnaissance professionnelle renforce les conditions d'une circulation des savoirs entre les branches industrielles : le LAAS a développé des liens forts avec l'industrie spatiale et l'électronique automobile (établissement Siemens à Toulouse) autour de la sûreté de fonctionnement, le génie logiciel et l'informatique temps réel, autant de spécialités technologiques qui peuvent offrir un intérêt pour l'appui au développement des systèmes embarqués dans l'aéronautique. Les problématiques de recherche communes aux industriels du spatial, de l'aéronautique et de l'électronique contribuent via un laboratoire comme le LAAS à une circulation des savoirs entre des branches d'activités distinctes. Des transpositions technologiques sont dès lors possibles à partir d'une mutualisation de ressources entre les industriels régionaux qui travaillent dans leurs registres respectifs (aéronautique, spatial, automobile et ferroviaire) au développement des technologies électroniques et informatiques de systèmes embarqués.

II – Vers la formation d'« un système local des compétences » des systèmes embarqués dans l'agglomération toulousaine ?

En plus d'Airbus et de sa maîtrise technologique des commandes de vol, d'autres industriels toulousains du spatial et de l'électronique automobile affichent une compétence dans le champ des technologies de systèmes embarqués. Se pose alors l'enjeu d'une convergence technologique qui

soit favorisée par une sous-traitance partagée d'ingénierie voire par l'engagement dans des programmes communs de recherche. C'est à ce stade qu'entre en ligne de compte la question de des politiques et des actions institutionnelles afin de renforcer l'inscription régionale (et métropolitaine) des activités de systèmes embarqués.

2.1 Les systèmes embarqués : des technologies présentes parmi d'autres branches industrielles à Toulouse.

Dans l'agglomération toulousaine, en dehors de l'aéronautique, le secteur spatial et l'électronique ont expérimenté et développé des technologies électronique et informatique de systèmes embarqués. L'implication du secteur spatial apparaît d'ailleurs pionnière. On soulignera d'abord le rôle précurseur exercé par le CNES à la suite de sa décentralisation à Toulouse au début des années 70. Le CNES n'est pas seulement un centre de recherche, c'est aussi une agence industrielle, en charge du développement de l'industrie spatiale. Le CNES entraînera avec lui la venue de sous-traitants informatiques, puis par la suite les firmes du secteur spatial (Matra, Alcatel). Une spécialisation par métiers s'esquisse : Matra Marconi Space investit plutôt le créneau de la réalisation de satellites d'observation alors qu'Alcatel Space déploie ses compétences dans la réalisation de satellites de communication. L'industrie des satellites qui se développe à Toulouse au début des années 80 est fondée sur une utilisation massive de l'informatique scientifique, dédiée notamment à des calculs « temps réels », ce qui crée un pont avec les compétences accumulées au sein du système scientifique local et offre des opportunités pour la création de sociétés issues de la recherche en informatique et en automatique, notamment dans le génie logiciel, puis le traitement d'images. Se constitue ainsi autour de la construction de satellites, au cours des années 80, un système productif local, qui associe les donneurs d'ordres maîtrisant les produits finaux (Matra, Alcatel, CNES), des sociétés de services informatiques de haute technologie et des « start-ups » de l'informatique issues de la recherche et des laboratoires. Afin de disposer de technologies informatiques de guidage de satellites, la firme Matra Marconi Space s'ouvre sur son environnement local. D'abord en favorisant la création voire la décentralisation de sociétés de services informatiques, puis en multipliant les coopérations avec le CNES et des laboratoires publics de recherche (LAAS, IRIT). On assiste à un processus critique du développement des activités informatiques liées au secteur spatial, à partir des relations avec l'appareil scientifique de recherche et des sociétés de services informatiques qui assurent le développement des logiciels embarqués ainsi que des systèmes destinés à équiper les stations de guidage au sol des engins spatiaux. Ce système productif n'a que peu de liens avec l'industrie aéronautique, où l'informatique est encore peu présente au début des années quatre-vingt, au moment des premiers programmes Airbus.

De son côté, le secteur de l'électronique embarquée s'applique au domaine de l'automobile. Il concerne principalement la firme Siemens VDO, qui rachète en 1988 à Renault et à son partenaire américain Bendix Electronics un établissement fondé une dizaine d'années plus tôt à Toulouse et dénommé « Rénix ». Ses activités étaient à l'origine axées sur la fabrication des systèmes électroniques de grande série de type démarreurs, systèmes d'alerte, boîtes à injection non sans avoir initié quelques travaux de recherche (systèmes électroniques de commande moteur). Suite au rachat de l'établissement, Siemens se donne les moyens d'investir dans les équipements électroniques pour l'automobile avec l'objectif d'adoindre à son centre toulousain une activité

soutenue de R&D dans les systèmes de capteurs et la sûreté de fonctionnement. Pour ce faire, la firme se lance dans une politique de coopération avec le LAAS en constituant un laboratoire commun qui s'ajoute à des relations plus ponctuelles de recherche, sous la forme de contrats, avec ce laboratoire. Les relations privilégiées entre le LAAS et Siemens procèdent en grande partie du rôle interface exercé par des personnes ressources qui ont fait carrière à la fois au LAAS et chez Renault qui est à l'origine de la création de l'établissement toulousain. Entre le LAAS et l'établissement de Siemens, de véritables « réseaux sociaux » se sont tissés, qui transitent par de nombreux canaux associatifs où le soutien à la recherche et aux transferts de technologie tiennent une place importante. Ajoutons que la trajectoire professionnelle du patron actuel de Siemens VDO s'inscrit elle-même dans une dynamique intersectorielle des activités de systèmes embarqués puisqu'il a été formé à l'ENSAE à Toulouse avant de démarrer sa carrière chez Thomson dans l'avionique, puis de rentrer à Renix où il a été patron de la R&D. Toujours dans le registre de l'électronique, une activité de semi-conducteurs est représentée par Freescale (ex-Motorola) qui possède à Toulouse son centre d'excellence (2 500 personnes) dans la fabrication de semi-conducteurs de haute puissance qui conviennent à des applications de systèmes embarqués liées à la téléphonie cellulaire (accès à l'Internet de la téléphonie cellulaire...). Là aussi, une relation forte s'est établie avec le LAAS par l'inauguration d'un puissant laboratoire commun (LCIP) au milieu des années 90, qui a centré ses recherches sur l'électronique de puissance. Il faut souligner que du côté de Freescale, les interlocuteurs ingénieurs sont souvent des anciens docteurs ingénieurs du LAAS, ce qui fait que les connaissances tacites représentent des facteurs prépondérants de cette collaboration. Les réseaux professionnels structurés via les activités de recherche jouent un rôle important dans la construction de la relation entre le LAAS et Freescale, dont l'établissement de conception et développement de semi-conducteurs, est devenu aujourd'hui une entité filiale, séparée de Motorola.

2.2 Des convergences techniques favorisées par la mutualisation des ressources entre les acteurs.

Dans la deuxième partie des années 90, une amorce de régulation des relations entre recherche et industrie voit le jour par la création d'institutions, dont le but est d'inscrire dans la durée les collaborations scientifiques. Se posent en effet des problèmes de coordination entre les partenaires quant à la définition commune des travaux à réaliser et à l'utilisation de nouveaux financements. Les technologies de systèmes embarqués vont être l'objet d'une démarche précoce de mutualisation des ressources à l'échelle métropolitaine et même régionale. Cette démarche implique les principales firmes des secteurs aérospatial et électronique, auxquels il faut joindre la branche ferroviaire, représentée par l'établissement Alstom de Tarbes qui à partir de la fin des années 90 reconvertit ses activités dans les productions dans le segment de l'électronique de puissance. Mais c'est principalement l'établissement Siemens VDO, désireux de grader une compétence de R&D à Toulouse dans le cadre de la répartition internationale des activités électroniques de Siemens, qui initie la création d'une structure de gestion de la recherche partagée : l'IERSET (Institut Européen de Recherche sur les Systèmes Électroniques pour les Transports). Sa création en 1996 concrétise la densité des relations déjà à l'œuvre entre les instituts scientifiques locaux (LAAS, LEEI...) et les industriels en matière de recherche sur les technologies de systèmes embarqués. À cela, s'ajoutent les effets de proximité dus à l'existence de réseaux personnels locaux entre des instituts comme le LAAS ou le CERT et les firmes de l'électronique et de l'aéronautique.

La philosophie de l'IERSET s'inscrit dans la recherche de synergie entre divers secteurs applicatifs (aéronautique, automobile, spatial et ferroviaire...) et le registre de la recherche appliquée. Son fonctionnement émane des expériences de collaboration entre des laboratoires et des industriels autour des problématiques de l'informatique et de l'électronique embarquée, et traduit la volonté des acteurs de mettre en place une nouvelle forme de collaboration. Cette démarche relayée par les collectivités locales et les acteurs consulaires (Chambre de commerce) fait intervenir aux côtés des entreprises comme l'Aérospatiale et Siemens, des firmes de la région Midi-Pyrénées pour la plupart intéressées par la même thématique, c'est-à-dire l'électronique et l'informatique pour les systèmes de transport touchant des segments de marché différents. Aussi, l'IERSET construit son action en identifiant des besoins exprimés par des industriels, puis en travaillant à la mise en relation des industriels et/ou des industriels sur des projets ciblés, spécifiques, qui seront structurés et pilotés selon des objectifs précis. Cette institution privée, au statut associatif mais à caractère multisectoriel poursuit l'objectif de couvrir des programmes de recherche appliqués en électronique et en informatique, et à ce titre transférables au transport par air, rail et route. Structure interface, elle représente un lobby scientifique et industriel régional et métropolitain mû dès les années 90 par la recherche de convergence dans les dynamiques technologiques des secteurs aéronautiques, spatial, ferroviaire et automobile. Cette démarche d'animation traduit d'une certaine façon la maturité des industrielles de systèmes embarqués qui se donnent les moyens sur le plan institutionnel de s'organiser par la coordination de liens avec les pouvoirs publics et l'appareil scientifique. En dehors de l'IERSET, la recherche et développement sur les systèmes embarqués mobilise une grande diversité de dispositifs et implique d'autres institutions publiques ou privées de soutien à la recherche (CNRT-AE, GIPI...). L'émergence de ces structures formelles pose la question de l'existence d'un milieu social et professionnel, dont la mobilisation participe d'un rôle structurant dans le rapprochement entre la recherche et les industriels des systèmes embarqués. Mais la compréhension des logiques de proximité dues aux structures de réseaux sociaux, ne peuvent être explicables sans l'évocation des logiques macroscopiques qui prévalent au plan métropolitain : le marché du travail, les origines communes de formation et la maillage par la sous-traitance de services informatiques.

2.3 La cohésion du système productif à partir de la sous-traitance de services informatiques

Les firmes industrielles spécialisées dans les activités de systèmes embarqués évoluent dans un environnement de relations avec des laboratoires-clés, spécialistes des systèmes ou de l'informatique temps réel (LAAS, IRIT, LESIA), mais également des prestataires de haut niveau dans l'expertise informatique. Les liens ont été repérés par entretiens avec différents représentants des entreprises. Ils illustrent ici un système de compétences qui renvoie en grande partie à celui des « sciences de l'ingénieur » dans le registre des technologies de l'information et des communications avec cependant une spécialisation marquée dans le développement des logiciels pour des applications scientifiques et techniques. Ce système est le seul où une activité de services informatiques vient renforcer les liens entre firmes et laboratoires. Et dans le cas de l'aéronautique, ces prestations informatiques externes résultent d'une croissance des activités de conception qui ont fini par « déborder » les bureaux d'études internes, par exemple de l'avionneur Airbus ou de ses proches systémiers. Les sociétés de services concernées s'avèrent les plus importantes et les plus technologiquement avancées de la région métropolitaine de Toulouse. Elles produisent une grande diversité de logiciels destinés à être embarqués dans des avions, des satellites, des voitures ou à

assurer la gestion ou le guidage des systèmes au sol. Or, ces marchés exigent une proximité physique de relations et d'échanges très étroite avec les donneurs d'ordres. En outre, l'intervention des sociétés de services informatiques illustre une flexibilité opérationnelle par la désintégration verticale où les grandes firmes industrielles (Airbus, Siemens, Astrium...) sous-traitent des tâches spécialisées, c'est-à-dire le développement d'outils ou de logiciels parties intégrantes d'un système plus global, à des intervenants externes. Ce processus de désintégration verticale est complété par une sorte de quasi-intégration où les ingénieurs employés par les entreprises de services travaillent durant une certaine proportion de leur temps dans les locaux de leurs clients.

En recourant à une compétences en services informatiques, les manufacturiers des systèmes embarqués se connectent à un réseau local de fournisseurs dont la géographie des marchés en Midi-Pyrénées se compose des secteurs aéronautique, spatial, et dans une moindre mesure électronique, concentrés essentiellement dans la métropole toulousaine. La réalisation des logiciels embarqués tient compte des contraintes techniques et des réalités économiques propres à des métiers et des champs d'activités distincts. Les logiciels destinés à équiper des avions de ligne ou des engins spatiaux comportent des certifications dotées d'un haut niveau d'exigence. Dans le secteur spatial par exemple interviennent des contraintes matérielles fortes car les microprocesseurs sont plus robustes mais limités en performance par rapport à l'aéronautique. De leurs côtés, les logiciels intégrés dans les voitures sont confrontés à des difficultés d'espaces d'installation, ce qui pose des problèmes en termes de mémoires disponibles. Interviennent, en outre, des contraintes de prix dans la mesure où la voiture est un produit d'usage courant, confronté à une logique de production en séries élevées que ne connaît pas la fabrication des satellites et des avions. Cela étant, en dépit de ces contraintes sectorielles, la réalisation des logiciels pour les systèmes embarqués relève de l'informatique industrielle et scientifique : on y produit des systèmes informatiques « temps réel », c'est-à-dire des systèmes qui contrôlent un procédé physique à une vitesse adaptée à l'évolution du procédé contrôlé. Dès lors, prévalent des compétences transversales qui sont irréductibles à un secteur particulier. Comme l'indiquent les responsables rencontrés dans les SSII, des « ponts techniques » existent entre les secteurs de l'aéronautique, du spatial et de l'électronique automobile quant à la conception des logiciels embarqués. Car, préexistent des technologies, des méthodes relativement proches sur le plan de l'écriture et du test des logiciels avec également des similarités en matière de certification. Les sociétés de services informatiques engagées dans les activités de systèmes embarqués ont enrichi leur expérience dans les systèmes informatiques temps réel en intervenant à l'origine pour la plupart auprès du secteur spatial. Une capitalisation des connaissances s'est ensuite constituée au gré de l'alternance ou de la simultanéité des interventions pour les secteurs aéronautique, spatial et électronique. Ces marchés sont devenus progressivement l'objet d'un monopole par des SSII nationales ou internationales dont l'implantation à Toulouse est survenue souvent à partir souvent du rachat de PME indépendantes, ce qui offrait l'avantage de récupérer à la fois creusets de compétences et réseaux de clientèles.

La désintégration verticale à l'œuvre parmi les activités de conception informatique conduit à se demander si l'enrichissement de la structure transactionnelle des réseaux « inter-firmes » amène ou non à une amplification des dynamiques d'apprentissage et d'innovation ? Nous pouvons spéculer qu'une circulation des savoirs depuis les sociétés de services vers les firmes du secteur aérospatial et électronique fonctionne à partir du marché du travail local. Ces processus transactionnels se développent via la mobilité des ingénieurs informaticiens amenés à travailler

successivement pour le compte des industriels de l'aéronautique, du spatial voire de l'électronique concernant la réalisation et l'intégration de systèmes informatiques temps réel. De la sorte, cette adaptation technique des compétences a permis d'amortir la crise essuyée par le secteur spatial au début des années 2000, principalement par la réaffectation des équipes d'ingénieurs de SSII vers les marchés aéronautiques et électroniques. Le renforcement des dynamiques d'apprentissage provient aussi de l'embauche régulière par les donneurs d'ordres d'ingénieurs confirmés en provenance des sociétés de services informatiques, et qui, à ce titre, ont souvent travaillé en détachement dans les locaux de leurs clients industriels. La dimension intersectorielle des relations prestataires n'est pas sans affecter l'organisation interne des sociétés de services. Comme nous l'ont montrés les entretiens réalisés avec plusieurs entreprises de services, l'organisation est plus à l'adoption d'une logique matricielle que proprement sectorielle. Les restructurations à l'œuvre tendent à un fonctionnement en pôles d'activités desservant l'ensemble des secteurs industriels, producteurs de technologies de systèmes embarqués. C'est restructuration active la mise en réseau des firmes industrielles de la technopole entre lesquelles circulent personnels et savoir-faire (Grossetti, Zuliani, 2005).

Les processus transactionnels décrits ci-dessus montrent que le trio marshallien de variables qui soutient le système productif des activités des systèmes embarqués à Toulouse (marchés locaux du travail, réseaux entre producteurs spécialisés, apprentissage et innovation) se trouvent bien en place. Il affecte tout particulièrement la partie cruciale d'un système technopolitain, constituée de l'imbrication du secteur aéronautique, spatial et électronique avec le champ des entreprises spécialisées d'informatique scientifique et technique.

2.3 La recomposition de l'action institutionnelle à partir du Pôle de Compétitivité « Aéronautique, Espace et... Systèmes embarqués »

Une quatrième variable doit être ajoutée à ce trio marshallien. Elle renvoie aux institutions et aux politiques récentes qui soutiennent le développement économique des technologies de systèmes embarqués. Dans la plupart des analyses sur les districts industriels, il ressort que l'essor des activités productives se fonde sur l'appui porté au secteur marchand par des institutions privées et l'administration publique, le plus souvent d'obédience locale ou régionale. Au niveau métropolitain, un maillage s'est peu à peu opéré entre l'ensemble des acteurs industriels, serviciels et scientifiques. Très certainement, des processus actifs d'encastrement social dans les relations contractuelles entre les firmes, ont aidé au renforcement d'ensemble du système productif. Aussi, à la faveur du renouvellement des politiques institutionnelles, une prise de conscience est apparue à l'égard des enjeux communs qui concerneraient les activités de systèmes embarqués en matière de recherche et développement notamment. Et, c'est presque logiquement qu'une articulation s'est établie avec la démarche « Pôles de Compétitivité », initiée par l'État en 2005 et relayée par la région, avec la participation des acteurs industriels. En effet, on pourrait assimiler le dispositif à la réactivation d'une politique nationale de développement industriel et technologique. Entre temps, depuis janvier 2006, la DATAR est devenue DIACT (Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires) avec pour objectif de renforcer l'attractivité économiques et d'y accompagner les mutations économiques. Une réorientation plus économique marque la vocation de cet organisme avec entre autres comme cible la compétitivité des territoires. L'enjeu est de disposer localement d'une masse critique d'acteurs et de processus, nécessaire pour

une visibilité internationale. Car la philosophie des pôles de compétitivité est d'inciter au rapprochement de trois partenaires : les entreprises, les appareils de recherche et de formation supérieure, les pouvoirs publics locaux et régionaux.

Un pôle de compétitivité orienté « Aéronautique, Espace et Systèmes Embarqués » (Pôle AESE) a été constitué à une échelle interrégionale, Aquitaine et Midi-Pyrénées, à l'automne 2006. Si les qualificatifs « Aéronautique et espace » recouvrent des réalités sectorielles tangibles, l'appellation « Systèmes embarqués » sous-tend une filière plus délicate à identifier, car, représentative des relations transversales entre secteurs d'activités. Tel qu'il est aujourd'hui constitué à partir d'une association regroupant une large palette d'entreprises et de collectivités locales d'Aquitaine et de Midi-Pyrénées (association « Aerospace Valley »), le dispositif ne procède pas seulement d'une simple opportunité certes bien exploitée localement. Il situe l'aboutissement d'un long processus où déjà existaient les éléments non seulement potentiels mais réels entre les différents partenaires industriels et scientifiques y compris ceux du registre de l'informatique. L'adjonction d'un volet « systèmes embarqués » illustre une masse critique d'activités, de relations interentreprises et aussi de réseaux sociaux qui prévalent entre des branches industrielles avec des compétences du même type, autour de l'électronique, de l'informatique et des systèmes. À ce stade, l'action déjà ancienne conduite par l'IERSET a préparé le terrain à une reconnaissance des activités de systèmes embarqués dans le dispositif du Pôle de compétitivité. Peu à peu, un lobby s'est d'ailleurs constitué à partir des responsables industriels de Siemens et d'Airbus qui ont eu l'occasion d'expérimenter des coopérations scientifiques dans le cadre de contrats de recherche européens gérés par l'IERSET. Les acteurs ont fini par trouver un label officiel « Systèmes embarqués » qui désigne une ligne de produits génériques, susceptibles d'être présents dans l'aéronautique, le secteur spatial ou l'électronique automobile. Avec le pôle de compétitivité, dans lequel s'est d'ailleurs fondue l'IERSET, émerge une dimension institutionnelle nouvelle qui offre une résonance plus forte aux initiatives de recherche scientifique ou de soutien économique. Citons pour exemple, le projet « TOPCASED », lancé dès la mise en œuvre de pôle de compétitivité « AESE », et associant Airbus, Astrium, plus des SSII, locales et nationales, plus le LAAS, avec pour objectif la mise au point d'un outil de modélisation destiné aux logiciels embarqués critiques. Or, ce programme fonctionne essentiellement avec une grappe d'entreprises implantées à Toulouse. Il reste malgré tout représentatif du tropisme de compétences toulousaines existant dans le registre des activités informatiques de systèmes embarqués.

Tel qu'il est conçu, le pôle de compétitivité « Aéronautique, Espace et ... Systèmes Embarqués » soulève la question d'une artificialisation de la relation entre l'Aquitaine et Midi-Pyrénées. Cela est d'autant plus vrai dans l'industrie informatique des systèmes embarqués, dont les processus transactionnels avec l'intervention des sociétés de services conservent un fort ancrage à la métropole toulousaine. À l'heure actuelle, le fonctionnement du pôle de compétitivité « AESE » illustre une implication prépondérante des entreprises. Leurs représentants gèrent la totalité des structures internes, les domaines d'activités stratégiques (DAS), où sont définis les programmes de recherche technologique financés à la fois par les entreprises et l'action publique. Le dispositif est logiquement amené à se renforcer en coordonnant un ensemble d'actions, sous réserve d'apports financiers tangibles et d'une bonne gouvernance pour une structure complexe à gérer. Il marque une évolution déjà ancrée où le poids du secteur des entreprises, et notamment des grands groupes, est

de plus en plus prégnant dans le partenariat public-privé activant une politique institutionnelle de développement, inscrite à une échelle territoriale pertinente et inédite, car de nature bi-régionale.

Documents de travail

Conclusion :

Les compétences ont toujours été au cœur des descriptions de ces systèmes productifs locaux, districts, clusters etc... Et la plupart des études empiriques montrent que c'est à ce niveau que s'opèrent les échanges les plus importants entre les firmes. Avec l'évolution conjuguée des techniques et des organisations productives, la caractérisation par le produit final devient moins suffisante. Surtout, la circulation des personnes via le marché du travail au sein du système local, et les réseaux personnels qu'elles entretiennent concourent à une certaine homogénéisation des compétences dans l'espace local. Mettre les compétences au cœur de l'analyse n'est pas en soi novateur, dans la mesure où la place des communautés de « spécialistes » à la fois développeurs et vecteurs de connaissances a été soulignée à maintes reprises pour comprendre l'organisation et la structure des systèmes productifs locaux (Scott et Storper, 1992 ; Saxenian, 2000). À Toulouse, en prenant le cas des activités informatiques et électroniques de systèmes embarqués, on observe l'émergence de relations transversales aux secteurs d'activités. La croissance des activités de conception et, au-delà, la généralisation des technologies numériques pour les commandes de vol ou le guidage au sol des avions ou des satellites constituent les conditions propices à l'inscription territoriale de ces nouveaux processus relationnels. Jusqu'au développement des technologies numériques dédiées aux commandes de vol, l'aéronautique avait peu en commun avec le secteur spatial qui de son côté avait déjà expérimenté une informatique scientifique spécialisée dans le développement des logiciels embarqués ou de guidage. Idem en ce qui concerne, l'automobile où s'est affirmé au début des années 80 un choix industriel axé sur le développement d'une informatique assistée à la conduite. Ces choix technologiques établis autour de la numérisation, de l'informatique temps réel et des systèmes ont fixé une communauté d'enjeux entre des secteurs industriels aux produits distincts.

Des stratégies collectives entre branches paraissent aptes à infléchir la trajectoire de systèmes productifs locaux qui tendent à cohabiter dans l'espace métropolitain. Si des changements de paradigmes technologiques peuvent favoriser les connaissances partagées et les transversalités de compétences entre branches ou secteurs, ces recompositions s'avèrent aussi favorisées par le rôle des marchés du travail, eux-mêmes adossés à des systèmes locaux de formation et de recherche. Les compétences transversales proviennent de la circulation des personnels au sein du marché local du travail. Les activités toulousaines de systèmes embarqués soulignent la stratégie des sociétés de services informatiques consistant à passer rapidement d'un donneur d'ordres industriel à un autre, ce qui leur assure une réorientation fréquente de leurs techniciens ou ingénieurs. Les processus relationnels entre manufacturiers de l'électronique (Siemens), avionneur (Airbus), intégrateurs de satellites (Alcatel, Astrium), services informatiques, et appareil de recherche en informatique et sur les systèmes, posent la question de l'existence dans l'agglomération toulousaine d'un « système local de compétences » des systèmes embarqués. Si ce système voit son ancrage territorial déterminé par les choix technologiques de plusieurs branches dans la numérisation des systèmes, il se renforce par la connexion à un réseau sous-traitant puissant en services informatiques et l'existence d'un marché local du travail des ingénieurs et cadres informaticiens, autant de conditions propices à la circulation des savoirs entre les firmes. En parallèle, l'existence d'instances de représentation avec leur logique de lobbying offre au « SLC des systèmes embarqués » une lisibilité institutionnelle pour que soient engagées au plan régional des initiatives spécifiques de développement technologique.

La notion de « système local de compétences » permet de caractériser certaines évolutions des systèmes productifs locaux. Ces systèmes de compétences multisectoriels semblent offrir plus de résistance et plus de flexibilité aux fluctuations des marchés, dans la mesure où les mêmes compétences peuvent être réinvesties d'un type de production à l'autre. Se pose également la question de leur échelle territoriale. L'exemple toulousain des activités de systèmes embarqués révèle ici que le niveau de la métropole régionale s'avère particulièrement adaptée à la construction des maillages entre des branches sectorielles marquées par une certaine intensité de recherche et développement. La relative spécialisation d'un appareil industriel sous la forme « d'un système local de compétences » pourrait-elle constituer dans certains espaces locaux, une solution face à la dépendance vis-à-vis d'un secteur d'activités prédominant ? L'enjeu s'avère d'actualité pour la métropole toulousaine, où les difficultés du programme A380 incitent à la réflexion sur les moyens d'atténuer la spécialisation du tissu industriel dans l'aéronautique en raison des incertitudes et des fragilités que sous-tend cette situation.

Documents de travail

Références :

- Beccatini, G., (1992), Les district marshallien : une notion socio-économique, in Benko, G. et Lipietz, A., *Les régions qui gagnent*, PUF, pp35-55.
- Crevoisier O. (2000), Les milieux innovateurs et la ville, in *Les milieux urbains : innovation, système de production et ancrage*, IRER-Neuchatel.
- Dupuy, C., & Gilly, J. P. (1999). Industrial groups and territories: the case of Matra-Marconi-Space in Toulouse. *Cambridge Journal of Economics*, 23, pp207-223.
- Dupuy, Y., & Gilly, J. P. (2005). D'un espace d'agglomération à un territoire de spécification: la dynamique des activités aéronautiques à Toulouse. *Université des Sciences Sociales de Toulouse, LEREPS-GRES (inédit)*.
- Frigant V., Talbot D. & Kéchidi M. (2006). *Les territoires de l'aéronautique, EADS, entre mondialisation et ancrage*, L'Harmattan, coll. Géographes en liberté.
- Gilly J.P., & Torre A., (2001). *Dynamiques de proximité*, L'Harmattan, coll "Emploi, industrie et territoire".
- Gilly, J. P., Grossetti, M., & Bès, M. P. (1992). Systèmes socio-productifs locaux et développement technologique: le cas des activités spatiales et du génie logiciel à Toulouse. Université de Toulouse: CIEU, CERS, LEREP.
- Grimaldi, R., & Torrisoni, S. (2001). Codified-tacit and general-specific knowledge in the division of labour among firms: a study of the software industry. *Research Policy*, 30, pp1425-1442.
- Grossetti, M. (1990). Enseignement supérieur et technopoles: le cas de l'industrie de l'informatique à Toulouse. *Revue Française de Sociologie*, 31, 463-482.
- Grossetti, M., & Bès, M. P. (2002). Proximité spatiale et relations science-industrie: savoirs tacites où encastrement (Polanyi où Polanyi)? *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, No 5, pp778-787.
- Jacobs, D & De Jong M. W., (1992), Industrial Clusters and the Competitiveness of the Netherlands, *De Economist*, N°140, pp233-252.
- Jalabert, G. (1995). *Toulouse: Métropole Incomplète*. Paris: Anthropos.
- Kechidi, M., & Panadero, Y. (1994). Le secteur aéronautique et les transformations de la sous-traitance régionale. In C. Dupuy & J. P. Gilly (Eds.), *L'Industrie de Midi-Pyrénées: Entre Tradition et Modernité*. Toulouse: Presses de l'Université des Sciences Sociales de Toulouse.
- Longhi, C. (2002). From exogenous to endogenous local development: the cases of the Toulouse and Sophia Antipolis technopoles. In A Quadrio Curzio & M. Fortis (Eds.), *Complexity and Industrial Clusters: Dynamics and Models in Theory and Practice* (pp. 213-237). Heidelberg: Physica-Verlag.
- Longhi, C (2005). A French revolution: technology management in the aerospace industry: the case of Toulouse. *International Journal of Technology Management*, 29, pp194-215.
- Markussen A., (2000), Des lieux-aimants dans un espace mouvant : une typologie des districts industriels in Benko G. & Lipietz A. *La richesse des régions*, PUF, coll "Économie en liberté".
- Porter M., (2000), Localisation, Cluster, and Company Strategy, in G.L. Clark, M. P. Feldman, and M. S. Gertler (eds.), *The Oxford Handbook of Economic Geography*. New York : Oxford University Press, pp253-274.

- Rodrik, D. (2003). Economic development as self discovery. *Journal of Economic Development*, 72, pp603-633.
- Scott, A. J. (1988). *Metropolis: from the division of labor to urban form*. Berkeley: University of California Press.
- Scott, A. J. (1993). *Technopolis: high-technology industry and regional development in Southern California*. Berkeley: University of California Press.
- Scott, A. J. (2001). Les régions et l'économie mondiale, L'Harmattan, coll. "Théorie sociale contemporaine".
- Scott, A. J. (2006). Entrepreneurship, innovation and industrial development: geography and the creative field revisited. *Small Business Economics*, 26, pp1-24.
- Scott, A. J., & Storper, M. (1987). Industries de haute technologie et développement régional: revue critique et reformulation théorique. *Revue Internationale des Sciences Sociales*, 112, pp237-256.
- Zimmerman J.B. (2001), De la proximité dans les relations firmes-territoires : nomadisme et ancrage territorial in Gilly J.P. & Torre A. (dir.), *Dynamiques de proximité*, L'Harmattan, coll. "Emploi, industrie et territoire".
- Zuliani, J. M. (1998). Effets de proximité et développement métropolitain des services de haut niveau. *Sud-Ouest Européen*, No. 2, pp33-45.
- Zuliani, J. M., Grossetti, M., & Jalabert, G. (2005). L'agglomération toulousaine: une système local de compétences. In R. Guillaume (Ed.), *Globalisation, Systèmes Productifs et Dynamiques Territoriales: Regards Croisés au Québec et dans le Sud-Ouest Français* (pp. 55-88). Paris: L'Harmattan.
- Zuliani, J. M., Jalabert, G., & Leriche, F. (2003). Système Productif, Réseaux Internationaux de Villes, Dynamiques Urbaines: Les Villes Européennes de l'Aéronautique. Toulouse: Université de Toulouse - Le Mirail. Rapport pour le Ministère de la Recherche "Programme Cité".

Glossaire des sigles :

CERT : Centre d'Études et de Recherches de Toulouse (Laboratoire de l'ONÉRA)

CNRT-AE : Centre National de Recherches et de Technologies – Aéronautique et Espace

DATAR : Délégation à Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale

DIACT : Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires

ENSAE : École Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace

ENSEEIH : École Nationale Supérieure en Électronique, Électrotechnique, Informatique et Hydraulique de Toulouse

GIE : Groupement d'Intérêt Économique

GIPI : Groupement d'Innovation Pour l'Industrie

INSAT : Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse

IERSSET : Institut Européen

IRIT : Institut de Recherche en Informatique de Toulouse

LAAS : Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes

LCIP : Laboratoire Capteurs et Intégration de Puissance (Laboratoire commun LAAS/Motorola)

LEEI : Laboratoire d'Électrotechnique et d'Électronique Industrielle

SFENA : Société Française d'Équipements pour la Navigation Aérienne

SSII : Société de Services et d'Ingénierie en Informatique

TGV : Train à Grande Vitesse

Documents de travail

Résumé :

L'analyse par le produit ou la branche d'activités devient de moins en moins pertinente pour caractériser l'organisation productive des clusters industriels et des systèmes productifs localisés. Dans de nombreux espaces régionaux ou métropolitains, les formes d'ancrage territorial des activités économiques révèlent l'émergence de relations transversales aux secteurs d'activités, sur la base de similarités de compétences requises. À Toulouse, les systèmes embarqués, principalement des ensembles « interfacés » constitués de composants électroniques et informatiques intégrés dans un avion, un satellite ou une automobile, se sont développées d'abord selon une logique sectorielle, avant d'être progressivement l'objet d'une transversalité de compétences et de savoirs entre différentes branches industrielles (aéronautique, spatial, électronique automobile). Ce système tend aujourd'hui à se consolider sur la base d'externalités positives comme le partage d'une sous-traitance commune de services informatiques, la collaboration des industriels avec des instituts en sciences de l'ingénieur, la circulation des personnels au sein du marché du travail local. À cela s'ajoute, une action institutionnelle forte qui incarne l'adjonction d'un volet « systèmes embarqués » au Pôle de Compétitivité « Aéronautique et espace », commun à Midi-Pyrénées et à l'Aquitaine. Dans le cas toulousain, les activités de « systèmes embarqués » pose alors le principe d'une organisation locale de ces activités de haute technologie en système local de compétences (SLC).

Mots-clés : Systèmes embarqués, Toulouse, système local de compétences, marché du travail, aéronautique.