

Le cluster des systèmes embarqués en région Midi-Pyrénées (France) : une organisation en « système local de compétences » ?

*Jean-Marc ZULIANI, Maître de Conférences
Université Toulouse II / LISST-CIEU – CNRS UMR 5193
zuliani@univ-tlse2.fr*

Les changements de paradigmes technologiques dans une industrie à haute intensité de recherche et développement comme l'industrie aéronautique offrent l'illustration de temporalités stratégiques produites par les firmes pour 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. Ils sont intégrés à un dispositif, une machine ou un autre système qu'ils pilotent, contrôlent et régulent. 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 ou l'automobile, 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 ou bien pour la conduite. 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 en matières de recherche et développement. 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 de puissance pour la traction ferroviaire. Le segment des systèmes embarqués, et notamment la partie relative aux logiciels, sera l'objet d'une mutualisation de ressources, complétée par la circulation de savoirs et la réaffectation des compétences 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 à 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 dans la région Midi-Pyrénées (France) a été beaucoup étudiés ces deux dernières décennies. Des auteurs comme Dupuy et Gilly (1999), Jalabert (1995), 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 spécialisés qui environnent le complexe aérospatial en général, et surtout sur l'informatique et le développement des technologies électroniques et logicielles embarquées parmi d'autres branches industrielles régionales. 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, le rôle et les effets de ces activités stratégiques sur le système productif régional en Midi-Pyrénées.

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). En règle générale, les organisations productives comme les « systèmes productifs locaux » se définissent à partir des types ou des familles de produits fabriqués, et donc de l'appartenance sectorielle des producteurs à un champ d'activités traditionnel, dûment répertorié (maroquinerie, industrie de la chaussure, coutellerie...). L'idée prévaut que les transactions inter-firmes géographiquement concentrées convergent vers la réalisation d'un type ou d'une famille de produits. Il en va un peu différemment des « clusters » de haute technologie aux activités marquées par un degré élevé de recherche développement et d'innovation technologique. Les clusters dans les biotechnologies ou les technologies d'information et de communication (TIC) puisent certes à différents domaines technologiques et scientifiques, mais la réalisation de gammes de produits ou de services technologiques reste au final structurante de leur développement.

L'hypothèse peut être faite pourtant que le produit final spécifie de moins en moins le système productif et son développement régional. Dans ce cas, les interactions entre les entreprises innovantes intègrent des collaborations via des échanges de savoirs entre des producteurs relevant de branches industrielles distinctes : des proximités de compétences complémentaires contribuent pour certaines firmes, moyennant des rapprochements avec d'autres, à investir de nouveaux projets ne relevant pas forcément de leur secteur d'appartenance où d'origine. C'est tout l'enjeu d'un mode de développement territorial en rapport avec le principe dit de la « spécification », qui désigne notamment une circulation et une « réemployabilité » des compétences entre les entreprises industrielles relevant de branches d'activités distinctes (Pecqueur et Colletis, 1993 ; Colletis, 2007).

A cet égard, l'idée d'une intensification des échanges interbranches, 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 sans cesse à réaffecter et à remobiliser. 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, entreprises et agents institutionnels qui contribuent à sa réalisation. 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). 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 sectoriel.

L'analyse d'un système local de compétences qui a pris corps dans les activités de systèmes embarqués en Midi-Pyrénées conduit dans une première partie à évoquer la formation de ce système productif en insistant sur les stratégies d'innovation technologique conduites dans le secteur aéronautique. Dans un deuxième temps, nous présenterons la réalité effective du système

local de compétences à partir des logiques convergentes entre le secteur aéronautique, spatial, l'électronique automobile et même aujourd'hui la construction ferroviaire, qui sont favorisées par l'appareil régional d'ingénierie technique et informatique et les instituts académiques de recherche, alors que se dessine une institutionnalisation des synergies via le pôle de compétitivité bi-régional (Aquitaine et Midi-Pyrénées) « Aéronautique, Espace et Systèmes Embarqués » (AESE).

1. D'Aérospatiale à Airbus : la construction d'une compétence dans les systèmes embarqués

La construction régionale 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 critiques. 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'appuient sur l'utilisation de technologies numériques avec l'emploi de calculateurs destinés 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 au début des années 80 (1983-1984) un groupe opérationnel 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 le projet 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. L'établissement toulousain d'Aérospatiale se lance dans une politique active de recherche et développement 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).

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 recherche et développement 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. An 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. 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 recherche et développement sur les technologies logicielles de systèmes embarqués.

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 de techniciens à des postes d'ingénieurs. Le développement prééminent des activités de conception dans les système 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 pourvoie 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. 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 recherche et développement 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. Cette réorganisation favorise une nouvelle économie d'échelles pour la 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.

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 intégrés dans les appareils. Le département d'études sur les systèmes embarqués répartit peu à peu 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 équipementiers (Thales, Liebherr, Messier Downty...). Dans cette distribution 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 donc est aisé de transférer des compétences pour des problématiques technologiques proches qui touchent à l'aéronautique. La mise à disposition des personnels auprès d'Airbus 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 compétences propice au renforcement d'un milieu professionnel dans l'informatique scientifique et technique, celle à laquelle on recourt pour l'élaboration des technologies logicielles de systèmes embarqués.

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 contradictoires semblent à l'œuvre. D'une part, la complexification des technologies fait naître chez l'avionneur 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 : le constructeur aéronautique 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 (Thales, Rockwell Collins...). 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 firmes contractantes. Pour leur part, ces fournisseurs restent d'abord installés à Toulouse. Ils mettent à profit la proximité géographique dans le cadre du travail en plateau lorsque les ingénieurs des différentes sociétés travaillent ensemble lors des phases successives de définition des appareils. 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 institutionnelle des acteurs.

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 meccano 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 recherche et développement sur les systèmes embarqués d'Aérospatiale ont fait une thèse au LAAS (Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes), institut de recherche avec lequel ils conservent des relations via des réseaux professionnels d'interconnaissances, propices aux échanges. 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 critiques et la sûreté de fonctionnement. Cette relation aboutit logiquement à la formalisation récente (2006) d'une recherche coopérative, concrétisée par le montage, en liaison avec d'autres instituts locaux spécialistes de la recherche dans les systèmes (ONERA, IRIT), d'un laboratoire commun dénommé AIRSYS¹. L'intérêt réside dans le regroupement de laboratoires autour de thématiques de recherche plus ou moins intégrées ; l'idée prévalente étant celle d'une transversalité de collaborations pour répondre à une demande accrue des industriels en matière de recherches sur les architectures logicielles dédiées aux systèmes embarqués. Les liens qui s'établissent avec le LAAS renforcent 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. 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, électronique automobile et même ferroviaire), et parfois aux côtés des scientifiques, au développement des technologies électroniques et informatiques de systèmes embarqués.

2. 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 critiques. Se pose alors un double enjeu : d'abord celui, d'une convergence technologique qui soit favorisée par une sous-traitance partagée de services d'ingénierie voire par l'engagement dans des programmes communs de recherche ; ensuite, le déploiement des compétences vers d'autres secteurs d'applications connexes des systèmes embarqués tels le domaine énergétique, la santé ou encore la sécurité. C'est à ce stade qu'entre en ligne de compte la question des politiques et actions institutionnelles afin de renforcer l'inscription régionale (et métropolitaine) des activités de systèmes embarqués et leur contribution à une diversification de la base industrielle régionale.

2.1 Les systèmes embarqués : des technologies présentes parmi d'autres branches industrielles en Midi-Pyrénées.

Dans la métropole toulousaine, en dehors de l'aéronautique, le secteur spatial et l'électronique ont expérimenté puis 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. Son installation à Toulouse entraînera en corollaire 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 plus 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 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.

¹ AIRSYS est un acronyme pour Architecture et Ingénierie des Systèmes.

Se constitue ainsi autour de la construction de satellites, au cours des années 80, un système productif 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 de 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. Au plan local, il implique principalement la firme Siemens, laquelle intègre dès 1988 un établissement de la firme américaine Bendix qui avait été fondé une dizaine d'années plus tôt en collaboration avec Renault. 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'adjoindre à son centre toulousain une activité soutenue de recherche et développement d'abord dans les systèmes de contrôle moteur, puis dans les années 90 dans les calculateurs implantés parmi l'habitacle des véhicules. Pour ce faire, la firme recrute des compétences en provenance notamment du secteur spatial et aéronautique où existe une maîtrise poussée des activités de tests et certification. En parallèle, l'équipementier électronique se lance dans une politique coopérative 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. Entre le LAAS et l'entité Siemens, de véritables « réseaux sociaux » se sont tissés, qui transitent par des canaux associatifs où le soutien à la recherche et aux transferts de technologie tiennent une place importante.

Toujours dans le registre de l'électronique, une activité de semi-conducteurs est représentée depuis la fin des années 60 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 d'abord aux systèmes embarqués liés à la téléphonie cellulaire mais également aux microsystèmes embarqués que développent et intègrent Siemens dans l'électronique automobile. 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. Du côté de Freescale, les interlocuteurs ingénieurs sont souvent d'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 alors 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 la production dans le segment de l'électronique de puissance, ce qui l'amène à construire, en liaison avec d'autres industriels régionaux (Airbus, Thales entre autres) et des PME innovantes, des projets collaboratifs de recherche et développement centrés sur les aspects de systèmes énergétiques embarqués (montage du laboratoire PEARL). À Toulouse, c'est principalement l'établissement local de Siemens, désireux de conserver une compétence de recherche et développement dans le cadre de la répartition internationale des activités électroniques de sa firme mère, 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, LEEL...) 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 synergies entre divers secteurs applicatifs (aéronautique, automobile, spatial et ferroviaire...) et le registre de la recherche appliquée. Son fonctionnement émane des expériences collaboratives 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 d'ailleurs relayée par les collectivités locales et les acteurs consulaires (Chambre de commerce) fait intervenir aux côtés des entreprises comme 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. 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. 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 firmes du secteur des systèmes embarqués qui se donnent les moyens de susciter une action de gouvernance par une coordination de liens avec les pouvoirs publics et l'appareil scientifique. Mais la compréhension des logiques de proximité dues aux réseaux sociaux et institutionnels ne peut être explicable sans l'évocation des logiques macroscopiques qui prévalent au plan métropolitain : le marché du travail, le maillage par la sous-traitance de services informatiques et l'apport des firmes ressources, souvent de petites entreprises à forte capacité de recherche et développement, à même d'offrir une transversalité de compétences dans différents champs d'applications des systèmes embarqués.

2.3 La cohésion du système productif à partir de la sous-traitance de services informatiques et l'expertise des petites firmes innovantes.

Les firmes industrielles spécialisées dans les activités de systèmes embarqués évoluent dans un environnement de relations avec des laboratoires-clés, spécialistes des systèmes informatiques critiques ou de l'informatique temps réel (LAAS, IRIT, ONERA), mais également avec 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 conceptrices qui ont été confiées par l'avionneur Airbus ou par ses proches

fournisseurs en charge de la réalisation d'un ensemble technico-industriel, à des sociétés spécialisées d'ingénierie informatique plus particulièrement versées dans les logiciels et systèmes d'informatique scientifique dite « temps réel », conformes à des degrés d'assurance et de qualité très élevés. Ces sociétés de services s'avèrent souvent 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 compétence en services informatiques, les manufacturiers des systèmes embarqués se connectent à un réseau local de fournisseurs dont la géographie des marchés industriels en Midi-Pyrénées se compose des secteurs aéronautique, spatial, et électronique automobile en région toulousaine, et dans une moindre mesure de la branche ferroviaire avec une activité d'électronique de puissance localisée à Tarbes. 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, de l'électronique automobile et du ferroviaire quant à la conception des logiciels embarqués et aussi de systèmes énergétiques 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 et de tests. 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 automobile. 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 et d'ingénierie 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 pour ce qui concerne la réalisation et l'intégration de systèmes informatiques temps réel. 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. Cette restructuration active la mise en réseau des firmes industrielles de la technopole entre lesquelles circulent personnels et savoir-faire (Grossetti, Zuliani, 2005).

C'est bien un contexte territorial marqué par des logiques structurantes de type cognitif qui se dessine à l'échelle régionale avec comme noyau d'ancrage principal mais non exclusif, la métropole toulousaine. Sur la base d'une accumulation de savoirs spécialisés dans les systèmes embarqués, certes intrinsèque à des secteurs donnés, il existent des compétences circulantes au service « d'une ingénierie des systèmes embarqués ». Ajoutons que le maillage du système productif par la transversalité des compétences ne serait pas complet sans le rôle pivot de certaines firmes : l'établissement local de Freescale mais aussi plusieurs petites mais à haute intensité de recherche et développement. Leur spécialisation dans un domaine précis des systèmes embarqués (capteurs, actionneurs, sûreté de fonctionnement des logiciels, calculs, simulations et tests...) donnent à ces opérateurs une capacité à investir des projets qui intègrent une problématique de système embarqué à haute criticité pour des registres aussi divers que la santé, la sécurité ou l'énergie, et ce grâce à la maîtrise de méthodologies de portée transverse entre les branches d'activités.

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 en région toulousaine de l'imbrication du secteur aéronautique, spatial et électronique en liaison avec le champ des entreprises spécialisées de l'informatique scientifique et technique.

2.4 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 soutient le développement économique des technologies de systèmes embarqués. Au plan régional, 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 à 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 2005 en recevant d'emblée le label « Pôle de compétitivité mondial », ce qui situe la dimension stratégique des activités et innovations technologiques qu'il a en charge de promouvoir et développer. 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 formule associative regroupant une large palette d'entreprises privées 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 scientifique. 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 scientifique de haut niveau 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 « Pôle de compétitivité ».

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 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 »², 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 d'une forte concentration des compétences toulousaines dans le registre des activités informatiques de systèmes embarqués. En parallèle, une communauté des spécialistes, et en premier lieu les ingénieurs des grandes entreprises, s'organise au plan local dans une optique de veille technologique et de mutualisation sociale des moyens. Ses objectifs résident dans la diffusion d'une information scientifique et technique visant à améliorer la production et l'exploitation des technologies électroniques et logicielles qui sont constitutives des systèmes embarqués. Leurs initiatives illustrent la poursuite des logiques coopératives, internes au milieu industriel, à mesure que se précisent les enjeux d'une transversalité des savoirs et des relations entre les secteurs d'activités, concepteurs et utilisateurs de systèmes embarqués.

Tel qu'il est conçu, en couvrant deux régions, Aquitaine et Midi-Pyrénées, le pôle de compétitivité « Aéronautique, Espace et ... Systèmes Embarqués » soulève aussi la question des relations de concurrence et de complémentarité entre les espaces Aquitain et Midi-Pyrénéen. Cela est d'autant plus vrai dans l'industrie informatique et électronique des systèmes embarqués : les marchés, les processus transactionnels dus à l'intervention des sociétés de services informatiques et d'électronique, des PME technologiques gardent encore un fort ancrage toulousain, même si des compétences liées à l'avionique de défense ont émergé à Bordeaux, principalement en liaison avec la firme Thales.

² Topcased est un acronyme pour Toolkit in Open Source for Critical Applications & Systems Development (boîte à outils *open-source* pour le développement d'applications critiques et de systèmes).

Le pôle de compétitivité AESE, s'il institutionnalise le soutien au développement économique et technologique des branches aéronautique, spatial et du tronc commun constitué des systèmes embarqués critiques, institue une double logique d'innovation, organisationnelle et technologique. Au plan organisationnel, les projets innovants émanent de neuf « domaines d'activités stratégiques³ » (DAS), véritables cercles de réflexions thématiques, institués entre les adhérents sous le patronage du Pôle. Les systèmes embarqués y tiennent une place prépondérante en représentant au début de l'année 2008, environ 40 % des projets financés⁴. Dans le registre technologique, l'ampleur des projets collaboratifs atteste que le Pôle de compétitivité forme un lieu efficace, propice au renforcement des collaborations entre entreprises, instituts académiques de recherche et centres de formation, en vue de générer de nouvelles ressources, de susciter des programmes concepteurs qui alimentent l'activité industrielle. Les projets de coopération coïncident avec les enjeux nouveaux qui affectent la construction aéronautique locale : faire qu'Airbus renforce son rôle d'architecte industriel par la maîtrise de technologies-clés dans les matériaux composites et les systèmes embarqués critiques; permettre à ses équipementiers implantés en Midi-Pyrénées et en Aquitaine de consolider la maîtrise de blocs de compétences techniques. S'il semble un outil performant pour favoriser des projets collaboratifs de recherche et développement, le pôle de compétitivité ne joue en revanche pratiquement aucun rôle dans les relations industrielles qui sont instaurées entre les donneurs d'ordres et leurs sous-traitants.

Au-delà, le fonctionnement actuel du Pôle de Compétitivité « AESE » illustre une implication prépondérante du secteur privé et notamment des grandes entreprises. Leurs représentants gèrent souvent ses structures internes, et leur influence semble prépondérante dans l'animation et le portage des « domaines d'activités stratégiques ». Le pôle de compétitivité « AESE » 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 est caractéristique d'une évolution sensible où le poids du secteur des entreprises, et notamment des grands groupes, semble de plus en plus prégnant dans le partenariat public-privé, en favorisant une politique de développement, inscrite à une échelle territoriale pertinente et inédite, car de dimension bi-régionale.

2.5 Un « système local de compétences » déterminant dans la formation du cluster des systèmes embarqués

Dans le cas toulousain des activités de systèmes embarqués, les relations entre firmes procèdent d'une organisation de type matriciel. D'une part, se structurent à partir des grands donneurs d'ordres, qu'ils soient du secteur aéronautique (Airbus), électronique automobile (Continental, ex-Siemens VDO⁵) ou même spatial (Thales Alenia, EADS Astrium), des filières industrielles spécialisées avec leur hiérarchie de sous-traitants industriels et de services dont les activités sont constitutives d'une logique « produit ». De plus en plus, ces firmes « motrices » adoptent, chacune dans leur registre sectoriel respectif, une organisation industrielle qui les conduit à un recentrage de leurs activités dans des fonctions d'architecte et d'assembleur industriel, en confiant à quelques entreprises partenaires la fourniture d'ensembles technico-industriels homogènes. D'autre part, fonctionnent entre les donneurs d'ordres et équipementiers des différentes

³ Aéromécanique, matériaux, structures ; énergie, propulsion, motorisation et environnement ; sécurité, sûreté du transport aérien ; terre vivante et espace ; navigation, positionnement et télécommunications ; systèmes embarqués ; architecture et intégration ; accès à l'espace et infrastructures orbitales ; maintenance, services et entraînement.

⁴ Données Aéroposace Valley (www.aerospace-valley.com). Op. cit.

⁵ En décembre 2007, l'équipementier automobile Continental a racheté à Siemens sa filiale VDO, ce qui lui permet d'élargir ses champs de compétences et de marchés dans les systèmes appliqués à la construction automobile. L'établissement toulousain de Continental est rattaché à la division « Powertrain » de Continental qui a en charge la réalisation de systèmes de commande moteur, de technologies d'injection et de capteurs.

branches industrielles, des liens transversaux parfaitement représentatifs de la logique du système local de compétences. La composante « systèmes embarqués » du pôle AESE en est ici l'illustration caractéristique : les projets collaboratifs affectent d'abord les technologies de logiciels embarqués critiques en rassemblant industriels de l'aéronautique, de l'espace, de l'électronique automobile sans compter les spécialistes des services informatiques et du génie logiciel. Ces liens transversaux et les circulations de savoirs qu'ils génèrent entre branches distinctes, constituent autant de ressources communes qui profitent en retour à chaque grand donneur d'ordres, inscrit dans sa logique sectorielle « produit ». En même temps se dessine une capacité pour certaines entreprises (entreprises indépendante, filiale ou établissement de groupe), hors d'une logique sectorielle, à viser une diversification applicative des technologies de systèmes embarqués.

Des firmes comme Airbus ou même Continental pour l'électronique automobile exercent une fonction d'architecte industriel en transmettant à des équipementiers, les spécifications technologiques des sous-ensembles et modules techniques qu'elles entendent se procurer. Il n'est pas rare que ces donneurs d'ordres majeurs élaborent ces spécifications en interrelation étroite avec leurs fournisseurs de premier rang. Au-delà, leur rôle tâche reste bien entendu de contrôler les diverses étapes de la production sous-traitante. Le renforcement de firmes partenaires auxquelles sont confiées des « paquets technologiques » conduit pourtant à un relatif affaiblissement du rôle concepteur des architectes industriels. Rien que dans les systèmes embarqués, ces « paquets technologiques » représentent des ensembles technico-industriels complets (dans l'avionique, le câblage électrique, les systèmes...) qui nécessitent des investissements de recherche et développement lourds pour les équipementiers qui en ont la responsabilité (Ex. Thales Avionics, Rockwell Collins). Dès lors, les pratiques collaboratives de recherche technologique favorisées par le Pôle de Compétitivité, les circulations de savoirs liées à la convergence des technologies et métiers offrent des avantages comparatifs qui constituent autant de coûts partagés de développement entre les firmes concernées. Si la logique sectorielle du « produit fabriqué » (avion, satellite...) forme un substrat basique à l'organisation du « cluster » des systèmes embarqués, la dimension cognitive faite de transversalités et de réaffectation de compétences entre branches industrielles semble déterminante par les apprentissages collectifs qu'elle génère. C'est à cette condition que le cluster régional des systèmes embarqués en Midi-Pyrénées entretient sa capacité créative.

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. 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, 1987 ; Saxenian, 2000). En Midi-Pyrénées, en prenant le cas des activités 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 ont constitué les conditions propices à l'inscription territoriale de ces nouveaux processus relationnels. Jusqu'au développement des technologies logicielles 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 le territoire régional de Midi-Pyrénées. 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 (Continental, ex-Siemens VDO), des microsystèmes (Freescale), avionneur (Airbus), intégrateurs de satellites (Thales Alenia, Astrium), services informatiques, petites firmes à haute intensité de RD, 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.

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. En Midi-Pyrénées, le niveau de la métropole régionale s'avère particulièrement adaptée à la construction des maillages entre des branches sectorielles marquées par une forte intensité de recherche et développement. La relative spécialisation à venir 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 en Midi-Pyrénées, et notamment dans la métropole toulousaine, où les difficultés récentes du programme aéronautique A380 incitent à une réflexion sur les moyens d'atténuer les effets dus à la prépondérance d'une trajectoire de spécialisation.

Références bibliographiques :

- Beccatini G., 1992. Les district marshallien : une notion socio-économique, in Benko, G. et Lipietz, A., 35-55. Les régions qui gagnent. PUF, Paris.
- Bouba-Olga O., 2006. Les nouvelles géographies du capitalisme, comprendre et maîtriser les délocalisations. Seuil, Coll. « Économie humaine », Paris.
- Colletis G., 2006. Développement local, proximités et rencontres productives. Le cas des dynamiques de développement de la région toulousaine. XLIIIème colloque de l'ASRDLF.
- Colletis G., & Pecqueur B. 1993. Intégration des espaces et quasi-intégration des firmes : vers de nouvelles rencontres productives ? RERU n° spécial, n°3, pp489-508.
- Dupuy C., & Gilly J. P., 1999. Industrial groups and territories: the case of Matra-Marconi-Space in Toulouse. *Cambridge Journal of Economics*, 23, 207-223.
- 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. CIEU, CERS, LEREP.
- Grossetti M, J.M., Zuliani & Guillaume R., 2006. La spécialisation cognitive : les systèmes locaux de compétences en Midi-Pyrénées, *Les annales de la recherche urbaine* N°101 (*Économies, connaissances, territoires*), 23-31.
- Jacobs D., & De Jong M.W., 1992. Industrial Clusters and the Competitiveness of the Netherlands, *De Economist*, N°140, 233-252.
- Jalabert G., (1995). Toulouse: Métropole Incomplète. Anthropos, Paris.
- Longhi C., 2005. A French revolution : technology management in the aerospace industry: the case of Toulouse. *International Journal of Technology Management*, 29, 194-215.

- Markussen A., 2000. Des lieux-aimants dans un espace mouvant : une typologie des districts industriels in Benko G., & Lipietz A., La richesse des régions. La nouvelle géographie socio-économique. 85-119. PUF, coll "Économie en liberté", Paris.
- Porter M., 2000, Localisation, Cluster, and Company Strategy, in Clark G.L., Feldman M.P., and Gertler M. S., (eds.), The Oxford Handbook of Economic Geography, 253-274. Oxford University Press, Oxford.
- Saxenian A.L., 2000. Les limites de l'autarcie : Silicon Valley et Route 128 in Benko G., & Lipietz A., La richesse des régions. La nouvelle géographie socio-économique. 121-147. PUF, coll "Économie en liberté", Paris.
- Scott A.J., 2006. Entrepreneurship, innovation and industrial development : geography and the creative field revisited. *Small Business Economics*, 26, 1-24.
- Scott A.J., & Storper M., 1987. Industries de haute technologie et développement régional: revue critique et reformulation théorique. *Revue Internationale des Sciences Sociales*, 112, 237-256.
- Zuliani J.M., 1998. Effets de proximité et développement métropolitain des services de haut niveau. *Sud-Ouest Européen*, No. 2, 33-45.
- 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*, 55-88. L'Harmattan, Paris.

Glossaire des sigles :

AIRSYS : Architecture et Ingénierie des Systèmes (laboratoire commun de l'ONERA, du LAAS, de l'IRIT et d'Airbus).

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

EADS : European Aeronautic Defence and Space Company

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

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

ONÉRA : Office National d'Études et de recherches Aérospatiales

PEARL : Power Electronic Associated Research Laboratory

SFENA : Société Française d'Équipements pour la Navigation Aérienne

SSII : Société de Services et d'Ingénierie en Informatique

TGV : Train à Grande Vitesse