

ETUDE PROSPECTIVE ET STRATEGIQUE



**ORIGINES DES TECHNOLOGIES CRITIQUES
DANS L'INDUSTRIE DE DÉFENSE EN FRANCE :
SPIN-INS OU SPIN-OFFS ENTRE LA DÉFENSE ET
LE CIVIL ? TRAITEMENT QUALITATIF ET
QUANTITATIF**

Octobre 2015

N° CHORUS : 214.1050146747 – EJ n° 1506019487

Le ministère de la Défense fait régulièrement appel à des études externalisées auprès d'instituts de recherche privés, selon une approche géographique ou sectorielle, visant à compléter son expertise interne. Ces relations contractuelles s'inscrivent dans le développement de la démarche prospective de défense qui, comme le souligne le dernier Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale, « *doit pouvoir s'appuyer sur une réflexion stratégique indépendante, pluridisciplinaire, originale, intégrant la recherche universitaire comme celle des instituts spécialisés* ».

Une grande partie de ces études sont rendues publiques et mises à disposition sur le site du ministère de la Défense. Dans le cas d'une étude publiée de manière parcellaire, la Direction générale des relations internationales et de la stratégie peut être contactée pour plus d'informations.

AVERTISSEMENT : Les propos énoncés dans les études et observatoires ne sauraient engager la responsabilité de la Délégation aux affaires stratégiques ou de l'organisme pilote de l'étude, pas plus qu'ils ne reflètent une prise de position officielle du ministère de la Défense.

SOMMAIRE

Introduction	7
1. La dualité de la technologie, une qualité naturelle ?	9
1.1 La technologie apparaît intrinsèquement duale jusqu'au TRL 6	9
1.2 Technologie et produit	10
2. Le sens de la dualité relève pour une part de l'opportunisme	15
2.1 La proximité de la demande civile et militaire	15
2.2 Les rencontres et le réseau	17
2.3 Les modalités de financement de la R&D	20
2.2 Les normes et la dimension socio-culturelle	33
3. Analyse des acteurs	41
3.1 Les difficultés de financement des TPE	41
3.2 Perception du marché militaire et positionnement des TPE	43
3.3 Rôle pivot de la DGA	45
3.4 Rôle de l'État et des régions	47
3.5 Le rôle des pôles de compétitivité	52
3.6 Relations entre TPE, grands groupes, laboratoires universitaires et institutions étatiques	57
Conclusion	61
Annexes	65
1. Les cas d'étude	66
Projet CARUS (Cooperative Autonomous Reconfigurable UAVs Swarm): essaim de drones	66
IRT St Exupery : projet CMC, composites à matrice céramique	74
Groupe Etienne Lacroix : la pyrotechnie	84
Pragma Industries : la pile à combustible	94
Trust-in-Soft : analyseurs de code-source pour systèmes critiques	104
Vaylon : la voiture volante baptisée Pégase	109
VODEA : le multimédia embarqué	116
Weeroc : circuits micro-électroniques pour la lecture de photodétecteurs	123
2. Liste des entretiens	130
3. Références	131
Revue de littérature	134

INTRODUCTION

Alors que le développement de matériels militaires emprunte de plus en plus aux technologies civiles, l'enjeu de cette étude était de comprendre l'origine technique et financière des technologies utilisées dans le domaine de la défense avec pour objectif d'identifier les flux bilatéraux entre les domaines civils et militaires. Les innovations militaires demeurent-elles le résultat d'un processus de recherche autonome ou découlent-elles de la recherche civile et, réciproquement, la recherche militaire tire-t-elle les innovations civiles ?

Quels sont les mécanismes de transfert de technologies du civil vers le militaire (spin-in) mais aussi du militaire vers le civil (spin-off) ?

L'objectif était également d'observer ces mécanismes au niveau local, et en particulier au niveau régional puisque dans le domaine du développement économique, les régions sont compétentes en matière de planification, de programmation des équipements et d'aménagement du territoire. Or, c'est au niveau local que sont souvent identifiées les PME innovantes, qui peuvent irriguer tout aussi bien le marché civil que le marché militaire.

Pour ce faire, cette étude s'est d'abord appuyée sur une revue de la littérature avant de réaliser une enquête par le biais de questionnaires et d'études de cas.

Les questionnaires ont cependant donné des résultats trop lacunaires pour permettre une exploitation utile avec seulement une quinzaine de retours. Par la suite et lors des entretiens, il est apparu que les entreprises interrogées rechignaient à nous donner des données financières trop précises, considérant la démarche comme trop intrusive, et ce quelle que soient les garanties données en termes d'anonymat.

En ce qui concerne les cas d'étude, l'objectif est double : (1) évaluer si les cas étudiés sont conformes à la littérature, donner sens aux différences éventuelles, en les reliant le cas échéant à la taille de l'entreprise (spécificités des TPE ?), et mettre en évidence l'influence des acteurs locaux, en particulier les conseils régionaux ; mais aussi (2) établir si le mode de financement pèse sur le sens du transfert de la technologie.

La méthode mise en œuvre consiste à réaliser des entretiens auprès de cinq TPE (Pragma Industries, Trust-in-Soft, Vodéa, Vaylon, Weeroc), une ETI (Lacroix), l'IRT St Exupéry et deux acteurs d'un projet collectif (CARUS), à savoir un laboratoire public (LaBRI) et une PME (Fly-n-Sense). L'attention fut portée à choisir des entreprises situées dans quatre régions différentes : Aquitaine, Alsace, Ile-de-France et Midi-Pyrénées. D'autres entretiens furent

conduits auprès du conseil régional d'Aquitaine, de trois clusters (Aerospace Valley, Aetos, Primus), et d'une société de conseil auprès de start-up (Starbust Accelerator) afin de mieux comprendre l'environnement dans lequel évoluent les entreprises étudiées.

Les résultats de ces enquêtes seront présentés en trois parties. La première consiste à nous demander dans quelle mesure la technologie est intrinsèquement duale ou non. Si la revue de littérature donne des indications sur ce sujet, il était intéressant de soumettre les présupposés de cette revue de littérature, si tant est qu'elle soit univoque, à l'aune des enseignements tirés des cas d'étude. Cette question n'est pas anodine car de la réponse qui en est donnée découle des indications sur ce que pourrait être un système d'innovation qui se fasse tant au profit du civil que du militaire, et ce tout en rationalisant l'utilisation des crédits affectés à la recherche. Il faut noter que cette analyse ne s'est pas limitée aux cas d'étude qui se sont concentrés sur des PME et des ETI, elle a également pris en compte les informations qui nous ont été données par des grands donneurs d'ordre dont l'activité est à la fois civile et militaire, Thales et Safran, ainsi que les informations recueillies dans la phase d'identification des cas d'étude.

Puis, en nous appuyant sur les cas d'étude, nous avons mis en évidence le fait que le sens de la dualité relève pour une part de l'opportunisme : dynamique des marchés au moment de l'invention, opportunité des rencontres, offres de financement existantes, et influence des facteurs socio-culturels au sens large.

Enfin, les acteurs seront analysés en détails à tour de rôle pour mettre en évidence leur rôle, leurs difficultés, et les enjeux qui en découlent. L'objectif était notamment de comprendre comment se mettait en œuvre l'interrelation entre ces différents acteurs, qu'ils soient publics ou privés, car de leur mise en réseau dépendent notamment les résultats positifs, que ce soit pour initier un spin-in ou un spin-off. A ce titre, il était important de déterminer quel était le comportement des acteurs locaux, qu'ils soient publics ou privés, c'est-à-dire les PME et les régions, pour déterminer comment cette dimension locale s'insérait dans le processus d'innovation et influait sur le spin-in ou le spin-off.

L'étude se clôt sur le compte-rendu des entretiens réalisés ainsi que la revue de littérature qui nous a servi de base pour établir notre analyse (en annexe).

1. LA DUALITÉ DE LA TECHNOLOGIE, UNE QUALITÉ NATURELLE ?

1.1 La technologie apparaît intrinsèquement duale jusqu'au TRL 6

Peu d'auteurs dans la littérature pensent que la technologie n'est pas duale par nature. Mollas Gallart (1997) et Stowsky (2004) défendent ce point de vue en arguant que le choix d'application dépend des modes d'organisation de l'innovation ou des systèmes d'innovation ; ces structures étant définies *ex ante*, elles confèrent un certain déterminisme à la nature de la technologie en cours de développement.

Les entretiens avec les industriels tendent cependant à infirmer ce raisonnement. D'après Bertrand Demotes Mainard, vice-président technologie du matériel chez Thales, la question de l'application future de la technologie ne se pose pas avant d'atteindre le TRL 3. C'est seulement à ce stade que les futures applications sont envisagées de façon à dé-risquer la technologie entre les niveaux 3 et 5.

Hormis chez Thales, il semble que la charnière se situe plutôt autour du TRL 6, ce qui confirme les analyses de Serfati (2008) ainsi que de Cowan et Foray (1995). Au sein de l'ETI Lacroix, par exemple, la sélection des technologies à développer se détermine en fonction des marchés potentiels, selon un raisonnement matriciel marketing/technologies¹. C'est une fois que la technologie a suffisamment mûri qu'ils réfléchissent aux possibles spin-in ou spin-off. La TPE Pragma Industries ne s'est initialement pas non plus interrogée sur les domaines d'application de sa pile à combustible. Ceux-ci ont surgi au fil des rencontres avec les clients potentiels. De même, le projet CARUS de drones en essaim, qui en est au TRL 5 environ, reste dual car ses acteurs ne se sont pas encore fixés sur un domaine d'application particulier : si le marché militaire n'est pas exclu, il relèvera plutôt de l'opportunité sans être une priorité. Enfin, l'IRT St Exupéry, positionné sur du TRL 3 à 5 dans des activités de R&T autour des matériaux multifonctions à haute performance, de l'aéronef électrique et des systèmes embarqués, s'affirme lui aussi comme un acteur du dual.

Le TRL 5-6 apparaît comme le moment clé où se poser la question, si cela n'a pas été fait avant, car il correspond à la phase de développement du démonstrateur. Comme il existe quelques différences majeures entre les besoins civils et les attentes militaires (résistance à l'environnement, etc.) et que l'un des buts d'un démonstrateur est de « tester » la technologie dans son environnement, connaître le futur cadre d'emploi de la technologie devient alors

1 Le cluster AETOS fonctionne de même pour orienter ses travaux de R&D.

incontournable pour tirer le meilleur parti du démonstrateur.

1.2 Technologie et produit

Le TRL 6 ressort des cas d'étude comme un moment charnière où la technologie emprunte un chemin qui l'amènera à s'appliquer dans le militaire ou le civil. Pour autant, une technologie peut rester identique dans les deux domaines. A titre de comparaison, étudions la situation de Weeroc, Pragma et de Vaylon.

Weeroc

Création : 2012

Objet : circuits micro-électroniques pour la lecture de photodétecteurs

Le laboratoire OMEGA, rattaché au CNRS (IN2P3, Institut national de Physique Nucléaire et de Physique des Particules), travaille pour les grands accélérateurs de particules ; il développe des circuits électroniques qui détectent les particules nucléaires. Les chercheurs suspectent que leurs circuits peuvent trouver d'autres applications, mais ne parviennent pas à les identifier. Lors d'une conférence scientifique, des fabricants d'imageurs médicaux les abordent mais le laboratoire n'est pas autorisé à commercialiser ces produits. De la même façon, Astrium les contacte pour une expertise mais se montre réticent à contractualiser avec un laboratoire, lequel exprime la même réticence à contractualiser avec une grande entreprise. Une poignée de chercheurs fondent alors en 2012 la société de droit privé Weeroc afin de pouvoir conduire cette activité.

Weeroc vend les circuits développés par le laboratoire via des accords de transfert de technologie, mais développe aussi ses propres circuits pour les besoins de l'industrie. Airbus Defence & Space (anciennement Astrium) fait partie de ses clients, et l'entreprise ne sait pas toujours sur quel système ses circuits sont intégrés (missile ? fusée?), car ils sont exactement les mêmes pour les deux domaines.

En effet, le fonctionnement de la lecture de photodétecteurs est indifférent au cadre d'emploi : le principe est le même, qu'il s'agisse de détecter des particules dans un réacteur nucléaire ou sur un missile balistique. C'est pourquoi le laboratoire OMEGA développe ses circuits sans idée d'application arrêtée.

Pragma

Création : 2004

Objet : une pile à combustible industrialisable

Pragma est une PME de dix personnes située à Bidart (64). Pour produire massivement une pile à combustible, il faut au préalable développer un standard de conception de pile, appelée pile-bobine. Guidés seulement par ce concept de fabrication, les fondateurs n'envisageaient au départ aucun domaine d'application. Leur premier positionnement sur le marché est le monde de la recherche. Comme seulement cinq sociétés au monde proposent des piles à combustible de faible puissance, Pragma n'a pas besoin de démarcher des clients. En 2012-2013, la société reçoit ses premières demandes industrielles, parmi lesquelles celle de Nexter Electronics pour concevoir un générateur, puis celle de la Poste pour fournir des vélos électriques (projet BikeBerri).

La société cible à ce jour deux marchés : celui de la sécurité civile et militaire, avec deux tailles de générateur, et celui de la petite mobilité avec le vélo électrique. La pile mise sur les vélos est exactement la même que celle qui fut développée pour le groupe électrogène. Bien que les attentes civiles soient moindres que les militaires en termes de résistance aux chocs, aux températures (40°C-45°C max. contre 55°C pour le militaire), et de tolérance à la pluie et au sable, l'entreprise ne modifie rien d'autre que le « packaging », car certaines applications civiles comme le secourisme en montagne demandent un niveau similaire d'exigence. On peut donc dire que sa technologie est en soi « neutre », indifférente à la nature civile ou militaire de l'application. En outre, proposer la même pile que pour les militaires est perçu par les clients et investisseurs civils comme un gage de qualité.

Vaylon

Création : 2010

Objet : une voiture volante

Vaylon est une start-up de deux personnes fondée à Strasbourg (67). C'est en passant son brevet de pilote paramoteur que l'idée de fabriquer une voiture volante vint à Jérôme Dauffy. Il vise alors le marché du tourisme, du loisir, et des déplacements. Pour réaliser son projet,

Dauffy prend contact avec une école d'ingénierie aéronautique. L'un des directeurs de l'établissement l'oriente vers la DGA, qui le renvoie vers le Commandement des opérations spéciales (COS). Le projet séduit ce dernier, aussi Dauffy crée-t-il la société Vaylon et se met-il en quête de financements. Comme la charge utile demandée par les forces spéciales dépasse le seuil autorisé par la réglementation civile (450 kg), et qu'il leur faut un moteur particulièrement puissant, Jérôme Dauffy part dans l'idée de développer deux prototypes, un pour chaque marché. Mais faute de financement suffisant, il n'en fabriquera finalement qu'un seul. Brider le moteur suffit pour répondre aux exigences civiles, tandis que la capacité réelle d'emport de son véhicule constitue un gage de sécurité pour ses clients civils.

Bilan

Comme le soulignaient déjà Cowan et Foray (1995), plus on est proche du composant et de l'équipement, plus il est facile à la technologie d'être duale ; et plus on se rapproche du système, plus le cadre d'emploi détermine la forme prise par la technologie. Le cas de Weeroc illustre bien cette neutralité de la technologie au niveau du composant. D'ailleurs, une entreprise positionnée sur le composant ne sait pas toujours sur quel système son produit sera monté *in fine* (cas de Weeroc).

La pile de Pragma atteint un degré un peu plus élevé d'intégration, mais l'écart entre le domaine d'application civil et militaire n'est pas assez grand pour justifier un redéveloppement : à condition que le produit soit pensé pour des environnements exigeants, il peut satisfaire tout type d'application. Le logiciel de cybersécurité de Trust-in-Soft en est un autre exemple, car il est trans-sectoriel : le domaine d'application du client importe peu du moment qu'il s'agit de systèmes critiques. Il en va de même pour le traitement d'image de la société Vodéa : ses applications sont indifférentes au domaine d'application, les seules différences majeures portent sur la compression (exigences civiles moindres) et le design (notamment le packaging et les connecteurs).

Enfin, la voiture de Vaylon aurait dû se décliner en deux versions, mais là encore les différences sont suffisamment faibles pour autoriser un développement unique. Il semble d'ailleurs que les différences tendent à s'estomper dans certains domaines : l'avionique civile et l'avionique militaire partagent un tronc commun, et même dans les moteurs d'hélicoptères, affirme Caroline Senzier, directrice R&T de Sagem Défense et Sécurité, les technologies deviennent indifférenciées. Pour rendre compte de cette nuance, nous appellerons « produit »

l'objet issu d'une technologie proche du TRL 9.

Cette grande porosité semble conforter la thèse d'Alic (1992), pour qui une technologie single use est très rare, et infirmer celle de Cowan et Foray (1995), selon qui à TRL 9, le produit était soit civil, soit militaire, mais rarement les deux. Il serait néanmoins nécessaire d'approfondir ce point. Dans le cas de Vaylon, par exemple, c'est la nature de la plateforme simple qui est à usage civil et militaire, mais c'est un cas de figure que l'on rencontre également dans les véhicules terrestres les plus légers, ainsi que dans certains types d'hélicoptères.

Cowan et Foray justifiaient leur affirmation sur la base des différences normatives et de nature des innovations. Pourtant, cette dernière tend à se confondre dans certains domaines (comme les moteurs d'hélicoptères), et le monde militaire se conforme de plus en plus aux normes civiles². Cette double évolution autorise un rapprochement entre les versions civile et militaire d'un produit, au prix éventuel d'une sur-spécification pour la version civile (cas de Pragma et de Vaylon).

Par voie de conséquence, avoir un seul produit fait *de facto* appel aux mêmes ressources humaines et permet de conjuguer des financements divers issus d'organismes ayant des finalités différentes (ex : OSEO-DGA pour Vaylon, DGA-FEDER-OSEO-Région pour Pragma), alors que Cowan et Foray estimaient que les moyens humains et financiers étaient distincts pour la recherche appliquée, même s'ils pouvaient être confondus pour la recherche fondamentale.

Les études de cas ne vont pas non plus dans le sens de Mollas Gallart (1997) et Stowsky (2004) : les différences entre les systèmes d'innovation ne semblent pas avoir de prise sur la dualité ou l'absence de dualité de la technologie.

En revanche, il semblerait que le contexte économique général influence le sens (spin-in ou spin-off), conformément à l'analyse de Mowery et Rosenberg (1990)³. La proximité des demandes civile et militaire favorise ce jeu sur les deux tableaux dans le cas où le secteur initialement visé connaît une baisse d'activité, tandis que l'autre se révèle dynamique. On peut alors penser que la nature du système national d'innovation (SNI), autour du positionnement des acteurs publics ou privés impliqués, des réseaux constitués, etc., puisse être déterminante

2 Civilianisation normative du secteur militaire. A titre d'illustration, le STANAG 4609 portant sur le traitement d'image vidéo est issu d'une norme civile MXF.

3 L'existence d'un marché civil en croissance rapide attire les spin-in, et les exigences spécifiques du militaire sur certains points précis donne un avantage aux spin-off (D. Mowery et N. Rosenberg, 1990).

de potentiels spillovers. En d'autres termes, les transferts entre le civil et le militaire (ou l'inverse) sont d'autant plus probables ou possibles que la BITD est imbriquée dans le SNI.

2. LE SENS DE LA DUALITÉ RELÈVE POUR UNE PART DE L'OPPORTUNISME

2.1 La proximité de la demande civile et militaire

La littérature relève à juste titre que la proximité de la demande entre secteurs civil et militaire favorise le passage d'un domaine à un autre (D. Foray, 1990 ; C. S. Galbraith, A. DeNoble, S. Ehrlich, 2004). L'essor du marché de la sécurité participe de cette proximité (C. Serfati 2008 ; C. S. Galbraith, A. DeNoble, S. Ehrlich, 2004). De ce point de vue, l'accélération de la boucle de l'innovation technologique et la montée des TIC ces vingt dernières années nous permettent de tirer un certain nombre d'enseignements : la dimension « stratégique » des technologies civiles s'amplifie, rapprochant celles-ci des technologies militaires, tandis que les besoins militaires en matière de technologies nouvelles s'accroissent sans que les moyens disponibles ne permettent de suivre ce rythme. La recherche de spin-in devient alors une option pour rester dans la course, et le rapprochement qui en découle fait effectivement naître l'opportunité d'emploi de technologies militaires à des fins civiles. Le cas des drones est emblématique à cet égard : les similitudes dans les attentes entre le marché militaire et la sécurité civile permet aux dronistes de travailler aussi bien pour le militaire que pour le civil. On pourrait également citer le chiffrement ou l'utilisation de matériaux très techniques.

L'histoire du cluster **AETOS** en témoigne. Il est né du souhait de Thales et de la région Aquitaine de disposer de sociétés et de laboratoires performants, qu'ils soient dans le civil ou dans le militaire, afin d'être en bonne position pour répondre aux programmes que, l'entreprise et la région n'en doutaient pas, la DGA lancerait dans le secteur des drones militaires. Malheureusement, le besoin militaire mit du temps à se stabiliser et les plateformes militaires furent commandées auprès des Israéliens. Le cluster réorienta alors ses activités à destination du secteur civil en plein essor.

Toutefois, si la plateforme est duale, les communications ne le sont pas pour des raisons de sécurité. De manière générale, les performances attendues par la DGA sont nettement supérieures et le nombre de capteurs est plus important dans le militaire. La différence de besoin explique la différence de prix, mais les acteurs espèrent qu'à terme, le prix baissera et que le civil aura le même niveau d'exigence afin de pouvoir remployer telles qu'elles les technologies militaires dans le civil. L'alignement des prix est une condition essentielle du spin-off aux yeux des acteurs.

Aujourd'hui, la très grande majorité des PME estiment que le temps du monde militaire est trop long et les quantités trop faibles pour leur permettre de se développer. Leur stratégie consiste donc à viser le marché civil, tout en laissant la porte ouverte au militaire s'il manifeste un intérêt. De fait, deux projets civils au sein d'AETOS ont attiré l'attention des militaires : la société Xamen Technologies, membre d'AETOS, est aussi l'unique droniste français à proposer un drone compatible avec l'atmosphère explosive ; conçu pour le secteur pétrolier et chimique, le 4-8 X DUAL ATEX pourrait trouver à s'appliquer en environnement NBRC. Un autre drone, conçu cette fois pour la police, suscite l'intérêt de la gendarmerie.

Projet CARUS de drones en essaim

Lancement : 2011

Objet : développer des algorithmes de coopération d'essaim de drones autonomes

Le projet CARUS (Cooperative Autonomous Reconfigurable UAV Swarm), porté par AETOS, cherche à mettre en évidence les problèmes techniques, humains et législatifs soulevés par un dispositif de drones en essaim, communiquant par échanges de messages de type broadcast asynchrone. Le projet est collectif : il associe un laboratoire de recherche, le LaBRI, qui maîtrise l'algorithme qui permet de reconfigurer automatiquement le vol des drones en essaim ; Fly-n-Sense, qui fournit la plate-forme ; et Thales, qui assure l'intégration.

Ce projet illustre la porosité entre les deux domaines d'application. A l'origine, le besoin était concomitamment d'origine civile et militaire : les pompiers voulaient pouvoir surveiller un départ de feu et la DGA être en mesure de faire travailler des drones en essaim avec un commandement centralisé. Par la suite, la finalité affichée change au gré des besoins de financement : auprès du conseil régional, ils mettent en avant la lutte contre les feux de forêt, et les applications militaires sont absentes de la page de présentation d'AETOS et du LaBRI, mais ils n'hésitent pas à solliciter un financement de l'Agence européenne de la défense (AED) tandis que le LaBRI bénéficie d'une thèse DGA. Les applications immédiatement envisagées sont civiles, mais le marché militaire n'est pas exclu : sans être une priorité, il relèvera plutôt de l'opportunité.

Herakles

Lancement : années 1970

Objet : développer des matériaux composites thermo structuraux

La société Hérakles, filiale du groupe SAFRAN, a également l'habitude de basculer d'un domaine à un autre au rythme des cycles économiques du secteur militaire. Spécialisée dans les composites thermostructuraux, elle fut sollicitée dans les années 1970 pour développer des matériaux pour le M-45 ; ils seront réemployés sur la fusée Ariane et donneront naissance aux freins en carbone-carbone. Dans les années 1990, le projet Hermes portait sur les matériaux pour les moteurs de l'aéronautique militaire, comme ceux des Rafale, et les moteurs civils en bénéficièrent de nouveau quelque temps plus tard. Cependant, des adaptations furent nécessaires car les moteurs d'avions militaires sont peu nombreux et chers, alors que le secteur civil produit en masse des objets peu chers, et exige une grande durée de vie. Herakles a dû modifier ses procédés de fabrication afin d'accroître les cadences et obtenir des pièces identiques. La société est toutefois convaincue que ces innovations pour abaisser les coûts auront des retombées dans le domaine militaire, peut-être sur les moteurs du Tigre ou sur le M88-3 sur Rafale.

2.2 Les rencontres et le réseau

Si des demandes semblables expliquent la facilité à passer d'un domaine d'activité à un autre, cela n'explique pas comment une technologie trouve à s'appliquer en premier. Les cas d'étude tendent à montrer que le premier marché se décide souvent opportunément, en fonction des rencontres et du réseau dans lequel gravite l'entreprise.

Vodéa avait ainsi décidé que son marché serait celui du cinéma et de la télévision, avec le passage des films argentiques aux films numériques et la généralisation des techniques numériques. Des entreprises loueuses de caméras et de matériels audiovisuels ont été contactées, ainsi que Panavision, mais le monde des loueurs s'est révélé très compliqué dans son approche. Ce fut la prise de contact de Dassault, où une partie des fondateurs de Vodéa avaient travaillé, qui offrit à la société son premier contrat mais aussi son marché dominant (70% de son chiffre d'affaires provient de l'aéronautique militaire).

Quant à **Pragma Industries**, l'entreprise ne s'était pas encore posée la question de son domaine d'application quand elle fut contactée par Nexter Electronics, reconvertie dans l'électronique de puissance. Ce dernier voyait dans la pile à combustible le moyen de répondre à un besoin d'énergie transportée et de se réorienter vers le stockage d'énergie (son

chiffre d'affaires provient actuellement majoritairement du MCO). A la demande de Nexter Electronics, la start-up se rend en 2013 au SOFINS (salon des forces spéciales) où son produit attire l'attention. Du besoin exprimé par les forces spéciales françaises naîtra son premier produit commercialisé : un petit groupe électrogène léger baptisé Teya. La décision de se tourner vers le militaire est un **choix d'opportunité** relevant de deux facteurs : la prise de contact de Nexter Electronics, et l'intérêt montré par les opérationnels au SOFINS.

Les salons se révèlent être un moyen non-négligeable de dénicher un premier marché et d'affiner le produit, puisque la rencontre avec les forces spéciales fut également décisive pour **Vaylon**. En 2008, l'entreprise rejoint l'incubateur alsacien Semia (Science, Entreprises, Marché, Incubateur d'Alsace, créé en 2004), qui l'aide à trouver des investisseurs. OSEO est sollicité, mais ne croit pas au projet. C'est la discussion avec le COS qui fut l'élément déclencheur et qui permit à Dauffy de voir aboutir son projet, car fort de cette marque d'intérêt, il put négocier une convention OSEO-DGA.

Les **clusters** jouent également un rôle de mise en relation. Outre l'aide qu'ils apportent à leurs TPE pour participer à des salons, ils offrent un espace où trouver des partenaires dont les compétences sont complémentaires aux siennes et où monter des projets collaboratifs. Au bout de deux ans d'existence, le cluster Défense de Midi-Pyrénées, rebaptisé Primus fin 2014, compte cinq structurations d'entreprises en consortium pour répondre à des appels d'offres de la défense. Pragma apprécie ainsi de pouvoir trouver des compétences en local. Pour un groupe de taille plus importante comme Lacroix, rejoindre un cluster permet d'être identifié au niveau régional et d'attirer les demandes de collaboration d'acteurs locaux plus petits. Les clusters aident aussi leurs start-up à se faire leurs premières références en les mettant en relation avec des clients éventuels et les orientent vers une source de financement locale, nationale ou européenne. En somme, c'est un lieu de réseautage, où le cluster joue la carte de la proximité – ce qui lui confère le soutien des Régions.

Pour ce qui est des régions, la **région Aquitaine** joue elle aussi ce rôle d'intermédiaire à deux niveaux. Tout d'abord, son soutien aux projets locaux contribue au dynamisme régional par la mise en relation des acteurs qui s'opère autour d'elle. Le projet CARUS, porté par le cluster AETOS auquel appartient Fly-n-Sens, en est une illustration. Ensuite, elle agit comme courroie de transmission entre la DGA et le tissu local, soit directement, soit par le biais de l'agence Aquitaine développement innovation (ADI) : celle-ci informe les entreprises des opportunités existant dans le secteur militaire afin de les encourager à s'y diversifier, et participe de cette mise en relation, que Pragma juge essentielle au développement des petites sociétés régionales.

La **DGA** détache de son côté du personnel en région au sein de la Direccte (PRED) pour cartographier les acteurs intéressants potentiellement la défense, décliner la politique de l'État au niveau régional, et établir la liaison entre les PME et les ETI d'un côté, et le ministère de la Défense et les grands groupes de l'autre. Le groupe Lacroix juge positivement le rôle de la

Directe, ainsi que les échanges qu'il peut avoir avec la MRIS sur les feuilles de route : cette collaboration avec la DGA lui est profitable pour accompagner son développement. Cependant, il ressort des entretiens que cet envoyé ministériel n'est pas toujours connu des entreprises, notamment quand celles-ci ont déjà un point d'entrée à la DGA. C'est le cas de Vaylon aujourd'hui : le PRED a pris contact avec elle une fois qu'elle a été référencée par la DGA, et son fondateur lui a posé une seule question. Ce fut leur unique échange car les contacts avec la DGA ont toujours été directs. Fondée par d'anciens chercheurs familiers de la DGA, Trust-in-Soft n'a jamais eu de contact avec le PRED. Enfin, Fly-n-Sense, pourtant membre de PEPITEA⁴, déclare n'avoir pas perçu d'intérêt particulier de la DGA pour son projet CARUS, ce qui reflète probablement le caractère privilégié des relations que l'organisme entretient depuis longtemps avec le LaBRI au détriment des autres partenaires. Ainsi, les accès directs à la DGA rendent superflue l'intermédiation de la Directe ou d'autres points de contacts classiques (la région, les clusters). Il apparaît aussi par le biais des cas d'étude que les entreprises qui trouvent rapidement des clients et ont relativement moins besoin d'aides au financement ne vont pas se tourner vers les organismes habituellement sollicités (la région et autres acteurs locaux, l'ANR...), ainsi que la DGA, et prennent de ce fait le risque de ne pas se faire identifier par la DGA. C'est le cas de Weeroc, start-up issue d'un laboratoire du CNRS. Ses cartes électroniques sont intégrées dans les systèmes balistiques nucléaires conçus par Airbus Defence & Space et sa technologie est essentielle aux activités balistiques. Pourtant, la DGA n'a pas établi de contact avec elle et ses dirigeants n'avaient jamais entendu parler de la Directe. Le schéma mis en place pour repérer les compétences de start-up intéressant potentiellement la défense fonctionne donc pour les jeunes entreprises en quête de financement, mais semble mal adapté aux cas d'entreprises issues de laboratoires publics, disposant d'un carnet d'adresses et de technologies déjà matures ou en passe de l'être.

2.3 Les modalités de financement de la R&D

Modes de financement selon la taille de l'entreprise

Les entretiens laissent entendre que, dans la gamme des financements possibles, tous ne sont pas facilement accessibles à des TPE. Le **financement européen**, qu'il soit civil ou militaire, est ainsi plutôt l'apanage des entreprises de taille moyenne à grande, même si Lacroix estime

⁴ PEPITEA est une action conjointe de la DGA et du Conseil régional Aquitaine dont l'opérateur est l'ADI. L'objectif est de détecter le potentiel d'innovation dans les PME aquitaines stratégiques pour l'industrie duale et de défense.

que l'aide s'est progressivement réduite au fil du temps. Pragma, Fly-n-Sense et Vaylon s'accordent ainsi à estimer que les appels d'offre de l'AED, du FP-7 et maintenant d'H 2020 sont peu adaptés aux TPE à cause de la longueur de la procédure de sélection et du temps passé en amont à monter le consortium. De manière générale, l'échelle de temps d'une TPE (6-12 mois) ne correspond pas à celle de ces projets (3 ans). Même le groupe Lacroix, pourtant une ETI, rapporte qu'il n'a pas encore réussi à obtenir des crédits même si l'AED reste pour lui une source « potentiellement intéressante » de financement. Pragma s'interroge d'ailleurs sur l'opportunité de s'allier avec des entreprises étrangères quand les compétences existent en France et risquent de disparaître faute d'être mobilisées sur des projets de ce type. Les **dispositifs régionaux** lui paraissent mieux adaptés, puisqu'il n'y a aucune contrainte temporelle et qu'ils permettent de faire aussi bien de la R&D que du développement de projet pilote, à l'image des vélos électriques pour la Poste. Pragma participe néanmoins à un projet FEDER, mais le sujet traite non pas d'aspects techniques mais d'acceptation sociale. Seuls les entrepreneurs anciennement chercheurs apparaissent à l'aise avec les procédures européennes et n'hésitent pas à candidater et à monter des consortiums, à l'instar de l'IRT St-Exupéry et de Weeroc. Les petites entreprises préfèrent se tourner pour leurs besoins en financement vers des **organismes nationaux et locaux** : BPI/OSEO a été cité par tous les enquêtés, qu'il ait accordé une aide seul ou avec la DGA ; les collectivités locales sont d'autres partenaires récurrents des petites et moyennes entreprises (la région Aquitaine finance le projet BikeBerri à hauteur de 60 %), même si les projet d'intérêt militaire y sont diversement accueillis en dépit d'accords signés avec le ministère de la Défense (Vodéa a essuyé un refus malgré un avis technique positif). Les grandes entreprises ne sollicitent en général l'échelon local qu'en partenariat avec des TPE ou des PME. A l'échelle nationale, le FUI et la DGA sont cités par les entreprises de toutes tailles. C'est essentiellement la procédure **RAPID** qui est connue des TPE, lesquelles font une demande seules ou en partenariat avec une grande entreprise. Les aides cumulées peuvent représenter 50 % du chiffre d'affaires d'une entreprise comme Vodéa (700 000 € / an). Les grandes entreprises et certains EPIC, parfois avec des PME et des ETI, bénéficient également des contrats d'études de la DGA sous code des marchés publics (les anciens PEA). Enfin, l'**ANR** attire plutôt les grandes entreprises et les acteurs issus des laboratoires, sans doute du fait de la lourdeur des démarches. De plus, Lacroix n'enregistre qu'un faible taux de succès, et on peut supposer que les TPE qui en connaissent l'existence préfèrent miser sur des dispositifs moins concurrentiels.

Le CIR contribue également au financement de la R&D de ces entreprises dont les applications peuvent être civiles et militaires. Même si le nombre de réponses aux questionnaires est insuffisant pour pouvoir donner une mesure significative, on constate que le Crédit d'impôt recherche peut représenter de 1 à 10 % du chiffre d'affaires des entreprises.

Mais tous recourent à leurs fonds propres : les TPE en ont impérativement besoin pour financer leurs recherches et faire des demandes de financement ; les ETI financent par ce biais environ 80 % de leur R&D, n'utilisant qu'à la marge les dispositifs de financement existants, ce qui protège le secret ; les grands groupes, pour leur part, n'hésitent pas à utiliser divers dispositifs, notamment les programmes européens (FEDER, AED, H2020, etc.) et nationaux (ANR), à l'exception du niveau local, à moins d'être partenaire d'une petite entreprise.

	Très petites entreprises	Grandes entreprises
AED	<i>sauf ex-chercheurs</i>	x
Programmes européens civils	<i>peu</i>	x
FUI	x	x
ANR	<i>sauf ex-chercheurs</i>	x
BPI/OSEO	x	
DGA	x	x
Collectivités locales	x	
Fonds propres	x	x
CIR	x	x

Affinons maintenant ce tableau général en fonction du niveau de TRL.

Modes de financement en fonction du niveau de TRL

Prenons le cas des jeunes entreprises : tant qu'elles n'ont pas développé de produits, les

financements sont peu importants, et le nombre de salariés et les investissements nécessaires également. Ces entreprises travaillent sur des TRL bas, sauf si elles sont issues de laboratoires comme Weeroc et Trust-in-Soft, auquel cas elles bénéficient des technologies et des produits préalablement développés par leur laboratoire d'origine. Les besoins en financement vont augmenter de manière substantielle quand les entreprises vont passer au stade du développement, c'est-à-dire quand elles vont commencer à travailler avec une logique « produit », explique François Chopard, fondateur de Starbust Accelerator, une entreprise dont l'objet est le conseil en financement de start-up.

Trust-in-Soft, par exemple, avait déjà sa technologie-clé développée au moment de sa création, mais les fondateurs devaient encore pouvoir la déployer industriellement : c'est le passage de la technologie au produit que la jeune société a dû financer. Pour cela, elle a levé 1 M€ via :

- des prêts de BPI
- le concours national du ministère de l'Industrie
- un projet ANR
- un projet du ministère de l'Industrie
- une participation à des projets européens
- des aides des incubateurs (prêt de 60 000 € de la région via Scienti-Pôle).

Dans cette diversité des sources (dons, prêts, subventions, contrats de recherche), la société affirme bénéficier d'un euro d'argent public pour un euro d'argent privé.

Pour la suite de sa recherche de financement, elle garde ouvertes les deux options civiles et militaires : c'est bien une démarche d'opportunité de financement.

Stade 1 : financement pour des TRL ≤ 6

Pragma industries : TPE de 10 salariés

Financement privé : business angels, multiples OSEO, collectivités locales, CIR, FEDER.

Le mode de financement constitue un patchwork de différentes origines privées et publiques, car l'entreprise a eu une stratégie de financement « tous azimuts ». Depuis sa création, elle a bénéficié de nombreux soutiens à sa R&D :

- Concours de l'innovation et de la création d'entreprise : 50 000 à 60 000 €
- OSEO : 600 000 € (avances remboursables et subventions)
- Conseil régional d'Aquitaine (subventions et prêts d'honneur)
- Agglomération Côte basque – Adour : 25 000 € (subvention)
- RAPID (en 2014) : 200 000 €, soit 45 % du projet portant sur la pile-bobine
- FEDER (via le conseil régional) : 130 000 €
- CIR : entre 70 000 € et 90 000 €.

La DGA intervient avec un RAPID une fois que la technologie atteint le niveau de maturité requis ; le reste est auto-financé. À ce moment-là, un produit défense est déjà identifié suite à la prise de contact par Nexter Electronics quelques temps plus tôt.

En outre, la société fut aidée par OSEO (environ 9 000 €), Intersystems (subventions de 10 000 € à la création d'emplois) et la région Aquitaine, via des subventions diverses (150 000 € depuis 2004). Il faut souligner qu'il s'est écoulé près de dix ans depuis la création de la start-up et le développement d'un véritable produit commercialisé.

Projet Carus

Fly-n-Sense, TPE de 11 salariés, rachetée en 2014 par le groupe Viva Santé

LaBRI (Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique), unité de recherche associée au CNRS, à l'Université de Bordeaux et à Bordeaux INP, 320 personnes

Thales, grand groupe de plus de 61 000 salariés

Financement : CIFRE-DGA, Région, puis AED

Fly-n-Sense a une stratégie à l'opposé de celle de Pragma : le dirigeant préfère ne faire qu'une seule demande de fonds à la fois pour concentrer son temps sur le développement technologique. Seul le conseil régional a participé, couvrant au moins 50% des coûts pour la PME.

La DGA intervient tôt dans le projet en finançant la thèse CIFRE d'un doctorant rattaché au LaBRI : son soutien est indirect et porte sur la partie théorique uniquement. *De facto*, le projet est donc d'emblée dual, bien qu'il s'affiche comme civil. D'ailleurs, la PME n'a parlé que d'applications civiles lors de l'entretien, même si elle évolue dans un environnement

sensibilisé aux questions militaires puisqu'elle adhère au cluster AETOS. Mais le marché civil représente en effet pour elle une opportunité commerciale bien plus importante que le marché militaire.

Le contact avec le monde militaire s'est établi par l'entremise du LaBRI, qui a noué au fil du temps une relation de confiance avec la DGA. C'est grâce à cette relation privilégiée que la DGA contribue au projet CARUS, d'abord *via* une thèse CIFRE-DGA, puis en positionnant le projet au niveau de l'AED (programme ASIMUT, 2014-2017, dans le cadre d'ICET⁵). Fly-n-Sense y est financé à hauteur de 70 %. Le sujet est l'étude du concept d'usage d'essai pour la sécurité, y compris le maintien de l'ordre. Thales reste responsable de l'équipe tandis que le LaBRI est responsable scientifique et technique. Comme c'est un programme européen, le cadre s'est élargi pour accueillir un partenaire allemand (Franhauser) et luxembourgeois (l'université du Luxembourg). Il s'agit ici d'un TRL 3-4 (prototype papier et laboratoire). Le LaBRI ambitionne de faire avancer ce projet jusqu'au TRL 6, si possible par le biais d'autres programmes européens. C'est parce qu'ils ont conscience que ceux qui financent le mieux sont l'Europe et la DGA que les trois partenaires se sont récemment tournés vers l'Europe, et ils envisagent de solliciter par la suite un RAPID ou un FUI, en fonction de l'accent qu'ils souhaitent mettre sur le domaine d'application.

Leur choix en faveur de l'Europe les différencie de TPE comme Pragma et Vaylon, et on peut avancer que cela est dû au fait que le moteur du projet est le LaBRI, et qu'il est composé de chercheurs. Comme dit précédemment, ils ont l'habitude de monter et conduire des projets d'envergure, et leur statut les rend en quelque sorte quasiment neutres au risque, contrairement à des entrepreneurs privés qui se lancent : ces derniers préfèrent investir leur temps et leur énergie là où ils pensent avoir le plus de chances de bénéficier d'une aide, même si le gain espéré est moindre.

Vodéa : TPE de 12 salariés

Financement : CETI puis ANVAR, FUI, RAPID et CIR

Sur ses trois premières années d'existence, l'entreprise vit grâce au concours de la création d'entreprise innovante, organisé par le ministère en charge de la recherche, en catégorie développement-crédation, qui lui a rapporté 300 000 €. Cela lui permet d'arriver au TRL 4.

5 Le programme ICET2 dans sa totalité est financé à hauteur de 5,2 M€.

Puis, en 2006, elle fait appel à l'ANVAR (136 000 € en prêt à taux zéro sur 3 ans) et au FUI (environ 250 000 € par an). A partir de 2010, l'entreprise sollicite et obtient trois RAPID pour un montant total de 642 000 €, ce qui lui assure un financement jusqu'en 2017.

Les subventions représentent 50% du chiffre d'affaire de la société qui s'établit à environ 700 000 € annuels.

Vaylon : TPE de 2 salariés

Financements : OSEO-DGA, DGA, conseil régional, individus privés

A l'image de Pragma, la société s'est initialement développée sur fonds propres, constitués par :

- la famille
- le prêt créateur-innovant (25 000 €) de la région Alsace
- le prêt d'honneur (40 000 €) en tant que lauréat du réseau « Entreprendre » (2011)
- étudiants ayant travaillé sur le projet
- son partenaire
- le directeur de l'innovation du pôle de la voiture du futur (en Alsace)

Au total, 120 000 € qui couvrent les premiers niveaux de TRL. Deux ans plus tard, la société reçoit l'aide d'OSEO et de la DGA (60 000 € chacun), qui lui permettent de passer du TRL 3 au TRL 5.

Stade 2 : développement de produits

Pragma Industries

La TPE propose désormais deux gammes de produits. Pour sa gamme militaire, Nexter Electronics **remboursa sur factures** le développement des groupes électrogènes. Les deux entreprises n'ont pas déposé de brevet mais se sont essentiellement réparties les droits d'exploitation commerciale : c'est Nexter qui commercialise en France et à l'export.

Sur le marché civil, la pile à combustible vendue est exactement la même que pour les militaires, seul le packaging est modifié. L'intégration de la pile sur les vélos électriques du groupe La Poste (projet BikeBerri) est payée à hauteur de **60 % par le conseil régional**

d'Aquitaine (montant de 200 000 €). Les 40 % restants sont partagés entre l'ensemble des partenaires : La Poste, Cycle Europe, Vantech, Aventa, Stelia Composites et Pragma.

Vodéa

Le financement des TRL supérieurs à 6 se fait essentiellement sur fonds propres et grâce aux marchés de commandes par les entreprises intégratrices, en particulier Dassault et bientôt probablement Sagem.

Carus

Le projet n'a pas encore atteint le stade du produit. Étant une preuve de concept technique, CARUS nécessite encore de la R&D, que ce soit pour répondre à un besoin militaire ou commercialiser un produit civil. Il lui faut également obtenir une certification de vol, qu'elle vienne de la DGAC ou de la DGA.

En parallèle de l'étude financée par l'AED, le LaBRI poursuit ses travaux (et ses relations) avec la DGA sur les essais de drones de surface et sous-marins avec des thèses financées par la DGA ou par le Conseil régional, toujours avec Fly-n-Sense et Thales et avec le soutien d'AETOS et de Bordeaux TechnoWest.

Vaylon

Le projet, au TRL 5, n'a pas encore atteint non plus le stade du produit. En recherche de partenaire, la start-up s'adresse à Tork Engineering, filiale de FAM automobiles (*Française d'assemblage et de montage automobiles*), un grand groupe⁶ basé en Alsace et spécialisé dans le développement des voitures très performantes à bas coût. Ils investissent plus de 200 000€ sur fonds propres. Mais Tork Engineering fait faillite au moment de se lancer dans la fabrication du véhicule. Poclair Véhicules rachète le groupe et ferme les activités de R&D.

Vaylon trouve alors un autre partenaire, Sera Ingénierie, et sollicite un prêt d'amorçage auprès du Conseil régional d'Alsace et d'OSEO, qu'il n'obtient pas. C'est la **DGA** qui apporte les

⁶ Racheté fin 2012 par Poclair.

plus de 100 000€ que le partenaire défaillant devait encore investir. Cette aide prit la forme d'une commande unique d'un prototype, alors que l'entreprise devait présenter un prototype civil (demandé par OSEO) et un prototype militaire.

Tout en travaillant sur un deuxième prototype, ils cherchent 1 million d'euros pour la phase d'industrialisation. La DGA participe via l'article 90 (aide à l'exportation), car la société suscite l'intérêt de nombreux pays. Et le fondateur recherche des fonds pour racheter son partenaire initial, Tork, désormais en vente, afin d'accéder à ses outils de production. Il s'adresse aux banques, à OSEO et à ses actionnaires.

A ces cas d'étude, il faut ajouter celui d'**Herakles**⁷, la filiale de Safran spécialisée dans les matériaux composites thermostucturaux. L'histoire de ces matériaux amène à découper le mode de financement en trois parties. Dans un premier temps, l'entreprise développe des matériaux pour le ministère de la Défense : son activité est financée par la DGA via des PEA (programmes études amont) et sur fonds propres, selon le montage classique pour de la recherche militaire. Puis, dans un deuxième temps, elle doit satisfaire une demande de redéveloppement pour répondre à des besoins civils, ce qui la conduit à mettre en place une action collective avec l'aide de la région Aquitaine. Le montage financier repose sur un FUI, un FP-7, un FEDER et l'ADEME, avec un fort soutien de la région Aquitaine. Il est décrit dans le point traitant spécifiquement du coût de redéveloppement (p.19). L'action collective cède en 2013 la place à l'IRT St Exupéry, qui structure les relations entre Herakles et les PME parties prenantes. Ce statut d'IRT lui permet de bénéficier du PIA (145 M€), auquel s'ajoutent d'autres sources de financement, pour un total de 327 M€ sur 2013-2019 :

- Conseil régional d'Aquitaine : 3 M€ (pour les projets aquitains)
- membres fondateurs : 152 M€, dont 10,6 M€ de Safran
- autofinancement : 37 M€ (contrats générés par l'institut)

Les PME et les universités parties prenantes de l'IRT participent soit pécuniairement, soit en y mettant à des moyens techniques ou humains.

Bilan comparé des modes de financement sur les 7 cas d'étude, 3 TPE, 2 essaimages, une ETI qui évolue en IRT et un projet collectif impliquant un grand

⁷ En toute rigueur, Herakles naît en 2012 de la fusion de deux filiales de Safran, Snecma Propulsion Solide et SNPE Matériaux Energétiques. Par commodité, nous garderons le nom d'Herakles pour parler des activités de la société sur les CMC pendant la période antérieure à 2012.

groupe et un laboratoire

Pour les TPE, les besoins en financement en phase initiale TRL ≤ 6 se chiffrent en centaines de milliers d'euros car les investissements à réaliser à ce stade sont limités. Il faut souligner que pour accéder à RAPID (et ASTRID), il faut des fonds propres à hauteur de 500 000 € à 600 000 € : les financements de business angels et de capitaux-risqueurs permettent de franchir la marche. Et comme le financement public ne couvre que 50 % des besoins, l'apport des capital-risqueurs est vraiment essentiel. Pragma industries et Vaylon ont recours à un patchwork de financements publics et privés dans cette première phase, avec une prédominance privée : ce sont les business angels qui l'apportent, tandis qu'OSEO complète au niveau national. Dans les entreprises de taille plus importante, comme chez Safran Defence & Security, les projets militaires subventionnés par des PEA ont un TRL allant de 4 à 6. Les sources extérieures à la Défense incluent l'ANR, la DGE, le FUI et d'autres ministères ou agences au niveau local et national. Les projets européens ne sont pas exclus mais la subvention plafonne à 10 % pour un groupe comme Lacroix⁸. Dans le cas des composites à matrice céramique (CMC), ce soutien européen a conduit à « civilianiser » des technologies en aidant à poursuivre des recherches à destination du monde civil.

Au-delà du TRL 6, la solution la plus simple pour une TPE est que le client paie le processus de développement, comme le fit Nexter Electronics pour les groupes électrogènes de Pragma. C'est aussi la voie choisie par Vodéa. Le passage à l'industrialisation nécessite ensuite des financements d'une autre envergure, et les TPE éprouvent souvent des difficultés à réunir l'argent. Vaylon pense racheter son partenaire initial, qui détient les moyens de production dont elle a besoin, à l'aide d'un prêt bancaire, les banques étant davantage disposées à financer l'industrialisation que l'innovation. Pragma n'a pas encore trouvé de solution satisfaisante. Pour ce qui est de Carus, on peut supposer que les difficultés liées à la phase d'industrialisation seront moins durement ressenties grâce à la présence de Thales, qui dispose des moyens nécessaires. Le conseil régional Aquitaine s'est fortement impliqué à diverses phases du projet et sous diverses formes, pour une participation globale estimée à environ 50 % du coût total du projet. L'avancement se fit en effet à vue, chaque partenaire (Fly-n-Sense, Thales, Région, LaBRI, DGA) contribuant à un moment ou à un autre du besoin,

8 Réglementairement, le programme H 2020 annonce une couverture de 100 % des coûts directs pour les universités et les organismes de R&T, et autant pour les industries et les PME pour les activités de R.&D. mais seulement 70% des coûts directs pour les activités proches du marché (<<http://www.horizon2020.gouv.fr/cid73301/la-foire-aux-questions-horizon-2020.html#taux-financement-projet>>).

et ce fonctionnement « par petites touches » engendra d'ailleurs une incertitude sur son aboutissement. La présence de Thales laisse entendre que les applications ou l'une des applications pourraient être reprises par ce grand groupe. Ce montage se révèle suffisant du fait de la nature collective du projet et du partage de la charge financière qui en découle.

Dans les cas étudiés, la région offre très souvent un financement venant en complément d'autres sources. Dans le cas du projet CMC, la région Aquitaine finance les laboratoires et les PME à hauteur de 45 % (et 50 % autres proviennent de Safran, soit une couverture totale de 95 %), Safran recevant une part moindre. La région participe au financement car le projet irrigue le réseau des TPE et des PME locales : encourager la recherche et le développement économique du tissu local est en effet très important dans ses critères d'attribution des crédits. D'ailleurs, la région Alsace a mis un terme à son soutien financier au projet de Vaylon quand cette TPE a remplacé son partenaire initial par une entreprise francilienne, poussant Vaylon à déménager en Île-de-France moins d'un an plus tard, en 2013.

Dans la phase intermédiaire entre la technologie et l'application, la DGA intervient avec le dispositif RAPID, dont c'est précisément l'objet. Son financement répond à sa mission consistant à assurer la sécurité d'approvisionnement en aidant à consolider financièrement des entreprises dont la situation financière est par nature fragile. Et en même temps, la DGA accompagne de fait une démarche de spin-in chez les TPE. La littérature confirme ce point lorsque des auteurs comme D. Mowery et N. Rosemberg (1990) affirment que sans R&D militaire, certaines recherches n'auraient jamais été financées faute de débouchés, alors même qu'elles ont conduit à des innovations majeures dans le militaire et dans le civil. On peut également considérer que la DGA accompagne concomitamment les spin-off puisque ses offres de financement sont saisies par des entreprises qui ne pensaient pas initialement trouver des applications militaires à leur produit mais qui, du fait de l'existence de cette offre de financement, saisissent cette opportunité pour compléter leur capital.

De manière générale, l'autofinancement privé est important pour au moins trois raisons :

- pour compléter le financement d'origine publique : celui-ci ne couvre jamais tout, même pour une application essentiellement militaire ;
- pour solliciter un dispositif public, un certain seuil de fonds propres est requis, ce qui contraint les start-up à lever des capitaux privés dans un premier temps ;
- pour des questions de confidentialité et de propriété intellectuelle.

Transferts d'un domaine à un autre, avec et sans redéveloppement : bilan

	Du civil vers le militaire	Du militaire vers le civil
<i>Sans redéveloppement</i>	Weeroc, Trust-in-Soft	Pragma, Vaylon
<i>Avec redéveloppement</i>	Vodéa	Herakles / IRT St Exupéry

Sans redéveloppement :

S'il s'agit d'un spin-off, les cas étudiés ne donnent pas lieu à un redéveloppement car la sur-spécification n'a pas de conséquences négatives. Au contraire, le fait de travailler pour les militaires est perçu par le marché et les investisseurs comme un gage de qualité et de légitimité, car les industries de défense sont internationalement reconnues, ce qui consolide l'entreprise sur son secteur (cas de Pragma, Vaylon et Trust-in-Soft).

Dans le cas d'un spin-in, on s'attendrait à devoir redévelopper pour répondre à une spécification supérieure, mais l'exemple de Weeroc montre que le niveau d'exigence peut être le même. Les exigences s'alignent en effet dans certains secteurs d'activité, comme dans l'aéronautique (François Chopard, Caroline Senzier). On peut aussi considérer que les différences résiduelles ne résultent pas nécessairement d'exigences de performances supérieures, et que le coût pour passer du civil au militaire serait un coût classique d'adaptation d'un segment de marché à un autre (François Chopard). Ces observations donnent à penser que la distinction établie par Stowsky (2004) entre innovation partagée (*shared*) et innovation spécifique (*shielded*) trouve ici tout son sens : les technologies ne nécessitant pas de redéveloppement (les circuits de Weeroc et le logiciel de Trust-in-Soft) sont des innovations partagées, tandis que les matériaux composites thermo structuraux de l'IRT et les logiciels de traitement numérique de Vodéa sont des innovations spécifiques.

Avec redéveloppement

Vodéa bénéficie d'une position de niche : la concurrence est faible et elle maîtrise le STANAG OTAN, qu'elle a contribué à faire adopter. De ce fait, elle parvient à faire payer le développement spécifique au client, qui peut être l'entreprise intégratrice (Dassault, Safran...) ou bien la DGA pour un TRL < 6. On peut décrire son business model comme consistant à chercher dans le civil les technologies numériques susceptibles d'intéresser le monde de la défense, puis de trouver un client prêt à payer les adaptations nécessaires (compression, connecteurs,...). Pour élargir son portefeuille clients et se diversifier du militaire, elle cherche désormais à pénétrer le marché aéronautique civil, mais se heurte à un différentiel de prix d'ordre dix.

Herakles est confrontée à la même situation de coûts mais, contrairement à Vodéa, l'entreprise a trouvé comment financer sa recherche pour abaisser les coûts de production et s'aligner ainsi sur les exigences du marché civil. L'adaptation de ses technologies au monde civil a mobilisé plusieurs niveaux institutionnels :

- la région : soutien aux thèses, aux PME et aux laboratoires partenaires, aux actions collectives ;
- les FUI (25 % max. pour les grands groupes) ;
- l'ADEME : mobilisé rarement et pour de petits montants ;
- les projets européens : le taux d'aide varie en fonction du niveau de TRL, et dans les faits, il représente environ 30 % au plus ;
- le FEDER (jugé trop compliqué).

Au total, ces aides ne constituent pas un montant important car l'autofinancement représente au moins 80 % du coût total (hors CIR).

Le CIR est à propos jugé très positivement, car il permet de réduire le coût total d'autofinancement. En particulier, les thèses CIFRE, qui permettent de bénéficier du CIR, sont considérées comme un bon moyen de faire financer une partie de la recherche.

A signaler, Herakles a pu également faire cofinancer un spin-off par le client, pour qui le coût n'était pas dimensionnant. Il y a environ dix ans, le CEA avait exprimé un besoin de matériaux thermorésistants et Herakles avait la solution, mais a dû adapter sa technologie en mettant les fibres à plat plutôt qu'à la verticale. Le demandeur cofinança le développement selon une répartition 50/50.

Bilan

Les modes de financement semblent varier en fonction de plusieurs facteurs :

- la nature de la technologie : le volume de financement nécessaire à son développement en dépend ;
- l'application recherchée, civile ou militaire, qui sera faite de la technologie ;
- la taille de l'entreprise, sachant que l'insertion de cette entreprise dans le processus d'innovation va dépendre de la nature de la technologie développée. La taille de l'entreprise joue également sur la « localité » des dispositifs ;
- l'intégration de l'entreprise dans un réseau d'innovation constitué d'acteurs publics locaux et d'entreprises de premier rang : une PME isolée va difficilement capter des financements, alors qu'une PME qui gravite dans un cluster civil va plutôt développer de la techno civile, et qu'une PME baignant dans un environnement où l'innovation civilo-militaire est importante sera fortement incitée à considérer le potentiel dual de sa technologie.

Les cas de spin-in ou de spin-off tiennent au fait que la nature de la technologie est duale par essence et que son application ne nécessite pas de redéveloppement lourd. Ils s'observent notamment chez les petites entreprises, car celles-ci n'ont simplement pas les moyens de développer une technologie trop complexe⁹.

Le débouché sur le marché civil ou sur le marché militaire va donc être une question d'opportunité – de financement et de rencontres – sachant que les entreprises vont naturellement se diriger vers le marché civil dont l'accès apparaît naturellement plus grand que le marché militaire, donc plus susceptible de rentabiliser rapidement les investissements consentis et faire du chiffre d'affaires.

Le spin-off est à la fois « naturel » et d'intérêt général (économique, environnement, défense si spin-in ultérieur), ce qui explique les co-financements publics d'origine différente.

2.2 Les normes et la dimension socio-culturelle

⁹ La notion de complexité ne doit pas s'entendre au sens de niveau technologique : les TPE étudiées développent des technologies non complexes d'un très haut niveau technologique puisqu'elles n'ont pas ou peu d'équivalents mondiaux.

Certains facteurs peuvent jouer un rôle aussi bien favorable que défavorable dans les spin-in et spin-offs. Les **normes**, si elles sont identiques dans les deux milieux, contribuent à la proximité de la demande et donc aux spin-in et spin-off. Si les écarts sont importants, elles constituent des freins. Ainsi, Vodéa eut l'habileté d'influencer indirectement la rédaction de la norme militaire la concernant, en convainquant d'abord Sagem, Zodiac et Dassault du bien-fondé de sa vision technologique. Le STANAG « NATO Motion Imagery (MI) STANAG 4609 (edition 3) Implementation Guide » vise à définir un standard réaliste d'enregistrement des métadonnées (notamment les données de géolocalisation) au-delà de la simple vidéo, et de compression vidéo. Vodéa est aujourd'hui la société de référence en France regardant cette norme.

Double développement pour Vaylon

Vaylon, pour sa part, avait anticipé les différences et devait développer deux prototypes. En effet, pour la partie vol, les militaires ont besoin d'un moteur puissant et d'une charge utile supérieure à ce qu'autorise la réglementation civile. Quant à la partie route, la DGA avait initialement demandé que le véhicule de Vaylon soit conforme à la réglementation en vigueur. Mais Vaylon perd son partenaire industriel après que ce dernier se fait racheter par Poclain Véhicules. Il devait prendre à sa charge les frais de développement des prototypes, soit 200 000 €, et n'avait eu le temps d'en investir que la moitié. Ce fut la DGA qui sauva le projet en passant commande à Vaylon d'un seul prototype, lequel « condense » les exigences maximales des deux domaines.

Ainsi, il se dégage deux options pour répondre à des exigences normatives différentes : soit financer le redéveloppement du produit sur les points différenciants, à condition de trouver l'argent nécessaire (le client paie, l'entreprise finance sur fonds propres ou se fait aider), soit opter à partir du TRL 6 pour un produit unique répondant aux doubles exigences. Cette deuxième option entraîna un surcoût initial, que la DGA avait sous-estimé, au point de revenir sur sa décision... mais trop tard car les développements étaient trop avancés pour modifier les spécifications.

Quant aux modèles vendus, la version civile aura son moteur bridé et présentera une sécurité supplémentaire puisque sa charge utile réelle sera supérieure à ce que les usagers auront le droit d'embarquer. Quant à la version militaire, le fait qu'elle respecte les normes en vigueur

sur les routes dégage la DGA du besoin de demander une dérogation : le surcoût se traduit par une facilité administrative.

Plus généralement, connaître la **culture** du secteur d'activité dans lequel on envisage de se diversifier est essentiel, au risque d'échouer, comme l'expérience du groupe Lacroix le rappelle. L'exemple de Vaylon est également intéressant car il présente une solution originale. Ces deux cas sont détaillés ci-après.

Echec de spin-off du groupe Lacroix vers le médical

ETI de 613 salariés

La société Ruggieri bénéficiait du soutien de la DGA pour faire monter en TRL sa technologie à l'oxygène chimique. En l'acquérant en 1997, le groupe Lacroix vit l'intérêt de cette technologie et décida de poursuivre l'effort *via* un marché en partenariat avec Air Liquide, avec une application à l'usage des pilotes de Mirage 2000 pour fabriquer instantanément de l'oxygène quand le pilote en a besoin en urgence. Une déclinaison civile fut envisagée dans le domaine médical à l'intention des primo-intervenants pour générer de l'oxygène rapidement, sur le modèle du défibrillateur. Ce projet de spin-off fut cependant abandonné à cause des investissements financiers à réaliser, de la durée des développements nécessaires, mais aussi des aspects réglementaires. Les faibles connaissances du groupe dans le secteur médical les ont très certainement conduits à surestimer l'opportunité de se lancer sur ce marché, et à sous-estimer les exigences d'homologation. Par ailleurs, l'étude défense était sous arbitrage Air Liquide (juge et partie car il proposait une solution gaz) et n'a pas été favorable à Lacroix, malgré une démonstration de pureté maximale et de rendement plus important que des concurrents américains. La technologie en est désormais à un TRL > 5, en attente de relance pour un produit aussi bien militaire que civil.

Dans ce cas, le coût de redéveloppement important pour une ETI, les normes civiles spécifiques, la moindre connaissance du milieu civil ont constitué autant de barrières à l'entrée.

Vodéa

Vodéa est créée en 2003 en vue de développer des équipements de traitement multimédia des

données essentiellement vidéo. La vision initiale est plutôt civile, avec des problématiques comme le passage des films argentiques aux films numériques, la généralisation des techniques numériques ou les besoins d'interopérabilité des journalistes. Si le marché civil est initialement visé, le premier client payant est Dassault, dont une partie des fondateurs de la société sont issus. Les enregistreurs vidéos d'origine Sony du Rafale fonctionnent avec des bandes magnétiques en technologie Hi-8, et doivent être remplacées par des numériques pour des raisons de performance, d'obsolescence et de système. Un deuxième client, civil, apparaît dans la même logique : il s'agit de Tisséo, la régie de transports urbains de Toulouse Métropole, ville où est basée la société. Le besoin concerne la vidéosurveillance de ce qui se passe sur le réseau, notamment au sein des bus. Il s'agit de migrer d'un système d'enregistrement analogique VHS vers du numérique.

Sur la base de ces premières expériences, d'autres clients sont approchés ou envisagés : les sociétés majeures du transport urbain ou ferroviaire, et le domaine médical. Mais la SNCF et la RATP se révèlent trop compliqués dans leur approche de la problématique de l'enregistrement de vidéosurveillance pour une TPE, et Vodéa ne se sent pas à l'aise dans le médical, par manque de contacts dans ce secteur. Depuis, la société tente une diversification vers l'aéronautique civile, car elle présente les mêmes caractéristiques techniques que le monde militaire : la proximité normative facilite la bascule, même si les solutions proposées par Vodéa sont trop chères par rapport aux exigences de ce marché.

Bilan des deux cas d'étude

L'exemple de Lacroix montre combien les aspects culturels et normatifs sont à prendre en compte pour pénétrer un nouveau marché, ce qui est conforme à la littérature (D. Foray, 1990 ; L. E. Heslop, 2001). Non-familiers des codes et des attentes du milieu médical, Lacroix n'a pas réussi à percer et a dû renoncer à son spin-off. Vodéa, jeune entreprise issue du milieu de l'informatique et de l'électronique embarquée militaire, réussit à communiquer avec le réseau de transport en commun de sa ville d'implantation, Toulouse, mais s'est heurtée à des difficultés insurmontables lorsqu'elle a cherché à s'étendre sur ce secteur en s'adressant à des entreprises de très grande taille (SNCF, RATP). De manière générale, comme le souligne Franck Lepecq, chargé de mission auprès des PME d'Aquitaine et de Midi-Pyrénées pour le pôle Aerospace Valley, une entreprise qui ambitionne d'élargir son périmètre d'activité ou son segment de marché doit savoir parler à ces nouveaux clients pour les convaincre d'adopter

ses produits. C'est là que la dimension culturelle peut être un frein ou une facilité.

L'aspect **socio-culturel** joue également un rôle au plan interne à l'entreprise. En effet, une entreprise duale aura plus de facilités qu'une entreprise mono-secteur à penser que sa technologie peut trouver une application dans l'autre domaine d'activité. La double activité du groupe Lacroix ou de Thales, par exemple, leur permet de penser assez tôt dans leur processus de R&D (TRL 3 pour Thales et 5-6 pour Lacroix) aux possibilités de débouchés dans les deux domaines, alors que dans la plupart des cas d'étude rencontrés, les TPE n'ont pensé à l'autre versant (généralement le militaire) qu'au fil des rencontres et des discussions avec des acteurs appartenant à ce milieu. Une explication peut être qu'il faut connaître le domaine militaire pour penser que sa technologie peut y trouver sa place ; or, peu d'individus sont en général suffisamment familiers du milieu militaire pour d'une part y penser, et d'autre part imaginer une application possible. Jean-Marc Grolleau, animateur du cluster AETOS, atteste que très peu de PME pensent au secteur militaire en cours de conception. Ce constat est corroboré par François Chopard, qui a pu observer que les start-up qu'il soutient raisonnent en termes de marché civil et n'imaginent pas d'application militaire... à l'exception d'une seule, dont le fondateur est réserviste (Voox). Parmi nos cas d'étude, seuls Weeroc et Trust-in-Soft y ont pensé dès le départ et parce que ces start-up sont issus de laboratoires qui vendaient déjà à des clients militaires : ils connaissaient donc l'existence d'un marché militaire. Autrement, très peu d'entrepreneurs se lancent en visant le marché militaire ; celui-ci émerge grâce à des prises de contact (François Chopard).

Cela soulève un dernier point : le **coût du redéveloppement**. L'adaptation peut être financée par le client lui-même (le CEA a financé Herakles car le coût n'était pas dimensionnant pour elle), ou l'entreprise peut faire appel à divers financements extérieurs. Cependant, le volume des investissements à réaliser peut représenter aux yeux d'une TPE un frein puissant pour changer ou étendre son domaine d'application. Vodéa, par exemple, n'a pas encore résolu cette question et reste principalement sur le marché militaire¹⁰. Vaylon a trouvé une issue par le haut, en ne finançant qu'un seul produit car au final le surcoût constitue pour partie un avantage (pas de dérogation pour la DGA, gage de (sur-)qualité pour le civil). En outre, plusieurs acteurs ont constaté que passer du militaire au secteur civil contraint à diminuer les coûts. Herakles y voit à la fois une contrainte (en spin-off) et une opportunité (en spin-in), car

10 A noter que l'infrarouge refroidi, contrairement au non refroidi, reste principalement d'usage militaire précisément parce que son coût est trop important pour avoir une application civile.

ces ingénieurs sont convaincus que la réduction des coûts bénéficiera ensuite au secteur militaire. Sans doute faut-il y voir une évolution récente : Dominique Foray (1990) affirmait que le militaire est surtout porté sur les innovations de produits, et le civil sur les innovations de procédés, car ce dernier cherche à réduire les coûts et rationaliser la production, alors que le militaire ne partage pas ces attentes. Cela traduit certainement une préoccupation grandissante du milieu militaire afin de réduire les coûts alors que les séries de matériels deviennent de moins en moins nombreuses du fait d'une augmentation de ces matériels supérieure à celle des disponibilités financières.

IRT ST Exupéry : les composants à matrice céramique (CMC)

Ce projet est porté par les pouvoirs publics puisque les IRT ont été créés dans le cadre des PIA. L'IRT St Exupéry va abriter le projet CMC, qui vise à pouvoir développer des composants thermo structuraux à matrice céramique pour les moteurs civils d'avion. Son positionnement est entre les TRL 3 et 6.

Les composants thermo structuraux sont issus de recherches militaires dédiées à la dissuasion nucléaire, une activité qui eut des retombées dans le spatial. Certaines applications furent également trouvées dans l'automobile. L'application dans l'aéronautique civile est arrivée ensuite pour répondre au besoin naissant d'obtenir des températures plus élevées afin d'accroître la rentabilité des moteurs et réduire les émissions de carbone : c'est une **application d'opportunité**. Ces travaux sur l'arrière-corps des moteurs d'avions civils type CFM-56 (projet ARCOCE) furent complétés par d'autres projets comme REBECA, portant sur les aspects acoustiques. Les résultats donnèrent lieu notamment à un prototype de cône d'éjection en CMC dont les essais en vol sur un Airbus A320 ont constitué en 2012 une première mondiale. Des appareils de ce type en sont aujourd'hui déjà équipés.

Mais la pénétration du marché civil exige de développer un *process* de production moins coûteux et plus écologique (gain en bilan énergétique). En effet, les moteurs d'avions militaires sont peu nombreux et chers, alors que le monde civil a besoin de produire en masse des objets peu chers, et que le coût du matériau représente 40 % du coût d'une pièce de structure. De plus, l'aéronautique civile exige une grande durée de vie, ce qui n'était pas le cas des applications dans le domaine militaire : les missiles n'ont pas servi et s'ils servaient, ne voleraient pas longtemps, de même que le moteur des fusées spatiales ne fonctionne pas plus de deux minutes. Cela est sans comparaison avec la durée de vie et de fonctionnement des

avions civils. Le coût d'adaptation porte ici sur les procédés de fabrication : accroître les cadences pour faire de la grande série et obtenir des pièces toutes identiques.

Par conséquent, la recherche doit être reprise à un niveau de TRL inférieur, car si les concepts théoriques sont validés, les procédés, coûts, cadences et supply-chain ne sont pas compatibles avec les exigences de l'aéronautique civile. On est sur du **redéveloppement** de technologie militaire utilisée depuis quinze ans.

Les ingénieurs consacrent donc désormais une partie de leurs travaux à répondre à des besoins civils. Ils estiment qu'ils bénéficieront au monde militaire, par exemple sur les moteurs du Tigre – et du moteur du M88-3 du Rafale s'il voit le jour.

Stade 1 : Financement sur TRL≤6

Le travail confié à l'IRT St Exupéry consiste à faire du redéveloppement entre TRL 3 et 6 de manière à pouvoir par la suite développer des produits civils moins onéreux. On peut penser que toutes les entreprises qui cotisent au projet profiteront du redéveloppement. Il est encore trop tôt pour étudier le financement du redéveloppement des travaux de l'IRT, mais on peut déjà évoquer le cas d'Herakles peu avant la création de l'IRT.

Le projet ARCOCE (TRL 3 à 5) donna lieu à une action collective entre Herakles et des PME locales, initiée en 2008 sous l'impulsion de la région Aquitaine. A chaque étape de l'avancement du projet, la région apporta la plus grande partie de l'argent nécessaire, sous forme de soutien aux PME impliquées dans l'action collective (1,1 M€ au total) et de co-financement de thèses. Au total, les PME furent financées à 95 % : 45 % par le conseil régional, et 50 % par Safran. Herakles, pour sa part, s'est auto-financé à au moins 80 % (hors CIR), ce qui a l'avantage de conserver le contrôle sur la propriété intellectuelle. Un complément de financement est venu d'un FUI puis de l'Europe (FP-7), à hauteur respectivement de 25 % et de 40 %. L'ADEME contribua également à faible hauteur et un FEDER fut sollicité mais, jugé trop compliqué, fut abandonné par la suite.

En somme, le programme de travail fut divisé en plusieurs projets, chacun financé selon un montage propre. La plus grande partie du soutien financier fut apporté par la région Aquitaine et bénéficia aux PME, tandis qu'Herakles obtint un petit complément du niveau national (essentiellement par le FUI) et européen (FP-7).

Stade 2 : Financement sur TRL ≥ 6

On peut penser que ce sont les entreprises qui prendront en charge le développement des produits une fois le procédé de fabrication moins onéreux mis au point. D'ailleurs, les grandes entreprises disent avoir peu de subventions pour les TRL > 6 dans le militaire. Leurs aides couvrent surtout du TRL 4 au TRL 6.

3. ANALYSE DES ACTEURS

3.1 Les difficultés de financement des TPE

Les TPE ont exprimé des difficultés liées à leur taille, et les comparaisons effectuées avec les entreprises de taille supérieure tendent à confirmer l'existence de spécificités quant aux modes de financement (cf. point précédent).

De manière générale, elles estiment complexe de répondre seules à des **appels d'offre** émanant du **ministère de la Défense et de l'AED**. Administrativement, c'est une charge de travail qui les détourne des activités purement techniques et industrielles, qui sont le cœur de leurs activités. Et entre le lancement de l'appel d'offres et le démarrage du projet, il s'écoule presque deux ans, ce qui est trop long. Il est également très difficile pour une petite société de savoir à qui s'adresser. En outre, au niveau national, leur capacité financière ne leur permet pas toujours de remplir les critères d'éligibilité des appels d'offre. Enfin, trouver un partenaire à l'étranger est compliqué pour une TPE. Cette obligation peut même peser lourd sur l'issue du dossier : Vaylon avait ainsi rejoint un consortium mené par l'ONERA, mais en a été exclue au dernier moment au profit d'une société grecque. Une exception est notable : l'échelon européen, avec l'Agence européenne de défense (AED), s'est révélé pour CARUS un moyen de financement complémentaire opportun.

Les seules TPE parmi les cas d'étude rencontrés qui se montraient à l'aise avec ces procédures sont celles fondées par d'anciens chercheurs de laboratoires publics, et qui ont de ce fait l'habitude de ces dossiers et de monter des équipes nationales et internationales (Weeroc et Trust-in-Soft). Et puisque leur technologie est issue de laboratoires universitaires, elles ne doivent financer que ce qui leur manque en R&T. D'après François Chopard, dans le domaine aéronautique, ces start-up pratiquent un peu l'autofinancement et utilisent surtout le CIR ou le CORAC (entité 50/50 entre GIFAS et DGAC), dont l'aide couvre 50 % du projet de recherche.

La DGA s'est organisée depuis 2012 avec une nouvelle logique d'orientation pour ses contrats d'études : il existe désormais quatorze agrégats de milieux à finalité applicative dont par exemple aéronautique de combat, missiles et bombes, combat naval, etc., un agrégat transverse pour les composants et un agrégat soutien à l'innovation finançant les subventions telles que les thèses, ASTRID et RAPID. La raréfaction des crédits d'études rend toutefois l'approche par RAPID ou contrats d'étude (ex-PEA) très difficile en termes d'accès ou de compréhension pour les entreprises : les équipements sont-ils spécifiques d'un agrégat de

milieu ou doivent-ils passer pour certains par l'agrégat « compétences transverses », sachant qu'on peut faire aussi une montée en TRL via des subventions RAPID ? Pour l'aider dans ce choix et garantir autant que possible ses chances de succès, Vodéa juge capital le dialogue technique de terrain avec la DGA et ne présente pas de dossier si, dans les discussions préalables, elle n'a pas senti que les chances de gagner seront bonnes ; ceci est parfaitement logique pour une TPE.

Plusieurs TPE et le cluster AETOS se sont montrés satisfaits des dispositifs d'aide à l'innovation existants (CIR, DGA, UE, appels à projet, etc.), tout en regrettant **l'absence de dispositif public pour financer l'industrialisation**. L'ANR est présente au stade amont et le FUI jusqu'au prototypage, ainsi que les dispositifs ASTRID et RAPID dans le domaine militaire, mais l'accompagnement disparaît pour les hauts TRL. Vaylon recourt à un emprunt bancaire, une option fermée à Pragma Industries car cette dernière doit au préalable finaliser le développement de son outil industriel spécifique (au moins 12 à 18 mois de travail), alors que les outils de production de Vaylon sont des standards dans le monde de l'automobile. En outre, Pragma est une entreprise tout juste à l'équilibre financier, ses machines seront une première mondiale, et l'existence d'un marché de la pile à combustible n'est à l'heure actuelle que suspecté. Quant aux capitaux-risqueurs, leur incapacité à jauger le risque sur ce marché des piles à combustible les rend frileux. Le crowdfunding fut mentionné au cours des entretiens, mais le montant qu'il faudrait lever (20 à 100 millions d'euros) rend sceptique sur sa pertinence. Par conséquent, il semble que les dispositifs publics se situent plutôt en amont, comblant un vide laissé par les banques, lesquelles préfèrent se désengager de la phase d'innovation pour intervenir vers le TRL 8, au moment de l'industrialisation, si la start-up parvient à offrir suffisamment de garanties.

Faute d'appuis publics, un groupe de PME appartenant au cluster Aerospace Valley a fondé en juin 2015 une SAS dont elles sont actionnaires, Business Success Initiative (BSI), pour faciliter le passage à la phase de commercialisation. Comme l'explique le communiqué de presse, « L'innovation des PME est financée par différents dispositifs européens, nationaux et régionaux (FUI, PSPC,...). En revanche, la recherche de financement dans la phase de business et développement est lourde et complexe »¹¹. La BSI se veut être un soutien dans la durée et non ponctuel, comme le sont la plupart des dispositifs d'aide, et vise entre autres choses à participer à la montée en compétences des PME dans une grande variété de domaines

11 « Communiqué de presse - Lancement de Business Success initiative (BSI): Un projet des PME d'Aerospace Valley pour faciliter l'accès aux marchés », 16 juin 2015 http://www.aerospace-valley.com/sites/default/files/documents/news/cp_lancement_de_la_bsi_16_juin_2015.pdf

(marketing stratégique, management de projets, propriété intellectuelle, processus commercial, organisation de la chaîne industrielle, etc.). En effet, à ce stade-là, des PME ont souvent davantage besoin de moyens humains et techniques que précédemment. François Chopard observe par ailleurs que c'est lorsque les PME commencent le processus de commercialisation, donc à partir du TRL 5 ou 6, que les besoins en financement et en compétences deviennent très importants : elles doivent développer un prototype et intégrer leur technologie dans un produit plus large, acheter des outils de production, développer une force commerciale. L'aide ne porte donc pas tant sur la mise au point de la technologie, étape déjà achevée pour les start-up les plus orientées « technologie », mais sur l'aide au développement. Un tel appui permettrait par ailleurs de limiter l'influence des business angels étrangers dans ce domaine et le rachat de ces PME « prometteuses » par des entreprises étrangères.

Ces difficultés financières auxquelles se heurtent les start-up s'expliquent par le fait que les TPE sont plus dépendantes des dispositifs de financement (publics et privés) que les ETI et les grands groupes, qui recourent beaucoup aux fonds propres pour financer leur R&D (90 % pour Lacroix et au moins autant pour Le Joint Français, une ETI de 470 salariés).

3.2 Perception du marché militaire et positionnement des TPE

Du fait que le marché militaire est restreint, il n'est généralement pas prioritaire pour des TPE/PME. Dans le domaine des UAV, par exemple, très peu de PME visent en premier lieu le marché militaire. La plupart de celles qui le font s'allient avec les Américains ou les Israéliens (Marc Grolleau). Airborne Concept est une exception : fondée par des ex-forces spéciales, elle propose à ses anciens collègues un drone aéro-largable à voilure fixe. Pour autant, la société vit essentiellement de la formation de pilotes de drones. Pour compenser la petite taille du marché, s'allier avec une grande entreprise étrangère est un moyen pour ces PME de partager les frais de développement tout en s'assurant d'être leur point de contact en Europe et d'avoir le lieu de production en France. De leur côté, ces firmes étrangères y voient un moyen de pénétrer le marché français et européen. Cependant, l'offre désormais large dans le civil engendre une concurrence rude, analyse Grolleau du cluster AETOS, et la réduction du marché par acteur devrait à terme inciter les PME dronistes à s'ouvrir au militaire.

Dans l'ensemble, le marché militaire est donc plutôt envisagé comme un marché secondaire.

Bic s'était impliqué dans le programme FELIN car il y voyait un marché d'opportunité où il pouvait décliner son concept de cartouche rechargeable pour les batteries du fantassin. L'aide financière sous forme de PEA facilitait le développement d'une réponse technologique au besoin militaire, et ce positionnement lui permettait d'envisager de possibles spin-off. Certaines grandes entreprises donnent à penser que, comme Bic, elles répondent au besoin militaire tout en cherchant à rentabiliser leurs investissements *via* des spin-off, en compensation de la petite échelle du marché militaire. La proximité de la demande entre les deux secteurs y contribue, tandis que les financements de la DGA permettent de conserver une attraction auprès des entreprises.

Grâce à ce dispositif de financement complémentaire des dispositifs civils, le militaire constitue un **marché de soutien à la technologie**, explique Chopard. Dès lors, même si le marché militaire n'est pas le marché principal de la start-up, elle va l'envisager comme tel pour obtenir l'argent qui lui manque pour financer la maturité de sa technologie. Par la suite, l'entreprise est libre de se positionner sur les deux marchés ou de revenir à son marché initial.

Chez Vaylon, par exemple, le marché militaire n'était initialement pas envisagé : c'est l'opportunité de financement par la DGA qui l'amène à considérer ce marché. Vaylon lui doit non seulement le lancement du projet de recherche, mais aussi la phase de prototypage et d'essai, car le civil ne finance pas cela. Se tourner vers le militaire fut donc **stratégique à ce stade de son développement**.

Par la suite, pour les entreprises avec une forte implantation sur le marché militaire, ce dernier devient **prescripteur** : si l'armée française achète, l'entreprise peut exporter. La dépendance envers le marché militaire se retrouve jusque dans le chiffre d'affaires, car même si le militaire est un petit marché, paradoxalement il représente une part importante du CA des start-up (cas de Pragma Industries).

Par conséquent, le marché militaire est soit très attractif pour une petite partie des entreprises, qui viennent à en dépendre, soit secondaire et « d'appoint » pour la plupart des autres. De ce fait, le marché civil est privilégié, d'autant quand il est disposé à payer la R&D nécessaire. Herakles estime toutefois préférable en ce qui le concerne de « marcher sur deux jambes » : les investissements vont aujourd'hui massivement à la R&T pour l'aéronautique civile et le civil prédomine sur certains segments, mais le marché militaire lui rapporte quand même davantage que celui de l'automobile. On peut dire qu'elle pratique une dualité d'opportunité.

Quand très peu de PME pensent au militaire en cours de conception et n'y voient bien souvent qu'un marché secondaire voire d'opportunité, tandis que le ministère mise sur ces entreprises pour apporter les innovations au marché militaire, il apparaît judicieux pour l'État de réfléchir à comment encourager plus d'entreprises à penser à la défense, et de tenir compte d'éventuels coûts de redéveloppement, quitte à les financer, comme c'est le cas avec Vodéa. Ce cas est d'ailleurs intéressant car il est finalement capable d'appliquer la logique défendue par Bill Clinton en son temps avec les dividendes de la paix, avec toutefois des financements spécifiques défense.

3.3 Rôle pivot de la DGA

La DGA se positionne cependant en complément de l'action civile, qu'elle soit publique ou privée. Pour octroyer un RAPID, la PME doit démontrer que le débouché civil est *certain* mais qu'il y a seulement un intérêt pour la défense, une *possibilité* de rentabiliser la technologie sur le marché militaire à une échéance indéterminée. L'État ne souhaite en effet prendre de risque que pour inciter la PME à poursuivre sur cette voie en l'absence d'implication du secteur privé.

Et comme le marché civil n'est pas assez fort pour maintenir l'entreprise en activité une fois qu'elle est parvenue au stade de la commercialisation, la DGA a mis en place à l'automne 2015 un club RAPID où les ex-lauréats montrent leurs compétences devant des entreprises civiles et militaires invitées, et sont orientées vers des partenaires (conseils régionaux, CCI, etc.) qui les aident à accéder au marché et à se développer (gestion des compétences, exportation, finances,...). L'aide apportée n'est donc plus financière, mais de l'ordre de la mise en réseau.

Aux yeux de la DGA, ce n'est pas tant le domaine d'application qui compte pour déterminer si l'entreprise doit être aidée que les compétences qu'elle possède. Et celles-ci, analyse Benoît Frédefond (Directe), ne sont ni civiles ni militaires, même si les marchés le sont. De la sorte, si les compétences sont « neutres », n'importe quel organisme ou acteur peut financer leur développement. La DGA ne se perçoit donc que comme un dispositif d'appoint, qui ne finance que ce qui potentiellement aide l'état de l'art maîtrisé par la DGA, c'est-à-dire répond à une contrainte forte dans le militaire et fait gagner un système d'arme en performance, et qui ne bénéficie pas d'un soutien privé ou public civil.

Quelques PME soulignent le **besoin de se voir reconnaître par la DGA** pour voir s'ouvrir le marché militaire. Grâce à ses relations anciennes, Trust-in-Soft négocie un RAPID le mois suivant sa création, tandis que Vaylon, qui n'a pas cet accès direct ni cette antériorité dans les relations, doit trouver d'autres sources de financement. Vodéa exprime ainsi sa confiance en l'avenir (l'aéronautique militaire représente 70 % de son CA) depuis que la DGA la compte parmi les entreprises à préserver : la TPE a ainsi bénéficié depuis 2010 de trois RAPID dont deux comme chef de file, et de contrats d'achats DGA/EV et MI. À l'inverse, la société Tecknisolar¹², un laboratoire de recherche basé à St Malo spécialisé dans le traitement du signal et les énergies renouvelables, a beaucoup de difficultés à convaincre la DGA et se tourne de plus en plus vers l'export et le marché de la sécurité. Les premiers résultats tendent donc à montrer que pour une entreprise qui débute, être identifié et reconnu par la DGA est un préalable indispensable pour entrer et rester sur le marché militaire. Or, la qualité technique des produits n'est pas le seul critère pour y parvenir : la DGA établit en effet une sélection des entreprises en fonction de leurs compétences, du besoin estimé des forces pour ces compétences et de la rareté de la source d'approvisionnement sur le marché à l'échelle européenne. Ainsi, une entreprise repérée au niveau régional pourra ne pas être retenue par la DGA si cette dernière estime qu'une autre entreprise, plus intéressante à d'autres égards, possède également ces mêmes compétences. L'entreprise n'ayant pas accès à ces analyses ne sera pas en mesure d'orienter ses recherches dans une direction davantage valorisée par la DGA – indépendamment de la valeur perçue par les usagers directs – et court le risque de disparaître ou, comme Tecknisolar, de **se tourner principalement vers l'export**.

C'est le cas de Trust-in-Soft, dont la moitié du chiffre d'affaires est réalisé aux États-Unis, où sa part de marché ne cesse de croître depuis sa création en mai 2013. Vodéa mise également sur l'export pour son développement, grâce notamment à sa maîtrise du STANAG 4069, et a des ambitions notamment sur l'Inde et le Japon – un dossier en article 90 est en cours avec la DGA. Au final, l'export est un élément essentiel du développement de nombreuses TPE (Pragma, Weeroc, Vaylon, Vodéa, Trust-in-Soft).

L'attrait de l'étranger ne réside pas uniquement dans sa capacité à contribuer au développement de l'entreprise, il est aussi perçu comme une **source de financements** pour

12 Créée en 1992, l'entreprise dépose puis revend des brevets sur des innovations, qu'elle finance exclusivement sur fonds propres. L'entreprise a ainsi développé un bracelet anti-requins, un détecteur de pluie intégré au pare-brise des voitures, ou encore un drone maritime autonome. Elle travaille actuellement sur des textiles intelligents capables de détecter l'apnée du sommeil ou éloigner les moustiques (<http://www.decideursenregion.fr/Bretagne-Pays-de-Loire/Innover-En-Region/entreprises/technologies/Les-brevets-malins-des-Malouins-de-Tecknisolar>).

ceux qui ne parviennent pas à lever suffisamment de capital sur le territoire national. Pragma se vit inviter à s'installer en Californie en échange de financements substantiels mais reste en France par patriotisme économique, tandis que Vaylon s'est vu recommander par le cabinet du ministre de s'adresser à des financeurs émiratis, chinois et américains.

Pour une grande entreprise, l'export peut être au contraire une option limitée. Sagem souligne que la demande de la DGA et des états-majors d'avoir un produit très performant limite les possibilités de l'exporter du fait même qu'il est très sophistiqué – et souvent cher. L'entreprise cite à l'appui le système FELIN : seuls certains accessoires intégrés et les jumelles ont pu être vendus à l'export.

3.4 Rôle de l'État et des régions

Le **rôle des institutions publiques** est souligné par Haider et Melman (1974). L'IRT St-Exupéry n'aurait en effet pas pu voir le jour sans le rôle moteur de **l'État**, ni n'aurait pris cette forme sans la demande de la DGA d'assurer la pérennité des sous-traitants de la filiale de Safran. L'État fut fortement présent à tous les stades : recherche par le biais des études amont de la DGA ; co-financement des projets de recherche ; soutien au développement des PME ; rapprochement entre PME, universités et grands groupes.

Dans CARUS, la puissance publique s'est manifestée à des moments précis : le lancement du projet européen ASIMUT représente pour Fly-n-Sense, Thales et le LaBRI le chaînon dont ils avaient besoin pour poursuivre leurs travaux, et l'on ne peut que supposer le rôle clé joué par la DGA pour apporter au trio le financement nécessaire à la poursuite d'un projet qui, sans cela, aurait pu entrer en sommeil.

Les **régions**, pour leur part, s'investissent diversement selon les lieux. **La région Aquitaine** a fait du développement technologique et économique une priorité, et cela s'observe dans le soutien dans la durée qu'elle apporte aux projets technologiques initiés chez elle, et ce des niveaux de TRL les plus bas jusqu'à la phase d'industrialisation.

D'autres régions sont plus réservées, ou plus modérées dans leur soutien aux projets militaires (sentiment de **Vodéa** pour **la région Midi Pyrénées** bien que cette entreprise soit membre de l'incubateur Midi Pyrénées dans le domaine de l'électronique et des Telecom).

Pour ce qui est de **Vaylon, la région Alsace** apparaît en creux mais pas de manière ciblée : Vaylon est membre de Semia, l'incubateur créé et financé par le conseil régional d'Alsace, pas du fait de la dualité de ses produits mais uniquement du fait que l'entreprise est considérée comme ayant un caractère innovant. Ils reçoivent de ce fait 25 000 € de prêt pour caractère innovant de la part du conseil régional.

Enfin, dans le cas de **Weeroc** qui est hébergé par Incub'Alliance, incubateur de Paris-Saclay, le fait qu'elle soit adossée laboratoire OMEGA rattaché au CNRS (IN2P3, Institut national de Physique Nucléaire et de Physique des Particules) simplifie grandement la tâche de l'entreprise. Une partie de la recherche fondamentale est payée par les crédits d'État et Weeroc peut s'appuyer sur les structures du laboratoire pour élaborer les dossiers de financement en direction de l'ANR ou pour des crédits européens comme H 2020. L'entreprise ne ressent donc pas le besoin de se tourner vers **la région Île de France**.

L'appui des régions n'est pas seulement financier. Elles peuvent agir, comme le fait **la région Aquitaine**, comme un intermédiaire, mettant en relation les entreprises entre elles et avec d'autres institutions (la CCI, la DGA, l'ADI en Aquitaine, la Direccte, les clusters...) à même de donner aux entreprises les moyens de se développer.

À cet égard, la création du cluster AETOS témoigne des bonnes relations entretenues entre Alain Rousset (Région Aquitaine) et Pierre-Eric Pomellet (Thales), et du souhait d'agir conjointement en faveur du tissu économique local.

Au total, un certain nombre d'enseignements peuvent être tirés de l'étude du rôle des régions dans le processus d'innovation des technologies critiques et sur les phénomènes de spin in et de spin off.

En premier lieu, il n'y a pas de politique commune de la part des régions en matière de soutien à l'activité industrielle et à l'innovation. Chacune définit sa politique en fonction des particularités du tissu industriel local et de son potentiel d'attractivité en matière d'emploi. Si **la région Aquitaine** est particulièrement présente dans le domaine militaire, c'est parce qu'il existe trois grands donneurs d'ordre au niveau local, Dassault, Thales et Safran et que le secteur aéronautique, spatial et défense y représente à lui seul 38 000 emplois, 4 Mds d'euros de chiffre d'affaires et 700 entreprises¹³. C'est une activité à l'échelle nationale puisque ces trois grandes entreprises sont des fournisseurs importants du ministère de la défense et dont l'implication locale est forte en matière d'emplois. Ce que vise

13 Feuille de route aéronautique, spatial, défense 2015-2017, Conseil régional d'Aquitaine, séance plénière du 16 mars 2015

la région Aquitaine dans sa politique d'accompagnement au niveau local « c'est la consolidation de la chaîne de sous-traitance Aquitaine autour d'entreprises performantes et maîtrisant les technologies d'avenir de la filière ASD afin de positionner l'Aquitaine sur les marchés en croissance »¹⁴. De ce fait, la région Aquitaine consacre chaque année environ 20 M€ à cette filière (dont plus du tiers de cet accompagnement est orienté vers la R&D et l'innovation). Cela se fait en coordination avec l'échelon national : l'action de la région Aquitaine en matière d'aide à l'innovation s'inscrit en coordination avec les plans de recherche comme le CORAC (Conseil pour la Recherche aéronautique civile), mis en place en 2008 afin de soutenir une démarche collaborative associant tous les acteurs de la filière à travers une feuille de route de la recherche aéronautique basée sur le déploiement de démonstrateurs technologiques financés dans le cadre du PIA (Avion Composite, Cockpit du Futur, Propulsion...) et le CoSpace (Comité de Concertation État-Industrie sur l'Espace).

Il est intéressant de comparer l'action de la **région Midi Pyrénées** à celui de **la région Aquitaine** car c'est dans ces deux régions que sont implantées les entreprises qui font partie du pôle de compétitivité Aerospace Valley. Au sein de ce pôle aéronautique, on voit se dégager une forme de répartition des tâches où la région Aquitaine va spécialiser son aide sur les entreprises duales, car l'activité militaire est importante en région Aquitaine avec 21 000 emplois liés à cette activité, alors que la région Midi Pyrénées va mettre l'accent sur l'aéronautique civile et l'espace, Airbus ayant désormais son siège social à Toulouse. L'orientation de la région Aquitaine sur l'industrie de défense est d'ailleurs symbolisée par le partenariat région Aquitaine-DGA signé en 2010, sachant que celui-ci a bien pour objet de développer l'industrie duale et non l'industrie de défense proprement dite.

Les orientations en matière d'aide à l'industrie de la région Aquitaine sont par ailleurs synthétisées dans le rapport annuel de l'agence Aquitaine Développement Innovation (ADI), dont l'objectif principal est d'accompagner des projets d'innovation ou d'amélioration de la compétitivité, sous la forme d'actions individuelles ou collectives et l'aéronautique et la défense y tiennent une bonne place¹⁵.

La région midi Pyrénées, pour sa part, met donc l'accent sur l'industrie aéronautique qui représente 53 000 emplois salariés, 840 établissements et 5,6 milliards d'euros de chiffre d'affaire. Le plan Ader III 2011-2014 de soutien à l'industrie aéronautique régionale est

14 Feuille de route aéronautique, spatial, défense 2015-2017, Conseil régional d'Aquitaine, séance plénière du 16 mars 2015

15 Aquitaine développement Innovation, rapport d'activité 2014.

d'ailleurs doté de 130 millions d'euros. En revanche l'application militaire intéresse moins la région Midi Pyrénées, comme on l'a vu avec Vodéa. Quand la région Midi Pyrénées finance le projet IRT St Exupéry, c'est bien également parce que sa finalité est civile et non militaire et ce bien que la technologie qui doit être redéveloppée soit d'origine militaire.

La région Midi-Pyrénées est très impliquée dans le pôle de compétitivité Aerospace Valley qui est axé aéronautique, espace et systèmes embarqués avec les financements du type Aerosat. Ainsi, l'appel à projet EASYNOV aéronautique pour 2016 a été lancé.

L'objectif d'EASYNOV aéronautique « est d'accompagner l'ensemble des initiatives technologiques de l'aéronautique, de la construction de satellites et des applications systèmes utilisant les technologies ou les données spatiale, qui répondent à des enjeux stratégiques et industriels majeurs pour le développement du tissu économique régional ».

Les projets accompagnés dans le cadre d'EASYNOV seront de type collaboratif, portés par des PME ou Entreprises de Tailles Intermédiaires, avec des partenaires entreprises et laboratoires régionaux.

Ces appels à projets bénéficieront de financement eux aussi collaboratifs associant les trois niveaux administratifs :

- L'union européenne à hauteur de 1M€ ans le cadre du programme opérationnel 2014-2020 Midi-Pyrénées Baronne au titre de l'axe 1
- La région à hauteur de 1 M€.
- L'État.

Parfois, l'aide sans être ciblée peut avoir un effet sur le développement d'une application militaire. Ainsi la région Midi Pyrénées subventionne le cluster *Water Sensor and Membrane* qui envisage de déposer un projet RAPID auprès de la DGA, mais cette orientation dans le domaine militaire n'avait pas été envisagée à l'origine. De même, si Vaylon a bien été aidé par la région Alsace, c'est du fait de son caractère innovant et non pour la possibilité de voir cette entreprise vendre son véhicule volant aux forces spéciales.

La région Alsace a en effet ciblé d'autres domaines que la défense en matière d'innovation à savoir l'économie verte, la santé, le bien-être et l'humanisme, ainsi que la société¹⁶.

En second lieu, on constate que les aides à l'innovation des régions sont dirigées principalement si ce n'est exclusivement en direction des PME et ETI.

Ainsi, la feuille de route ASD de la région Aquitaine indique que l'aide régionale « sera principalement ciblée sur les PME afin de favoriser leur excellence technologique, leur développement et leur structuration »¹⁷.

Pour la région Midi Pyrénées, il est précisé que l'objectif n°1 du plan Ader III de soutien à l'industrie aéronautique régional est de soutenir l'innovation et le transfert de technologies dans les PME et les ETI¹⁸.

Enfin dans la stratégie régionale d'innovation adoptée par la région Alsace en 2009, ce sont les TPE et PME qui sont identifiées au niveau de la détection des besoins et de l'accompagnement des entreprises¹⁹.

Et de fait, tous les exemples de spin in et de spin off qui ont été détectés dans le cadre de cette étude et ont fait l'objet de cas d'étude sont pour l'essentiel des PME voire des TPE, même si une ETI, Lacroix, fait l'objet d'un cas d'étude. Dans ce panorama, l'IRT St Exupéry est un exemple atypique car on peut considérer que c'est une initiative nationale, le programme faisant l'objet d'un PIA, ayant une très forte connotation régionale dans son implication économique, et un grand nombre des PME des régions Aquitaine et Midi Pyrénées étant impliqués dans le projet justifiant ainsi la contribution financière de ces deux régions.

En troisième lieu, on constate que même quand l'activité de l'entreprise est duale, les régions financeront toujours principalement le développement civil.

A cet égard, la politique de la région Aquitaine est révélatrice de ce choix. On l'a vu, cette région est susceptible de fournir des aides financières à l'innovation sur les bas TRL - incluant des aides indirectes comme de la formation professionnelle, de la formation interne à

16 Comme dans la région Aquitaine la région Alsace a confié à une agence le soin de développer sa stratégie d'innovation avec l'association Alsace Innovation. Celle-ci est issue de la fusion de l'ARI Alsace avec le CEEI d'Alsace. Alsace Innovation a pour mission de structurer accompagner et assurer l'ingénierie financière des projets d'innovation déployés au sein des entreprises alsaciennes. <<http://www.alsaceinnovation.eu/>>

17 Feuille de route aéronautique, spatial, défense 2015-2017, Conseil régional d'Aquitaine, séance plénière du 16 mars 2015.

18 Cf. site de la région Midi Pyrénées, <<http://www.midipyrenees.fr/Le-plan-ADER-Etat-Region>>.

19 La stratégie régionale de l'innovation en Alsace, 2009, <http://www.region.alsace/sites/default/files/fichiers/recherche_innovation/sri_041209.pdf>

l'entreprise ou encore des aides à la compétitivité des entreprises - comme des investissements matériels pour une meilleure organisation (Maud Pawlowski), Mais les aides pour des projets d'industrialisation visant la fabrication de produits ne concerneront que les débouchés civils, à l'image du projet Bikeberri de Pragma Industries pour lequel la région a accordé une subvention de 200 000 € finançant 60 % du projet. C'est donc bien la dualité qui est financée par les régions et non la fabrication de produits militaires.

3.5 Le rôle des pôles de compétitivité

Un pôle de compétitivité rassemble sur un territoire donné des entreprises de toutes tailles, des acteurs de recherche et des établissements de formation pour développer des synergies et des coopérations autour d'une thématique commune. Créés en 2005, leur objectif est de renforcer la compétitivité de l'économie française et de développer la croissance et l'emploi sur les marchés porteurs²⁰.

Le cahier des charges de l'État stipule que les pôles doivent faire état d'une coopération entre entreprises (petites, moyennes et grandes), laboratoires de recherche (publics et privés) et instituts de formation, tous étant situés dans une région déterminée²¹.

La particularité des pôles de compétitivité est d'être ancrée sur un territoire donné. Le site des pôles de compétitivité présente en effet ainsi les enjeux que constituent ces pôles :

« Le rapprochement des acteurs industriels, scientifiques et de la formation d'un même territoire, sur le modèle des "clusters", constitue en effet :

- une **source d'innovation** : la proximité stimule la circulation de l'information et des compétences et facilite ainsi la naissance de projets plus innovants,
- une **source d'attractivité** : la concentration des acteurs sur un territoire offre une visibilité internationale,
- un **frein aux délocalisations** : la compétitivité des entreprises est liée à leur ancrage territorial grâce à la présence des compétences et des partenaires utiles. »²²

²⁰ Les pôles de compétitivité en France, des pôles au service de la croissance, des entreprises et de l'emploi, http://competitivite.gouv.fr/documents/commun/Documentation_poles/brochures_poles/francais/brochure-fr-internet.pdf

²¹ Julie Tixier, Luciana Castro Gonçalves, les poles de compétitivité premier bilan, annales des mines mai 2008

²² <http://competitivite.gouv.fr/politique-des-poles/la-politique-des-poles-depuis-2005-472.html>

Parmi, les pôles de compétitivité, le pôle Aerospace Valley, qui s'étendait sur les deux régions Aquitaine et Midi-Pyrénées avant la réforme administrative de 2015, a été créé comme les autres pôles pour susciter l'innovation en faisant se rencontrer des PME, des grands groupes, des laboratoires de recherche et des organismes de formation.

Aerospace Valley est centré sur l'aéronautique, le spatial et les systèmes embarqués. C'est une association loi 1901. Une vingtaine de personnes travaillent pour le pôle en tant que telle, dont une partie seulement en est salariée. Les membres du pôle sont des laboratoires de recherche, des organismes de formation, des entreprises d'étude d'ingénierie, des grands groupes et des PME. Il y a 807 membres dont 471 PME. Il existe sept collèges dont un pour les grands groupes et un pour les PME, mais aussi un pour les collectivités publiques structures de développement économique. Ces collèges sont représentés au sein du conseil d'administration.

En ce qui concerne les PME, soit elles sollicitent d'elles-mêmes une adhésion, soit le pôle les repère. Des pépinières ou des collectivités territoriales peuvent aussi les orienter. Le « recrutement » se fait donc grâce à une mise en réseau à l'effet démultiplicateur. Pour adhérer au pôle, il faut remplir un bulletin d'adhésion en indiquant sa motivation, et se faire parrainer par deux personnes : un membre du conseil d'administration et un membre du domaine technique

L'articulation entre PME, laboratoires de recherche, universités, grands groupes et incubateurs se fait soit dans le cadre de projets montés par les PME, soit grâce au travail d'une équipe dédiée qui va voir les PME pour comprendre leur activité, puis les invite à monter ou rejoindre des projets en fonction de leurs activité et compétences.

Le pôle Aerospace Valley est organisé en groupes de travail appelé DAS (domaine d'activité stratégique). Les DAS sont au nombre de neuf :

- systèmes embarqués, électronique et logiciel ;
- interface homme-système ;
- aéro-structures, matériaux et procédés ;
- énergie et systèmes électromécaniques ;
- sécurité et sûreté du transport aérien ;
- navigation, positionnement, télécommunications, observation ;

- génie maintenance et maintien en condition opérationnelle ;
- usine du futur ;
- systèmes complexes, conception, architecture et intégration.

Ces groupes déterminent une feuille de route technologique, c'est-à-dire des axes à développer. Les représentants qui siègent dans les DAS appartiennent au monde technique.

En parallèle, il existe des commissions de marchés (drones, aéronautique, ...), qui font l'analyse de marché à court, moyen et long terme. Leurs représentants qui siègent dans les commissions de marché sont des commerciaux et/ou appartiennent au monde du marketing.

Le croisement des deux analyses donne les grandes orientations pour les travaux de R&D des membres du pôle. En ce sens, si l'on oriente la politique de R&D au sein du pôle, ce n'est pas le conseil d'administration qui est en charge de définir ces orientations.

Selon Franck Lepecq, délégué aux projets R&T Maintenance, Drones et Télécom et détaché de Rockwell Collins chez Aerospace Valley, à partir d'une certaine taille, chacun travaille dans son domaine de prédilection (ex : organisation de Thales, de Rockwell), ce qui tendrait à laisser penser qu'il existe des freins à la dualité liés à l'organisation des grandes entreprises.

Toutefois, ces grandes entreprises font en sorte que les architectures se ressemblent pour éviter de devoir tout redévelopper de zéro. Cela permet des passages d'un domaine d'application à l'autre comme la *carte SDI*, qui est passée de l'A380 à l'A400M.

Néanmoins, le transfert d'un domaine à un autre n'est parfois pas possible : ainsi, le chiffrement et les moyens de communication sont trop spécifiques pour être duaux.

Toujours selon Franck Lepecq, cette prise en compte de la dualité est naturellement plus forte chez les PME où la ressource humaine est insuffisante pour séparer les employés par domaine : dans ce cas, la frontière est moins nette que dans les grandes entreprises. Cependant, l'activité du pôle de compétitivité d'Aerospace Valley est en majorité civile. Les PME orientées militaire sont rares mais en général, elles restent spécialisées et, dans ce cas, il y a peu d'ouverture au civil. Deux raisons expliquent ce phénomène :

- Une fois qu'une PME est reconnue pour ses compétences dans un domaine précis, on fait appel à elle à l'avenir (ex : systèmes embarqués).
- Pour trouver de nouveaux débouchés, il faut savoir promouvoir ses produits auprès des clients. Or, selon Franck Lepecq, quand on sait parler aux clients militaires, on va

plutôt élargir ses parts de marchés aux militaires étrangers (ouverture à l'international) mais l'on n'a pas nécessairement la compétence commerciale pour toucher les clients civils nationaux. Il existe donc une barrière commerciale dans l'accès au marché liée à la culture des individus exerçant les responsabilités commerciales dans les entreprises. On ne peut donc pas dire que les pôles de compétitivité favorisent la dualité de par leurs projets mêmes mais plutôt grâce à une vaste mise en réseau organisée au niveau local, en l'occurrence deux régions françaises.

Les pôles de compétitivité jouent le rôle de point focal au niveau du territoire pour recueillir les projets collaboratifs qui seront financés soit au niveau local, soit au niveau national.

Les projets collaboratifs sont déposés soit de manière spontanée soit dans le cadre d'appel à projets doivent réunir au moins deux entreprises et un organisme de recherche/formation et sur des projets entre TRL 4 et 6 c'est-à-dire les domaines où il est le plus aisé de collaborer en matière de recherche (Maulny, Matelly, Ecodef 64).

Parmi les différents appels à projets, il faut distinguer ceux qui sont considérés comme des projets structurants pour le pôle de compétitivité (PSPC) et ceux qui relèvent d'un financement du FUI.

Les modalités de financement sont les suivantes :

COMPARAISON DES DISPOSITIFS PSPC / FUI

PSPC	FUI
Projets de 5 à 50M€ (1) de budget	Projets de 2 à 6M€ (1) de budget
Tout type de bénéficiaire (2)	Tout type de bénéficiaire (2)
20 % min. des dépenses supportées par des PME et/ou ETI	20 % min. des dépenses supportées par des PME et/ou ETI
Labellisation possible (pôle ou comité stratégique de filière)	Labellisation pôle obligatoire
AAP permanent sur 2 à 3 ans (AAP4 en cours)	2 AAP / an (AAP 19 en cours)
Cofinancement des collectivités possible	Cofinancement des collectivités nécessaire

Enfin, il faut noter que les pôles de compétitivité sont également le point de passage obligé pour bénéficier de prêt pour l'industrialisation des pôles de compétitivité (PIPC).

Dans le PIPC et par l'intermédiaire des investissements d'avenir, le Gouvernement consacre en effet **100M€ de prêts bonifiés** aux PME ou ETI voulant conduire les résultats d'un projet de R&D déjà terminé aux phases d'industrialisation et de commercialisation.

Pour bénéficier de ces prêts le projet de R&D initial devra simultanément :

- avoir été préalablement **labellisé par un pôle** ;
- **avoir bénéficié d'un financement de l'État**, ou de l'un de ses opérateurs ou de l'Europe, notamment dans le cadre du Fonds unique interministériel (FUI).

À l'examen des projets hébergés par Aerospace Valley, on constate que la nature même des recherches peut conduire à des applications civiles et militaires comme le démontre le projet suivant :

BATTLION-FUI02

Financement: MI / DGE

Batteries allégées pour avions

L'objectif principal du projet BATTLION Aéronautique est d'étudier et de développer un nouveau concept de système batterie Li-Ion adapté à l'aéronautique, en vue de permettre l'intégration de cette nouvelle technologie électrochimique dans les architectures électriques des futures plates-formes aéronautiques civiles et militaires. Ce nouveau concept de système batterie sera validé à l'issue d'une intégration sur une plate-forme aéronautique suivie des premiers essais en vol. Il facilitera la tâche de l'utilisateur/intégrateur car la batterie deviendra un « équipement intelligent » destiné à fournir l'énergie/puissance électrique nécessaire. BATTLION permettra à Aerospace Valley d'acquérir la maîtrise d'une technologie de pointe permettant de supplanter les autres types de batteries disponibles pour des applications particulièrement exigeantes comme l'aéronautique. Le gain en performance lié à cette nouvelle technologie permettra de positionner les acteurs du Pôle en très bonne place sur des marchés de tout premier plan mondial.

3.6 Relations entre TPE, grands groupes, laboratoires universitaires et institutions étatiques

Les faiblesses des TPE peuvent être compensées par une association avec une grande entreprise et/ou un laboratoire public. De manière générale, la combinaison entreprise/laboratoire est reconnue comme judicieuse car la recherche amont est très onéreuse et ses résultats incertains. Or, un laboratoire public n'est pas soumis aux mêmes obligations de résultat qu'une entreprise, ce qui le rend plus apte à innover. L'entreprise exploite ensuite les résultats qui l'intéressent. Jean-Marc Grolleau considère en outre que les laboratoires ont plus de facilités que les entreprises pour encadrer des doctorants. Des dispositifs comme les thèses CIFRE permettent une collaboration efficace selon un partage du temps négocié en amont : encadrement scientifique de la thèse par le laboratoire, statut de salarié dans l'entreprise du doctorant, ce qui facilite l'embauche à la fin des trois ans, s'il y a lieu. Très schématiquement, on peut imaginer une répartition des tâches où la PME a l'idée, le laboratoire fait la recherche amont et le grand groupe intègre ensuite la technologie. C'est

pourquoi des clusters comme AETOS favorisent l'association des laboratoires publics avec des PME et/ou des grands groupes lorsque les besoins convergent. Pour une grande entreprise comme Sagem, collaborer avec les laboratoires est un moyen de monter en TRL sans réaliser de dépenses internes. Haider (1986) souligne d'ailleurs ce rôle des laboratoires publics de recherche et des formations universitaires pointues, ainsi que des parcs technologiques, comme soutien à l'innovation technologique. La littérature reste cependant assez discrète sur ce sujet.

Devenir sous-traitant d'un grand groupe est une alternative à l'association bilatérale ou triangulaire pour que sa technologie soit intégrée dans un produit, donc commercialisée, mais le risque est de perdre en **propriété intellectuelle**. Pour la préserver, certaines start-up font de la R&T conjointe avec les grands groupes (cas de Pragma et de Nexter Electronics), mais se financer en capital demeure la meilleure protection.

Partenariat TPE / grande entreprise / laboratoire : IRT Saint-Exupéry

Le dispositif du fonds unique interministériel (FUI) est mis en place fin 2005 pour unifier les guichets de six ministères (la défense est le deuxième contributeur derrière l'industrie) en réponse aux critiques formulées par les pôles de compétitivité. Destiné à soutenir la recherche appliquée, il vise à rapprocher les industriels des chercheurs dans un premier temps en orientant la recherche amont vers des applications industrielles, et dans un second temps en les co-localisant dans des IRT.

La société Herakles saisit l'occasion de créer un IRT après avoir reçu un courrier de la DGA lui demandant d'assurer la pérennité de ses sous-traitants jusqu'en 2032 (date de fin du programme M-51). L'entreprise doit alors passer d'un modèle d'externalisation à un modèle de partenariat. En accord avec le conseil régional d'Aquitaine, Herakles estime que le meilleur moyen d'assurer la survie de ces PME, composées en partie de start-up, est de les impliquer sur des projets civils existants. Une vingtaine d'entre elles sont donc orientées vers Herakles autour d'un projet FUI. L'action collective terminée, l'IRT St Exupéry prend le relais. L'entité réunit des partenaires publics et privés autour d'activités de R&T dédiés à trois domaines stratégiques : les matériaux multifonctions à haute performance, l'aéronef électrique et les systèmes embarqués. Il a vocation à développer ces activités pour les régions Aquitaine et Midi-Pyrénées, deux régions majeures dans l'aéronautique et l'espace. L'IRT rassemble des PME locales, des laboratoires académiques de la région, dont l'université de Bordeaux et celle

de Toulouse, ainsi que des industriels implantés localement pour la majorité d'entre eux (Safran, Thales, Thales Alenia Space, Airbus Group, AKKA Technologies, Zodiac Aerospace, Altran, Continental, Stelia, Timet, Albert&Duval, et Liebherr). Les PME et les universités participent soit pécuniairement, soit en mettant à disposition des moyens techniques ou humains.

La formule de l'IRT (co-localisation de différents acteurs) semble très positive, même si le travail collaboratif n'est pas toujours simple au quotidien, estime Xavier Aubard, directeur délégué de l'IRT et ancien responsable des partenariats chez Herakles. Son expérience l'amène à trouver les PME très innovantes et très réactives, offrant une complémentarité bienvenue avec le mode de fonctionnement de type « grand groupe ».

Vodéa

Le partenariat à plusieurs (PME + grand groupe, PME + laboratoire et PME + laboratoire + grand groupe) est salubre car cela lui permet de se développer : en accédant à des marchés, en innovant (nouvelles fonctionnalités, performances accrues, réduction de la taille des produits) et en influençant une norme à son avantage, grâce à l'appui offert des grandes entreprises.

Partenariat TPE / laboratoire : Trust-in-Soft

La technologie Frama-C fut originellement développée au CEA-LIST (laboratoire de logiciels de sécurité) et à l'INRIA-Saclay Île-de-France (équipe Toccata, avec le LRI-CNRS et l'Université de Paris-Sud-11) pendant plus de dix ans grâce à un financement exclusivement privé : Airbus (avionique civile) et Areva (réacteurs nucléaires civils). Le CEA négocia à l'époque les droits de propriété intellectuelle de façon à pouvoir réutiliser en propre la technologie. Cette négociation sur la PI fut facilitée par le fait qu'une importante partie du code utilisé était en open source. A la création de Trust-in-Soft, ses fondateurs durent à leur tour négocier l'utilisation de Frama-C. La société continue de payer le CEA pour qu'il réalise des travaux sur cette technologie.

Bilan

Si les bénéfices d'une association de type PME/grand groupe/laboratoire semblent reconnus

de tous, une telle association comporte des écueils, notamment autour de la **propriété intellectuelle**. Weeroc et Trust-in-Soft négocièrent les droits sur l'exploitation des travaux réalisés par le laboratoire, mais on peut supposer que cette négociation fut facilitée du fait que la start-up était issue du laboratoire, et que sa raison d'être était précisément de commercialiser ses technologies. Le cas de Trust-in-Soft est un peu différent car la TPE s'est appropriée des résultats qui furent intégralement financés par des entreprises privées : c'est une double négociation sur les droits auxquels les chercheurs ont dû se plier afin de pouvoir exploiter commercialement le logiciel sur lequel reposent légalement leurs produits. Dans le cas de Weeroc, les liens n'ont pas été rompus avec le laboratoire d'origine, qui continue d'effectuer la majorité du travail de recherche amont, l'entreprise se positionnant sur un niveau de TRL plus élevé (> 5), plus proche des besoins spécifiques des clients. Cela la décharge d'une partie de ses besoins de financement, et explique certainement que cette entreprise et Trust-in-Soft se disent pleinement satisfaits des dispositifs existants. Quant à CARUS, un projet de plus grande envergure, les différences de culture liées à la nature des acteurs suscitérent des controverses : Thales souhaitait déposer des brevets pour protéger ses intérêts commerciaux à venir, tandis que le laboratoire voulait pouvoir publier les résultats. Fly-n-Sense, pour sa part, voulait aller vite pour pénétrer au plus tôt le marché, quitte à ne pas déposer de brevets.

CONCLUSION

Plusieurs **facteurs identifiés par la littérature** comme contribuant aux transferts de technologies entre les secteurs civil et militaire se trouvent **confirmés** par les études de cas.

On peut les regrouper en cinq grandes catégories :

- le rôle du système national d'innovation et les modalités de financement (D. Foray, 1990 ; C. Serfati, 2008, J. Molas-Gallart, 1997 ; J. Stowsky, 2004 ; J. D. Haider, 1986) : l'offre de financement existante structure le développement des entreprises et oriente leur réflexion sur les applications possibles de leur technologie. **Cela encourage un comportement opportuniste parmi les créateurs d'entreprise, que la littérature avait insuffisamment perçu.** Ce dernier bénéficie actuellement au milieu militaire, qui serait autrement davantage délaissé par les start-up à cause de la petite taille de son marché et de sa méconnaissance par la plupart des PME. Du fait que, comme le soulignent Mowery et Rosemberg (1990), certaines recherches n'auraient jamais été financées faute de débouchés immédiatement perçus dans le civil, alors même qu'elles ont conduit à des innovations majeures tant dans le militaire que dans le civil, ce qui est le cas de Vaylon et du CMC, l'existence d'un dispositif de financement public et militaire revêt un caractère non substituable mais complémentaire des autres dispositifs de soutien à l'innovation ;
- la structure des entreprises (J. Mollas-Gallart, 1997 ; J. Stowsky, 2004) : la question des modes de gestion de transfert intra-firme vaut d'être posée pour les grands groupes, plus susceptibles que des TPE de distinguer les activités civiles et militaires. Des cas de Safran et de Thales, il ressort que les technologies de base sont perçues comme étant 100 % duales. Chez Thales, seul le marché 'transport' est purement civil et une grande partie du marché 'défense' est uniquement militaire, tous les autres sont duaux. Pour passer d'un domaine applicatif à un autre, la firme redescend la technologie au TRL 3 à 5, soit pour la durcir de manière à l'insérer dans un environnement défense, soit pour répondre aux exigences de certification (cas de l'avionique) ou réduire les coûts (cas de l'infrarouge refroidi massivement).

La dualité de marché a l'avantage d'augmenter la quantité dans la chaîne de production, ce qui explique que de nombreux modèles de développement de technologies y fassent appel. En outre, un marché défense représentant environ 10 %

du chiffre d'affaires constitue un palliatif à la disparition éventuelle du marché civil. Toutefois, la recherche de haute performance pour une application militaire peut constituer un double handicap : elle élève le coût de redéveloppement et limite les possibilités d'export.

- le dynamisme du secteur considéré (P. Dombrowski, E. Gohlz, A. Ross, 2002 ; J. Molas-Gallart, 1997) : il est exact que les entreprises vont orienter leur offre vers le marché jugé dynamique. La réaction du cluster AETOS peu après sa création devant la faiblesse des appels d'offre de la DGA en matière de drones, et sa conscience du besoin à venir chez les PME de s'ouvrir davantage au militaire témoigne de cette adaptabilité des acteurs industriels. De même, Fly-n-Sense participe au projet CARUS mais le financement qu'il reçoit de l'AED ne le détourne pas de son but de commercialiser dans le civil les technologies qu'il aura développées grâce à CARUS.
- l'environnement politico-économique (Dubrowsky et al., 2002) : certaines périodes ont été plus favorables à l'innovation militaire, mais désormais il semble que ce soit l'innovation civile qui soit la plus dynamique : le marché est plus important, le cycle plus rapide, et le budget militaire en baisse. Le complément de financement offert, via les RAPID notamment, et le comportement éventuellement contra-cyclique du domaine militaire conserve l'intérêt des entreprises pour le secteur de la défense mais est surtout pour l'État une garantie de s'assurer le maintien de la compétitivité d'un tissu industriel innovant au service de la défense et, comme le dit Dubrowsky, évite les « interruptions » de l'innovation.
- la compatibilité culturelle (L. E. Heslop, E. McGregor, M. Griffith, 2001) : les échecs de transfert qu'il a été possible d'étudier (Lacroix, Vodéa), mais aussi certains succès (Trust-in-Soft, CARUS) rendent compte du rôle joué par le facteur culturel pour percer dans le domaine visé. Pour notre part, nous préférons parler de facteur « socio-culturel » afin d'englober la dimension « réseau », identifiée par Serfati (2008). Nos observations confirment son analyse, qui consiste à dire qu'il est de plus en plus rare que les recherches amont aient une destination commerciale ou militaire prédéfinie, et que de ce fait il vaut mieux parler de spillovers, qui dépendent des acteurs en présence et des réseaux dans lesquels ils sont imbriqués (pôles de compétences, clusters, partenariats...), ainsi que des politiques publiques de soutien à la recherche et à l'innovation.

En somme, les trois points clés distingués dans la littérature (structuration des réseaux d'acteurs, politiques publiques et modalités de financement de la R&D) sont confirmés par les études de cas, mais il doit s'y ajouter la nature de la technologie, par exemple selon la classification de Stowsky (*shielded / shared innovation*).

Quelques éléments sont néanmoins infirmés par les études de cas. Stowsky (2004), par exemple, estime que les enjeux et les contraintes liées aux missions militaires sont plus propices à l'émergence d'innovations, en particulier de rupture. De nos jours, cette idée est battue en brèche du fait que l'innovation, surtout de rupture, vient pour beaucoup des petites entreprises. Or, ces acteurs sont peu familiers du domaine militaire et de ses besoins, et ce petit marché ne permet pas (plus) de rentabiliser les investissements nécessaires à une innovation de rupture. Par conséquent, ces entreprises vont se tourner **en premier lieu vers le marché civil**, tout en gardant éventuellement ouverte la porte du marché militaire, dont l'intérêt est double : il est une opportunité de financement complémentaire et représente un gage de qualité pour leurs produits.

Les entretiens réalisés soulignent que les PME qui se positionnent sur le militaire sont rares mais y restent en général. Deux raisons expliquent leur faible ouverture au monde civil :

- une fois qu'une PME est reconnue pour ses compétences dans un domaine précis, elle est sollicitée sur ces sujets, ce qui la conforte dans ce secteur (Vodéa sur les systèmes embarqués) ;
- il faut savoir s'adresser à des clients non-militaires pour élargir ses parts de marchés en-dehors de la DGA, ce qui encourage plutôt les PME de la défense à se tourner vers l'export.

S'il faut aller chercher de plus en plus les compétences parmi des entreprises qui n'avaient pas songé aux applications militaires, cela soulève deux enjeux. D'une part, il faut être en capacité d'identifier ces entreprises et de les attirer. Le travail réalisé par la Direccte et l'ADI, et les offres de financement de la DGA sont sans conteste des atouts. D'autre part, comment parvenir à orienter les choix au-delà du TRL 6 pour répondre aux exigences du domaine militaire ? Comment financer les coûts de redéveloppement du civil vers le militaire ?

Enfin, l'influence des conseils régionaux est clairement mise en évidence, selon trois points-clés. Tout d'abord, les Régions font preuve d'autonomie dans leur politique de soutien à l'innovation, même si leurs démarches restent cohérentes avec l'impulsion donnée par l'État. Celles qui sont les plus actives visent en premier lieu les TPE et les PME, voire les ETI mais pas les grandes entreprises, avec l'intention de donner aux start-up leurs premières références et les insérer dans le tissu économique local. Les bénéficiaires sont donc avant tout locaux. Le cas de l'IRT St Exupéry illustre bien cette focale : même si Herakles, autour de qui s'est bâti l'Institut, est une filiale d'un grand groupe, ce sont les PME locales qui furent soutenus par la région et non pas Herakles, qui a dû faire appel à un FUI et s'inscrire dans un FP-7 pour compléter ses fonds propres. Enfin, les régions ne financent que des projets duaux : ce sont des projets à TRL bas qui sont soutenus, et au-delà du TRL 6, ils doivent avoir une connotation civile pour continuer à bénéficier de ce soutien. Si les crédits affectés à l'innovation au niveau régional ne sont pas déterminants en soi, ils ne couvrent que très rarement plus de 50 % du développement d'une technologie ou d'un projet, ils ne le sont pas plus que les autres types de financement. Pour les TPE et les PME, la « chasse » au financement reste une course d'obstacles bien que des structures locales se soient spécialisées dans l'aide à la recherche de financement au profit des PME, à l'image d'« Aquitaine développement innovation » en Aquitaine et de Semia en Alsace. Enfin, les régions ne sont intéressées à la dualité, c'est-à-dire aux entreprises qui sont susceptibles d'avoir une activité duale, civile et militaire, que si le tissu local préexiste. C'est le cas en Aquitaine, ce n'est pas le cas en Alsace et ce n'est pas le cas non plus dans la région Midi-Pyrénées.

ANNEXES

1. LES CAS D'ÉTUDE

Projet CARUS (Cooperative Autonomous Reconfigurable UAVs Swarm) : essaim de drones

Partenaires :

LaBRI

Fly-n-Sense

Thales

Région Aquitaine

GIS Albatros

Cluster AETOS

Bordeaux Technowest

Intérêt de l'étude de cas

Le projet CARUS est conduit sous la responsabilité technique et scientifique du LaBRI (Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique), dans le cadre du GIS Albatros (association des Universités Bordeaux 1 et 2, l'IPB, l'ENSAM, le CNRS, l'INRIA et Thales) et mis au service du cluster AETOS, dont il est le premier démonstrateur. Il implique les sociétés Thales, basée à Mérignac, et Fly-n-Sense, une PME fabricant des micro-drones également localisée à Mérignac, membre des clusters Aerospace Valley et Aetos. CARUS reçut le soutien de la région Aquitaine ainsi que de Bordeaux Technowest, une technopôle qui vise le **développement économique local. L'ancrage aquitain de CARUS est donc particulièrement fort.**

Le projet, dédié à la surveillance, est financé directement par la région Aquitaine et indirectement par la DGA, ce qui témoigne de son potentiel dual. Par ailleurs, la société Fly-n-Sense bénéficie de PEPITEA, un programme de recensement de la DGA issu d'un partenariat DGA-région Aquitaine. La DGA continue de suivre le projet, qui reçoit maintenant un financement de l'Agence européenne de défense (AED) dans le cadre d'un programme

confidentiel ASIMUT.

Acteurs impliqués : État, région, laboratoire public, PME, grand donneur d'ordre de l'industrie de Défense.

Type d'application : duale à l'origine

Description du projet

Le projet CARUS (Cooperative Autonomous Reconfigurable UAV Swarm) vise à développer des algorithmes de coopération d'essaim de drones autonomes communiquant par échanges de messages de type broadcast asynchrone. Les enjeux majeurs portent sur l'algorithmique de la prise de décision autonome par communication drone-à-drone, le rendu et la visualisation de la mission de l'essaim. Le projet cherche à mettre en évidence les problèmes techniques, humains et législatifs soulevés par un tel dispositif.

Pour cela, cinq drones se partagent dynamiquement la surveillance continue de quinze points d'activités potentielles (feux, radiations, fumées, mouvements, ...) disposés sur une grille de 3 lignes par 5 colonnes. Lorsqu'un drone passe au-dessus d'un de ces points, il s'en rapproche pour réaliser un traitement spécifique (relevé, marquage, ...). Pour les besoins du démonstrateur, une station de visualisation permet de créer ou supprimer des incidents (perte ou panne d'un drone, brouillage, perte de connexion GPS, temps de ravitaillement d'un drone). Pendant toute la durée de l'incident, dont la fin est décidée au niveau de la station de visualisation, le reste de la flotte doit prendre en charge les points que le drone en incident ne traiterai plus. L'objectif est d'avoir une reconfiguration automatique de l'essaim sans intervention d'un opérateur en sol afin de garantir la couverture de la zone à surveiller. L'atterrissage des drones est automatique.

Origine du projet

Le LaBRI a pour spécialité les systèmes mobiles communicants autonomes sécurisés. Cela inclut aussi bien les téléphones que les robots terrestres ou aériens. Ils ont ainsi longtemps travaillé sur les téléphones mobiles, entre autres dans le cadre du projet européen « Smart Urban Spaces ». Les résultats de ce projet ont poussé le LaBRI à créer une start-up. Ils se sont

ensuite aperçus que faire communiquer des téléphones nécessitait des algorithmes différents que s'il s'agissait de drones, car ces derniers ont la capacité d'aller partout alors que les téléphones suivent leur propriétaire, qui se déplace en général dans des espaces délimités (bâtiments, rues, etc.). Cela suscita l'intérêt du LaBRI pour travailler sur des algorithmes de drones, d'autant que ceux-ci étaient un objet d'étude original à l'époque.

Le choix d'établir un partenariat avec Fly-n-Sense s'explique par des considérations opérationnelles et personnelles. Cette société est un des plus gros dronistes français, et son fondateur et Serge Chaumette, responsable du projet au LaBRI, se connaissent depuis qu'ils étaient étudiants. Pour Fly-n-Sense, l'intérêt du projet est de pouvoir faire de l'expérimentation technique, étudier la réalité technique de futurs systèmes commerciaux et identifier quels produits pourraient en sortir. La figure de Thales s'est imposée comme « chef d'orchestre » pour la maîtrise d'ouvrage, car l'entreprise est incontournable pour ses liens avec le milieu universitaire local (via le GIS Albatros) et le cluster AETOS (créé sous l'impulsion de Thales et du président de la région Aquitaine, Alain Rousset) .

Le cluster AETOS, créé à peu près au même moment, a d'ailleurs soutenu le projet, qui fut le premier qu'il porta – Fly-n-Sense en est membre. Le cluster assura les relations avec le conseil Régional.

Répartition des tâches

LaBRI	création d'algorithmes de gestion de flotte de drones autonomes
Fly-n-Sense	conception et fabrication des drones, intégration des briques logicielles du LaBRI
Thales	station de contrôle de la mission
GIS Albatros	personnel issu de chez Thales
Bordeaux TechnoWest	développement économique de la région bordelaise ; permet l'accès à la zone d'essai, qui se trouve être un camp militaire
Conseil régional	financement direct
DGA	financement indirect (financement d'une thèse CIFRE-DGA)

Nature de la dualité

Si le projet CARUS comporte des scénarios aussi bien civils (ex : incendie) que militaires (ex : déminage), les acteurs insistent principalement sur le volet civil, notamment les risques d'incendie dans les forêts des Landes – un besoin local. En réalité, l'accent est mis en fonction de l'interlocuteur. Ainsi, le fait de s'être adressé au Conseil régional pour se financer les a poussés à afficher une dimension purement civile.

En outre, Fly-n-Sense souhaite en retirer des applications publiques, si possible rapidement, ce qui est caractéristique d'une logique de PME. Or, le marché militaire est un marché de petite dimension. Pour toutes ces raisons, on peut estimer que l'application envisagée au départ est plutôt civile – sans exclusivité.

Par ailleurs, suite à une première sollicitation de thèse CIFRE-DGA, le LaBRI entretient depuis maintenant une dizaine d'années des relations privilégiées avec la DGA. Ils discutent souvent de possibles sujets de thèse et le thème d'algorithmes pour des drones volant en essaim retint l'attention de la DGA, qui accepta de financer une thèse CIFRE-DGA sur ce sujet au sein du LaBRI. Ce dernier apprécie l'intérêt non-intrusif de la DGA : l'organisme étatique ne leur impose pas de scénarios ni de matériels particuliers pour mener leurs recherches – même s'il implémente parfois des algorithmes dans ses locaux.

De plus, CARUS étant un démonstrateur, les technologies sont duales puisqu'elles ne sont pas encore marquées pour un domaine d'application particulier. D'autant que la sécurité civile est une application dont les définitions sont proches des sujets défense.

Étant une preuve de concept technique, CARUS nécessite encore de la R&D, que ce soit pour répondre à un besoin militaire ou commercialiser un produit civil. Il reste encore des travaux à effectuer avant d'obtenir une autorisation de vol, qu'elle vienne de la DGAC ou de la DGA.

La poursuite des travaux se fait depuis 2014 et courra jusqu'en 2017 par un financement de l'AED, ce qui conduit l'équipe à travailler sur des scénarios principalement militaires.

En parallèle, le LaBRI poursuit ses travaux (et ses relations) avec la DGA sur les essais de drones de surface et sous-marins avec des thèses financées par la DGA ou par le Conseil régional, toujours avec Fly-n-Sense et Thales et avec le soutien d'AETOS et de Bordeaux TechnoWest.

La dualité du travail sur les essais de drones est donc apparente via la participation modeste de la DGA, et plus marquée dans la suite donnée à CARUS avec le cadre donné par l'AED.

Financement

Les acteurs ont fait appel au Conseil régional en tant que soutien local majeur à l'innovation, mais aussi car les partenaires partageaient le souhait de faire rayonner la communauté drone, d'alimenter le cluster AETOS en projets et de pouvoir communiquer par la suite sur ce sujet.

Pour Fly-n-Sense, le choix de la région découlait également d'une volonté d'aller vite, tant dans le montage que dans la réalisation du projet²³. Le LaBRI a une logique un peu différente : il a l'habitude de découper un projet de recherche en tronçons plus petits, qu'il fait financer individuellement.

La région est intervenue à différentes phases du projet et sous différentes formes, mais de manière générale, le financement du projet se fit à vue, de manière incrémentale. Les partenaires apportèrent chacun leur contribution lorsque le besoin se faisait sentir et en fonction de leurs moyens, pour permettre au projet de continuer d'avancer. Le doute a donc persisté quant à la capacité de parvenir à un prototype qui fonctionne. Cela dit, le LaBRI estime que la région a dû contribuer à hauteur de 50 % à la réalisation de CARUS, dont le TRL se situe entre 5 et 6.

Pour sa part, la DGA s'est impliquée en finançant à 100 % la thèse de Rémi Laplace²⁴ *via* une CIFRE-DGA ; elle apporta donc un soutien indirect, et sur la partie théorique uniquement. La partie pratique – mise en œuvre du démonstrateur – était assurée par le LaBRI, Fly-n-Sense et Thales. Les deux premiers fournirent du matériel et des ressources humaines (en particulier des doctorants pour le LaBRI), tandis que Thales apportait un peu de financement (pour permettre au LaBRI d'acquérir du matériel complémentaire) et des ressources humaines.

Pour la suite, l'équipe s'est inscrite dans un programme de recherche de l'AED, ASIMUT, qui rentre dans un programme Innovative Concept and Emerging Technologies (ICET2) dont les nations participantes sont l'Autriche, l'Allemagne, la France, l'Italie, le Luxembourg, les Pays-Bas, la Pologne et la Suède. Le programme ICET2 dans sa totalité est financé à hauteur de 5,2 M€²⁵. On peut y voir un financement d'opportunité ou la « main » de la DGA (et de

23 Il faut entendre cela par comparaison : solliciter la région Aquitaine prend moins de temps que monter un dossier européen, par exemple.

24 Sa thèse reçut le prix de l'Armée de l'air en 2013.

25 Factsheet, eda.europa.eu, 30 janvier 2013.

Thales ?), désireuse de permettre à l'équipe de donner une suite au projet CARUS. Fly-n-Sense est financé à hauteur de 70 %, et le LaBRI a refusé de chiffrer son financement.

Il est à noter que Fly-n-Sense poursuit une stratégie de financement qui consiste à ne solliciter qu'une seule source de financement à la fois. La société préfère avancer de proche en proche plutôt que de multiplier les sources, –ce qui serait particulièrement chronophage compte tenu du nombre de dossiers à monter. Ayant également conscience que ceux qui financent le mieux sont l'Europe et la DGA, ils se sont récemment tournés vers l'AED (bien que les dossiers soient particulièrement consommateurs en temps et en ressources humaines) et envisagent de solliciter par la suite un RAPID ou un FUI, en fonction de l'accent qu'ils souhaitent mettre sur le domaine d'application.

Divergences entre acteurs

Les divergences d'intérêts sur la propriété intellectuelle rendent difficile l'obtention d'un accord de consortium. Thales voulait protéger la propriété intellectuelle le plus longtemps possible, Fly-n-Sense voulait pouvoir sortir rapidement des produits commerciaux, donc sans brevet, et le LaBRI voulait pouvoir communiquer les résultats de ses travaux de recherche.

Actualité du projet

Une suite à CARUS a été apportée grâce à un financement de l'AED : programme ASIMUT, dans le cadre d'un *Innovative Concepts and Emerging Technologies* (ICET2). Le sujet est l'étude du concept d'usage d'essaim pour la sécurité, y compris le maintien de l'ordre.

Thales est responsable de l'équipe tandis que le LaBRI est responsable scientifique et technique. Fly-n-Sense est toujours présent, mais le cadre s'est élargi, puisque c'est un programme européen, avec l'intégration d'un partenaire allemand (Franhauser) et luxembourgeois (l'université du Luxembourg).

Il s'agit ici d'un TRL 3 (prototype papier et laboratoire). Le LaBRI ambitionne de faire avancer ce projet jusqu'au TRL 6, si possible par le biais d'autres programmes européens.

Marchés

Les applications immédiates portent sur la sécurité civile, la surveillance et l'exploration de sites :

- incendies ;
- inondations ;
- pollutions urbaines ;
- sécurité de sites et protection des infrastructures critiques ;
- sécurité des plages ;
- surveillance des côtes ;
- surveillance des frontières ;
- etc.

Le marché militaire n'est pas exclu sans être une priorité. Il relèvera plutôt de l'opportunité.

Pour le LaBRI, l'intérêt commercial est modéré sans être inexistant. S'ils sentent possibles de tirer des produits industrialisables des travaux, ils le feront, comme ils l'ont fait pour la téléphonie mobile. Mais pour l'instant, ils ne savent pas encore à quoi ils vont parvenir.

Fly-n-Sense voit dans ce projet la possibilité d'expérimenter des technologies qu'on ne trouve pas dans les produits industriels aujourd'hui, d'accroître sa visibilité et espère à terme tirer des technologies exploitables commercialement.

Chronologie

2010/2011 : début du projet CARUS

2012 : fin de CARUS

2013 : début du programme AZIMUT

2017 : fin du programme AZIMUT

~ 2020 : « Quelque chose » vole

~ 2025 : Commercialisation possible

Leçons

La Région Aquitaine a joué un rôle essentiel en permettant au démonstrateur CARUS de voir le jour et en contribuant au dynamisme régional par la mise en relations des acteurs qui

s'opère autour d'elle. Se tourner vers elle a par ailleurs orienté les applications du projet – du moins en termes de communication – vers le domaine civil.

L'État est ici peu présent, si ce n'est par le biais de la DGA qui joue un rôle « en coulisses » derrière le LaBRI. Fly-n-Sense, pourtant membre de PEPITEA, déclare n'avoir pas perçu d'intérêt particulier de la DGA pour CARUS, ce qui reflète probablement le caractère privilégié des relations que l'organisme entretient avec le LaBRI au détriment des autres partenaires.

En prenant la suite du financement, l'échelon européen occupe pour ce projet une place fondamentale. Toutefois, ce serait un hasard bien extraordinaire qu'un appel à projets européen surgisse précisément au moment où un projet local touche à son terme sur un thème s'inscrivant dans la continuité dudit projet régional. Il faut sans doute y voir une coordination efficace entre le niveau européen, le niveau national public à travers la DGA, et le niveau national privé à travers un grand groupe industriel. C'est l'efficacité de cette articulation qui permet certainement une harmonieuse continuité dans la R&D sur l'essai de drones. Ainsi, quoique souvent fustigé comme lourd, le niveau européen se révèle ici être un moyen de financement complémentaire opportun.

Quant à la dualité, l'hypothèse sociologique se trouve confirmée : Fly-n-Sense ne l'évoqua pas spontanément lors de l'entretien et en dit très peu, alors que le LaBRI fut plus prolifique. Cette différence de traitement traduit à notre sens la quasi-absence de rapports avec la DGA du premier, face à la familiarité des rapports avec la DGA entretenus par le second depuis une dizaine d'années.

retombées dans le spatial. Certaines applications furent également trouvées dans l'automobile. Désormais, une partie des travaux est réalisée pour répondre à des besoins civils, et bénéficieront au monde militaire, estiment les chercheurs.

Description du projet

Les premières recherches sur les matériaux composites thermo structuraux (qui fonctionnent à haute température) ont été appuyées par l'État, notamment à travers les programmes ARCOCE (arrière-corps composites céramique), fabrication des pièces centrales d'un arrière-corps de moteur d'avion civil²⁶, et REBECA, qui le complétait notamment sur les aspects acoustiques.

Il a également été soutenu par le Conseil régional d'Aquitaine et l'Europe (1,1 M€ au total en action collective « Arcoce ») pour structurer autour de Herakles, une société du groupe Safran dont c'est un domaine d'excellence, un réseau de PME locales prêtes à devenir les partenaires de la R&D puis de la production. C'est ainsi qu'est né l'IRT (Institut de Recherche Technologique) Saint-Exupéry. Ce dernier s'inscrit dans l'initiative IRT lancée dans le cadre du PIA en vue d'accroître la compétitivité des secteurs de haute technologie, et qui se traduit par le lancement de huit IRT entre 2012 et 2013.

Néanmoins, si les concepts théoriques sont validés, les procédés, coûts, cadences et *supply-chain* ne sont pas compatibles aujourd'hui avec l'aéronautique, d'où la nécessité de travaux complémentaires.

Ils sont désormais confiés à l'IRT Saint-Exupéry, positionné sur les TRL 3 à 6.

Double sens de la dualité

Les recherches sur les composites à matrice céramique (CMC) sont menées depuis les années 1970, moment où la décision politique fut prise de le faire en Aquitaine. Les applications envisagées sont alors uniquement militaires. En effet, ces composites peuvent résister à des températures supérieures à 3 000°C : ils seront utilisés pour concevoir le M-45, puis le M-51. Ces matériaux composites thermo structuraux trouvent ensuite à s'appliquer sur la fusée Ariane, notamment Ariane-5.

Au début des années 1990, le projet Hermes est mené pour développer des matériaux thermo

²⁶ La finalité est de respecter les impératifs liés au protocole de Kyoto.

structuraux pour la phase de rentrée atmosphérique. Des travaux similaires sont conduits par Aérospatiale (puis Airbus Defence & Space), toujours en Aquitaine. Il s'agit de développer des isolants structuraux (carbonofluorides). Aujourd'hui, la pointe de la tête est réalisée par Airbus D&S, et l'enveloppe par Heraklès.

Après le projet Hermes, les travaux se sont poursuivis. Les matériaux ont été mis dans les moteurs aéronautiques militaires comme ceux des Rafale – qui ont plusieurs caisses en thermo structuraux.

L'application dans l'aéronautique civile est arrivée ensuite pour répondre au besoin naissant d'obtenir des températures plus élevées afin d'accroître la rentabilité des moteurs et réduire les émissions de carbone : c'est une **application d'opportunité**. Des adaptations étaient nécessaires car les moteurs d'avions militaires sont peu nombreux et chers, alors que le monde civil a besoin de produire en masse des objets peu chers, et que le coût du matériau représente 40 % du coût d'une pièce de structure. Le coût d'adaptation porte ici sur les **procédés de fabrication** : accroître les cadences pour faire de la grande série et obtenir des pièces toutes identiques. De plus, l'aéronautique civile exige une grande durée de vie, ce qui n'était pas le cas des applications dans le domaine militaire : les missiles n'ont pas servi et s'ils servaient, ne voleraient pas longtemps, de même que le moteur des fusées spatiales ne fonctionne pas plus de deux minutes. Cela est sans comparaison avec la durée de vie et de fonctionnement des avions civils.

Deux autres **spin-off** sont à signaler : les freins en carbone-carbone. Issus des technologies militaires (pour les missiles), ils sont désormais largement répandus dans les avions civils. L'adaptation a là aussi porté sur le mode de production pour les mêmes raisons. Et dans un domaine très différent, ils se sont aperçus par hasard que les thermo structuraux étaient biocompatibles, alors certains se sont lancés dans le développement de prothèses de hanche en carbone-carbone.

Les spin-off ont été tirés par deux moteurs : la technologie ou les coûts. Dans certains cas, les industriels sont venus les solliciter car ils avaient des besoins de matériaux thermorésistants et Herakles avait la solution. Par exemple, l'industrie nucléaire les a sollicités il y a dix ans pour un besoin précis : il leur fallait un matériau très résistant, et le coût n'était pas dimensionnant. La technologie d'Herakles a dû être adaptée en mettant les fibres à plat plutôt qu'à la verticale, et c'est le demandeur, le CEA, qui cofinança le développement selon une répartition 50/50.

Dans d'autres cas, c'est Herakles qui prend conscience *dans un second temps* que des applications civiles sont possibles à condition de baisser le prix. D'où les recherches en matière de procédés et de choix des matériaux pour réduire le coût.

Aujourd'hui, ils pensent que leurs travaux au profit de l'aéronautique civile visant à abaisser les coûts en jouant sur les procédés et les matériaux auront des retombées dans le domaine militaire, par exemple sur les moteurs du Tigre – et du moteur du M88-3 du Rafale s'il voit le jour.

Financement des CMC

Comme les premiers développements sont militaires à l'origine, les chercheurs ont bénéficié de financements de la part de la DGA (PEA), en complétant par de l'auto-financement, selon la formule classique.

L'adaptation des technologies au monde civil a mobilisé plusieurs niveaux institutionnels :

- la région : soutient les thèses, les travaux des PME et des laboratoires partenaires, les actions collectives ;
- les FUI : 25 % max. pour les grands groupes ;
- ADEME : pour les questions d'environnement, donc mobilisé rarement et pour des petits montants ;
- les projets européens : le taux d'aide varie en fonction du niveau de TRL, et dans les faits, il représente environ 30 % max ;
- le FEDER a été utilisé mais jugé trop compliqué, il ne sera plus sollicité.

Au total, ces aides ne constituent pas un montant important car l'auto-financement représente au moins 80 % du coût total (hors CIR). Le CIR est jugé très positivement, précisément car il permet de réduire le coût total d'autofinancement. Et les thèses CIFRE, qui permettent de bénéficier du CIR, sont considérées comme un bon moyen de faire financer une partie de la recherche.

Il est à noter que le recours à l'auto-financement peut être stratégique : l'entreprise choisit de faire sa R&T en interne pour des raisons de confidentialité.

Les PME parties prenantes de l'action collective lancée en 2008 furent financées à 95 % : 45 %

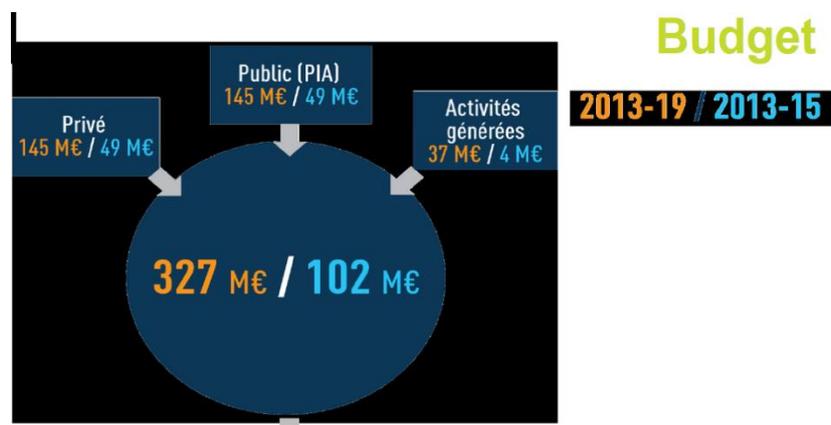
par le conseil régional, et 50 % par Safran.

Quant à l'IRT, il profite de sa structure pour bénéficier du PIA. Le financement de ses projets de recherche se répartit comme suit :

- PIA : 145 M€ ;
- Conseil régional d'Aquitaine : 3 M€ (pour les projets aquitains) ;
- membres fondateurs : 152 M€, dont 10,6 M€ de Safran ;
- autofinancement : 37 M€ (contrats générés par l'institut) ;

TOTAL : 327 M€ (2013-2019)

Les PME et les universités participent soit pécuniairement, soit en mettant à disposition des moyens techniques ou humains.



Source : <http://docslide.fr/technology/presentation-de-lirt-saint-exupery.html>

Le site dédié aux CMC aura un budget d'environ 45 M€ sur la période 2014 – 2019, et devrait accueillir vers 2017 une quarantaine de chercheurs²⁷.

Au financement du projet, il faut ajouter celui du bâtiment, car ils occupent actuellement des locaux provisoires. Ils sont en train d'acheter un bâtiment situé sur le campus Montaudran

²⁷ Mikaël Lozano, « L'IRT Saint-Exupéry prend son envol », *La Tribune – Objectif Aquitaine*, 17 novembre 2014, <http://objectifaquitaine.latribune.fr/innovation/2014-11-17/l-irt-saint-exupery-prend-son-envol.html>.

Aerospace pour un budget de 10M€, et divers acteurs participent :

- IRT: 3,1 M€ ;
- FEDER : 1,8 M€ ;
- Safran : 1,6 M€ ;
- Conseil régional Aquitaine : 1,2 M€ ;
- Bordeaux métropole : 1,2 M€ ;
- ENSAM : participation ;
- Fondation des Arts & Métiers : participation.

Ils espèrent pouvoir l'occuper vers mi-2016.

Naissance de l'IRT

Le dispositif FUI est mis en place en 2005 pour rapprocher les industriels des chercheurs dans un premier temps en orientant la recherche amont vers des applications industrielles, et dans un second temps en les co-localisant dans des IRT.

L'occasion de créer un IRT fut saisie par Herakles après avoir reçu un courrier de la DGA lui demandant d'assurer la pérennité de ses sous-traitants jusqu'en 2032 (date de fin du programme M-51) - conséquence du développement de la sous-traitance. Cela implique de passer d'un modèle d'externalisation à un modèle de partenariat. Herakles en discute avec la région, qui voit son intérêt dans une telle démarche : la préservation de son écosystème économique. Le meilleur moyen d'assurer la survie de ces PME, composées en partie de start-ups, était de les impliquer sur des projets civils existants.

Une vingtaine de PME sont donc orientées vers Herakles autour d'un projet FUI. La plupart de ces PME sont restées présentes tout au long du projet, et une dizaine travaille toujours avec Herakles.

L'objectif du projet est de mener des travaux sur l'arrière-corps des moteurs d'avions civils type CFM-56 (projet ARCOCE). Il donna lieu notamment à un prototype de cône d'éjection en CMC dont les essais en vol sur un Airbus A320 ont constitué en 2012 une première mondiale. Des appareils de ce type en sont aujourd'hui déjà équipés.

L'action collective terminée, l'IRT St Exupéry a pris le relais. L'entité permet de rassembler industriels, chercheurs et PME. Les travaux visent à céramiser les moteurs LEAP qui doivent remplacer les CFM-56. Ils ont plusieurs idées dans les cartons, et prévoient 180 M€ CA en 2025 et la création de 700 emplois liés à cette nouvelle filière en Aquitaine.

Pour cela, ils travaillent sur :

- le choix et la combinaison de plusieurs matériaux (l'arrière du moteur doit résister à 700°C et l'intérieur à 3000°C et il serait trop coûteux de mettre le même matériau partout), en restant au juste besoin pour limiter les coûts. Par comparaison, les militaires avaient des exigences bien plus élevées (matériau auto-réparant, etc.) ;
- les procédés : faire moins cher et reproductible.

La recherche technologique y est conduite en cohérence avec les feuilles de route nationales de l'aéronautique (CORAC) et de l'industrie spatiale, en complémentarité des démonstrateurs du plan d'investissement d'avenir (PAI) localement (Equipex, Labex, SATT TTT, IDEX Unité) ainsi qu'au niveau national avec les autres IRT comme Jules Verne ou M2P²⁸.



Source : <http://docslide.fr/technology/presentation-de-lirt-saint-exupery.html>

Marchés : civil ou militaire ?

L'expérience d'Herakles fait dire à l'interlocuteur qu'il faut marcher sur deux jambes, l'une

28 « L'IRT Saint Exupéry s'oriente vers trois domaines de recherche technologique stratégique », *JEC Composites*, 23 janvier 2014, <http://www.jeccomposites.com/news/composites-news/lirt-saint-exupery-s-oriente-vers-trois-domaines-de-recherche-technologique-str>.

enrichissant l'autre. Par le passé, le marché militaire était le plus important, désormais c'est l'aéronautique civile qui domine et dont les retombées profiteront au domaine militaire. D'ailleurs, l'IRT se positionne sans ambiguïtés sur le civil.

La prédominance du civil doit toutefois être nuancée en fonction des segments de marché : pour le CMC et Safran Céramique, le marché civil est devant, ce qui est une grosse nouveauté pour Bordeaux. Mais pour les airbags (issus du propergol²⁹ conçu pour les M51 et qui sert comme booster d'Ariane 5), le marché de l'automobile rapporte moins que le marché militaire.

En tout état de cause, les investissements vont aujourd'hui massivement à la R&T pour l'aéronautique civile, avec l'idée que le militaire en profitera plus tard.

Chronologie

années 1970 : début des travaux sur les CMC ;

2005 : mise en place du FUI ;

2008 : l'action collective est lancée avec un financement de la région Aquitaine ;

19 novembre 2009 : déclaration de l'État souhaitant investir pour l'avenir ;

2010 : appel à projets ;

2011 : le projet pour un IRT entre Bordeaux et Toulouse fait partie des huit projets retenus ;

2012 : fin de l'action collective ;

2012 : Herakles naît de la fusion de deux filiales de Safran, Snecma Propulsion Solide et SNPE Matériaux Energétiques ;

2013 : création de l'IRT St Exupéry ;

2014-2016 : phase de montée en puissance, lancement de vingt projets et réflexion sur son positionnement stratégique ;

2016 : obtention des premiers résultats scientifiques et démarrage des premiers contrats de recherche – dans ses nouveaux locaux.

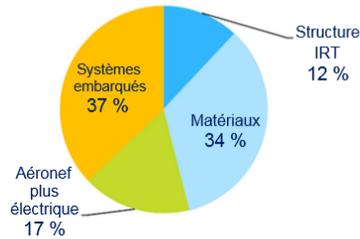
29 Herakles est un des leaders mondiaux des moteurs à propergol solide pour lanceurs spatiaux et missiles.



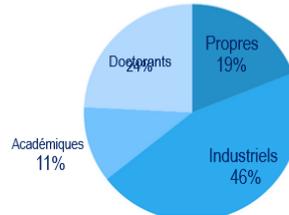
Tranche 1 (2014-2016)

Domaines technologiques clés	Projets tranche 1 / vague 1
Matériaux	COMPINNOVTP
	COMPINNOVTD
	SURFINNOV
	METALTECHNICS
	NANO
Aéronef plus électrique	INTEGRATION
	FIABILITE
	Robustesse électronique
Systèmes embarqués	ALBS
	OCE
	INGEQUIP

Budget IRT tranche 1 / vague 1



Effectifs R&T d'ici 2016



Source : <http://docslide.fr/technology/presentation-de-lirt-saint-exupery.html>

Leçons

Dualité

Les CMC ont été développés pour répondre à des besoins militaires, avec un financement de la DGA. L'application dans le domaine civil n'était pas initialement envisagée. Le schéma s'est inversé, le domaine civil devient prioritaire, mais cette fois-ci, très probablement parce que ces acteurs ont l'expérience des recherches passées – ce qui renforce l'hypothèse sociologique -, ils anticipent une application des travaux actuels au domaine militaire à l'avenir.

La plupart du temps, on observe une dualité d'opportunité. De nos jours, la réduction de la taille du marché militaire incite très probablement les acteurs à privilégier le marché civil, d'autant que celui-ci est disposé à payer la R&D nécessaire.

Relations PME-grandes entreprises-laboratoires

Herakles a un retour d'expérience positif de son travail avec les PME. Ils les ont trouvées très innovantes et très réactives, offrant une complémentarité bienvenue avec le mode de fonctionnement de type « grand groupe ». Le fait que les PME et les laboratoires universitaires soient de plus en plus impliqués dans les recherches conduites par une entreprise plus importante, est perçu positivement, d'autant que cela permet de créer des liens dans la durée.

La formule de l'IRT (co-localisation de ces différents acteurs) semble très positive, même si pas toujours facile au quotidien. Cette formule est appliquée ailleurs avec succès à l'étranger (Franhauser en Allemagne, Tecnalia en Espagne, Danemark...).

Rôle des acteurs institutionnels

La région joue un rôle clé dans cette mise en relation d'acteurs aux profils différents en vue d'encourager la recherche et le développement économique local.

L'État est, lui aussi, fortement présent à tous les stades : recherche amont par le biais des études amont de la DGA ; soutien au développement des PME ; rapprochement entre PME, universités et grands groupes ; co-financement des projets de recherche. Il a joué un rôle moteur dans la constitution des IRT.

L'Europe apporte aussi un soutien financier pour « civilianiser » des technologies et poursuivre les recherches à destination du monde civil.

Groupe Etienne Lacroix : la pyrotechnie

Intérêt de l'étude de cas

Lacroix est en interaction avec les services de l'État en administration centrale (DGA), le correspondant DGA en région et de plus en plus de cluster régionaux ou nationaux. Le groupe sait utiliser bon nombre d'aides de l'État dans un cadre cluster ou non. Il a évolué pour passer d'une R&T très interne à une logique plus ouverte grâce aux clusters. Il travaille aussi directement avec les grands ensemble de défense pour fournir les équipements nécessaires (cas notamment du rafale ou du M2000, où il fournit les leurres et contre-mesures y compris dans les ventes exports)

Lacroix a un système de choix d'orientations très intéressant pour ses développements technologiques. Il s'agit ici de s'intéresser au processus de programmation de la R&T d'une ETI duale et de regarder comment la dualité est gérée par le groupe.

Acteurs impliqués : État, grand donneur d'ordre de l'industrie de Défense, clusters PME.

Type d'application : militaires et civiles avec des technologies très souvent duales, notamment quand il s'agit des bas TRL.

Description de l'entreprise

Le groupe Etienne Lacroix est l'un des leaders mondiaux dans le domaine de la pyrotechnie au service de la défense. C'est un groupe patrimonial (actionnariat familial) de type ETI avec 6 filiales orientées produits : Lacroix, Alsetex, Ruggieri, Etienne Lacroix Logistics, Moulages plastiques du midi (MPM) et très récemment CIRRA. Le groupe Etienne Lacroix fournit des produits pyrotechniques pour le domaine militaire dans les trois armées (Terre, Air et Marine) en leurres, contre-mesures, grenades et autres moyens de défense et d'entraînement et le domaine civil avec notamment des fumigènes (signaux de détresse, anti-intrusion), des déclencheurs d'avalanche et des produits d'artifice de divertissement destinés au grand public. Il a vu le jour en 1948.

En 1953, la société crée son bureau d'études pour développer ses propres produits,

notamment des leurres pyrotechniques pour protéger les forces armées. Depuis, la R&D est restée très présente dans la société. A ce jour, elle compte au moins 100 personnes, parmi lesquelles une vingtaine de docteurs. Elle dispose d'un département de R&D conséquent au service de l'innovation et en soutien à la fabrication. L'ensemble de ce personnel expérimenté, qualifié ainsi que cette capacité de production a permis la mise au point et la maîtrise d'une large gamme de compositions pyrotechniques qui peuvent être classées suivant leurs effets : composition fumigène, éclairante, retardatrice, sonore, propulsive, d'allumage et génératrice de gaz. Cela donne lieu à la fabrication de produits pyrotechniques divers toujours plus performants tels que des leurres pyrotechniques aux signatures thermiques / spectrales bien ciblées, des retards maîtrisés, des pyromécanismes multifonctionnels notamment pour le spatial... L'entreprise est une ETI à statut stratégique au niveau défense, et de ce fait, Lacroix est soutenu par la DGA dans sa démarche de recherche de rupture technologique, et complète grâce à des financements propres.

Il compte cinq activités :

- techniques (contre-mesures, auto-protection) : civile et défense, représente 50 % du CA. Interlocuteur direct de la DGA ;
- sécurité (maintien de l'ordre et sécurité civile, branche Alsetex) : 20 % du CA (60 % de la production exportée) ;
- injection thermoplastique (Moulage Plastique du Midi) : 10 % CA ;
- artifices (Ruggieri) : 10 % ;
- logistique de produits dangereux : < 10 % ;
- packaging de produits fragiles (Cirra) : < 5% ;

On s'intéressera pour cette étude essentiellement à la filiale principale Lacroix.

Finances

Le groupe Etienne Lacroix dans sa totalité a un chiffre d'affaire annuel moyen d'environ 100 M€. Il était fort de 613 salariés fin 2013. Plus de la moitié d'entre eux sont dans la filiale Lacroix, qui s'occupe par ailleurs de l'essentiel de l'activité de R&D du groupe. Le tableau

financier ci-dessous reprend les données financières de cette filiale :

	2010	2011	2012	2013	2014
Effectifs	364	366	405	380	380
CA (€) – liasse fiscale ligne FL	82795	63857	75291	70309	58630
Subventions (k€) – ligne FO	67	228	18	38	241
Capitaux propres (k€) – ligne DL	43658	43176	45139	47256	47044
Capital social (k€) – ligne DA	2475	2475	2475	2475	2475
Dettes bancaires (k€) – ligne DU	4252	3469	2570	3691	4397
Disponibilités (k€) – lignes CE+CG	35566	12116	16151	7708	17431
EBE (k€) – lignes GG+GA+GB+GC+GD	15094	4749	6356	4930	2604

On notera qu'à ce jour, le montant des subventions est faible pour un effort de R&D important. Il devrait fortement augmenter dans les années qui viennent, Lacroix étant amené à déposer de plus en plus de RAPID et vient d'être sélectionné en 2015 par l'ANR pour un projet de laboratoire commun (appel à projet LABCOM) avec l'institut Carnot LAAS-CNRS pour une nouvelle génération d'initiateurs nanotechnologiques, intelligents, communicants et non classés pyrotechniques.

Le principe de Lacroix en d'avoir 1 projet FUI en continu et d'autres projets. Actuellement, il y a 1 RAPID (obtenu en juin 2015 sur l'utilisation de matériaux agrosourcés dans les artifices civils et militaires), tout le reste est sur fonds propres (10% de la R&T de Lacroix est financé par des projets aidés).

L'agence européenne de défense est jugée potentiellement intéressante mais Lacroix n'a pas réussi jusqu'à présent à obtenir des financements.

Sauf pour les laboratoires communs, Lacroix ne veut plus déposer de dossiers à l'agence nationale de la recherche, vu le faible taux de succès.

Le dispositif R&T de Lacroix

En 2013, l'arrivée d'un nouveau directeur général des opérations, maintenant responsable de la filiale Lacroix, insuffle une dynamique nouvelle en matière de R&D avec volonté d'ouverture au partenariat sur les projets de R&T, intensification du dialogue avec la DGA.

L'ensemble des pistes de R&T repose sur deux sources. D'une part, des fiches d'étonnement fournies et nourries par les commerciaux, ingénieurs d'affaires, et responsables de programme du groupe : ils sont le reflet d'une attente du marché et des clients. D'autre part, elles reposent sur des idées internes venant de l'ensemble du personnel. Une commission interne analyse ensuite les propositions en croisant les visions marketing/marché et techniques. A l'issue, les propositions peuvent être non retenues, ou bien rentrées dans le plan R&T mais sans action à court terme ou bien faire l'objet d'une décision de financement pour une montée en TRL. Chez Lacroix, on ne se pose jamais la question de la dualité, c'est vraiment le marché qui tire les développements.

Les notes utilisées par cette commission sont intéressantes et révélatrices de la méthode : caractère stratégique, attentes du marché, retour sur investissement, accessibilité de la technologie ou du concept, intérêt technologique et enfin le financement possible suivant le TRL de début et de fin (avec un screening de tous les financements possibles DGA, Europe, ANR, avec orientation sur les fonds propres)

Le plan R&T comporte 150 lignes. L'application détermine le côté civil ou militaire, il existe aussi d'autres notions de dualités chez Lacroix (notamment médical/civil).

Il existe plusieurs classes de sectorisation du plan R&T : fiabilité et compétitivité, méthodologie et savoir-faire, R&D produits, technologie à démontrer.

Notion de dualité

Si le groupe est naturellement dual (une technologie n'est pas traitée en termes de dualité par la procédure de sélection R&T, ses applications le sont potentiellement. Ainsi divers cas duaux civils-militaires ont-ils évoqués en entretiens :

- Lacroix s'intéresse au traitement des avalanches en montagne avec des drones : ceci pourrait avoir des applications dans le maintien de l'ordre vu les

technologies utilisées ;

- Lacroix participe à un projet de transport de sang par drones entre les deux composantes Rangueil et Purpan du CHU à Toulouse, distantes de 7 kilomètres (projet civil) : il pourrait être proposé en version militaire ;
- Lacroix a développé une technologie pour les systèmes de leurrage du Mirage 2000 à base d'oxygène chimique et des applications avaient été envisagés vers le civil (médical) – ce projet a été abandonné vu les investissements financiers à réaliser, la durée des développements et les aspects réglementaires (ces 3 éléments étant très prégnants dans le secteur médical avant une mise sur le marché). Sans doute la culture du groupe ne permettait pas de se lancer dans une telle aventure.

Le chiffre d'affaire militaire (armée et maintien de l'ordre) représente 60% de l'activité du groupe. Environ 50% du chiffre d'affaire du groupe est fait à l'export.

Focus sur l'oxygène chimique

Le travail sur l'oxygène chimique est historique chez Lacroix, qui a bénéficié des acquis de Ruggieri lors de l'acquisition de cette société dans les années 1990. A l'époque, plusieurs marchés DGA étaient visés et Ruggieri bénéficiait du soutien DGA pour encadrer ses mises au point et gagner en TRL. Dès l'acquisition de Ruggieri en 1997, Lacroix a vu l'intérêt de cette technologie lors de son état des lieux sur les actifs acquis, et décidé de poursuivre l'effort. Un marché en partenariat avec Air Liquide a permis cette élévation de TRL pour une application à l'usage des pilotes dans les phases critiques où ce dernier doit décider très rapidement d'avoir recours à l'usage d'O² pour faire face à une défaillance et se remettre à une altitude où ce manque devient moins critique ((ex : M2000). Cette étude sous arbitrage Air liquide (juge et partie puisqu'il avait la solution gaz) n'a pas été favorable à Lacroix, qui a néanmoins pu démontrer un rendement plus important que d'autres concurrents américains, mais aussi une pureté maximale. Cette technologie présente en outre plusieurs avantages : pas de maintenance, pas de gaz sous pression, faible poids, manipulation aisée et coût faible, sans compter l'absence de contrainte liée à la norme ITAR puisque la solution est entièrement française.

D'autres applications sont envisagées :

- en alternative aux solutions gaz (plus dangereuses/coûteuses) pour les pilotes de chasse ;
 - dans les sous-marins, mais ils sont souvent approvisionnés au Royaume-Uni ;
 - dans les avions de ligne, mais ils sont souvent approvisionnés aux États-Unis ;
 - dans le médical, pour les primo intervenants (accidents, premiers secours, malaises, etc.), sur un principe similaire à celui du défibrillateur afin de gagner des minutes.
- Intérêt manifesté par le GIGN et les FS.

Mais l'entreprise se heurte à des difficultés : le marché ne donne pas de signaux forts, ce qui freine le soutien des financeurs ; le lobby des solutions à base de gaz est puissant ; le marché des avions civils est dominé par les Américains et le marché médical traditionnel est complexe en termes d'homologation et mal connu de Lacroix.

Depuis, l'entreprise attend une opportunité pour relancer ces travaux, qui sont à un TRL > 5.

Clusters et acteurs principaux

Il est très important d'être dans les clusters pour le groupe, ainsi Lacroix a adhéré aux structures suivantes au fil des ans : Aerospace Valley, Aetos, Pégase, Primus, Cercle de l'Arbalète. C'est une façon de faire rayonner Lacroix et de générer des développements. C'est cependant une nouvelle culture pour le groupe, qui a trop souvent tendance à rester dans sa culture patrimoniale d'origine.

Le correspondant local DGA (en poste à la Direccte) est très important, la MRIS de la DGA reste cependant pour Lacroix une entité perçue secrète même si des réunions ont été initialisées avec succès depuis 2013 avec des contacts non permanents / non récurrents - les feuilles de route de la MRIS sont jugées excellentes.

Leçons

Lacroix juge opportun de créer un cluster chimie de défense national autour des grands acteurs : Héraklès + Lacroix + autres (Nexter ?) pour traiter de sujets tels que ITAR, REACH et l'export. La présence de DGA/MN dans ce cluster serait plus que souhaitable.

Pragma Industries : la pile à combustible

Intérêt de l'étude de cas

L'entreprise est une PME basée à Bidart (64), identifiée comme une des 80 entreprises de la région Aquitaine comme ayant un potentiel d'innovation dans l'industrie duale et de défense. Elle emploie aujourd'hui 10 personnes.

La région Aquitaine a fortement appuyé la société par le biais d'aides financières à la R&D et d'aides au développement.

Le potentiel dual s'est concrétisé par un partenariat établi avec Nexter Electronics et la réalisation d'un groupe électrogène, premier produit commercial de Pragma, destiné au marché militaire mais pouvant s'employer plus largement dans la sécurité civile et les activités en montagne. La réalisation de la pile-bobine bénéficie actuellement d'un RAPID, signe de l'intérêt certain de la technologie pour la défense. Le vélo électrique est leur deuxième produit, commercialisé très bientôt. Il a bénéficié d'une subvention de la Région.

La société a tissé des liens étroits avec des entreprises locales par choix : le co-fondateur a ainsi pour principe de chercher d'abord des partenaires localement, puis nationalement, avant d'aller au-delà des frontières. Son ancrage local est donc aujourd'hui fort, au point de le pousser à rester en France en dépit de propositions d'expatriation en provenance de la Californie en échange de financements plus substantiels.

Acteurs impliqués : État, région, grand donneur d'ordre de l'industrie de défense, business angels.

Type d'application : militaire, puis civil.

Description de la société

Fil conducteur initial

Pierre Forté crée en 2004 la société Pragma Industries en vue de développer une pile à combustible (PàC) capable d'être fabriquée en grande quantité à faible coût. Rémi Succoja, ingénieur en électronique et automatique issu du monde de l'automobile, le rejoint

rapidement et prend le statut de co-fondateur.

Les premières années, ils observent que la fabrication de la PàC relève encore de l'artisanat : l'industrie de la pile à combustible n'existe pas. En outre, la stratégie de positionnement classique consiste à chercher à accroître la performance de la pile pour un coût identique. Pour se démarquer et être rentable, leur stratégie consiste à non pas chercher la meilleure performance mais la réduction du coût unitaire de fabrication à travers une industrialisation du processus, c'est-à-dire des machines fonctionnant à cadence très élevée. Cela implique également de développer un standard de conception de pile, appelée pile-bobine : leurs piles ont une architecture à ce jour unique au monde. Si la logique initiale du marché est de concevoir une pile répondant au besoin énergétique du client, avec eux, le client doit simplement utiliser plusieurs piles pour obtenir la puissance souhaitée, comme il le fait avec des piles alcalines.

Guidés seulement par ce concept de fabrication, ils n'envisageaient au départ aucun domaine d'application. Cela arrivera bien plus tard, au fil des rencontres et des opportunités.

Stratégie de développement

Les premières années furent consacrées à l'étude de l'état de l'art, la compréhension du marché et l'analyse du positionnement stratégique concurrentiel à adopter. Le premier chiffre d'affaires arrive en 2008 avec le premier marché sur lequel la société se positionne : le monde de la recherche. La pile qu'ils ont conçue est employée dans des projets de recherche. Deux ans plus tard, la société se positionne sur les produits pédagogiques (systèmes didactiques spécialisés pour l'enseignement). Ce positionnement sur le marché des PàC à des fins pédagogiques et de R&D allie trois avantages : c'est le seul marché tangible autour de la PàC, donc à offrir une opportunité de chiffre d'affaires ; il permet de mûrir le savoir-faire dans des applications non-critiques ; et de convaincre le public du potentiel des PàC.

En 2012-2013, Pragma Industries reçoit ses premières demandes industrielles. Comme il n'y a que cinq sociétés au monde à proposer des piles à combustible de faible puissance, elle n'a pas besoin de démarcher des clients : parce que Pragma appartient à un petit milieu, elle se fait contacter. Cela la fait entrer dans une logique de production. Depuis lors, elle cherche du

financement pour s'équiper en outillage industriel.

Origine du groupe électrogène

Parmi les premières demandes reçues, se trouve celle de Nexter Electronics. La filiale munitions de Nexter, reconvertie entre-temps dans l'électronique de puissance, souhaite pouvoir répondre à un besoin d'énergie transportée. Son profit provient actuellement majoritairement du MCO, aussi souhaite-t-elle se réorienter vers le stockage d'énergie.

A la demande de Nexter Electronics, Pragma développe un premier prototype de groupe électrogène et l'expose au premier salon SOFINS de 2013. A cette occasion, des membres des forces spéciales montrent leur intérêt pour la technologie développée et les discussions qui s'ensuivent permettent à Pragma d'affiner son produit pour mieux répondre au besoin des opérationnels. Le groupe électrogène qu'elle commercialise actuellement est issu de ces échanges.

Origine du vélo électrique

Orientée par la Région, la Poste prend contact avec Pragma. Ils ont un parc important de vélos électriques et seraient intéressés par leur pile à combustible. Un vélo équipé de ce système se recharge en quelques secondes en insérant de petites cartouches jetables d'hydrogène, ou en quelques minutes avec un réservoir sous pression. Ce système étend l'autonomie du vélo.

Pragma passe 6 à 8 mois à monter le projet et trouve 6 partenaires français, dont 3 en région aquitaine et 2 dans la Drôme. Le Conseil régional apporte son soutien et finance 60 % du projet, appelé BikeBerri.

Nature de la dualité

La technologie développée par Pragma Industries est en soi « neutre », ni militaire ni civile. De la même façon, Nexter Electronic est, comme Pragma, sur l'électronique de puissance, mais positionnés sur la grosse mobilité électrique, et cela concerne aussi bien le civil que le militaire. De ce fait, Nexter Electronic est dans une logique totalement duale. Ces deux cas tendent à montrer que ce type de technologie et de positionnement marché (la mobilité électrique) est indifférent à la nature civile ou militaire de l'application.

La décision de se tourner vers le militaire est un choix d'opportunité relevant de deux facteurs : la prise de contact de Nexter Electronics, et l'intérêt montré par les opérationnels au SOFINS.

Pour répondre à ce besoin militaire, l'entreprise a dû réaliser un produit très résistant et performant, ce qui lui confère une grande qualité. Les attentes civiles sont moindres en termes de résistance aux chocs, aux températures (40°C-45°C max. contre 55°C pour le militaire), et de tolérance à la pluie et au sable. Cependant, l'entreprise ne souhaite modifier rien d'autre que le « packaging », car certaines applications civiles comme le secourisme en montagne demandent un niveau très similaire d'exigence, et ce positionnement qualité est pour Pragma un gage de qualité. Son produit est par conséquent entièrement dual, ne demandant aucun développement spécifique pour changer de domaine d'application.

Financement

Pragma Industries commence par trouver son financement dans des concours de l'innovation, qu'elle commence à gagner dès fin 2003. Elle réussit ainsi à collecter environ 55 000 €, et ces succès lui permettent de lever par la suite 80 000 €. A partir de 2007, Pragma se tourne vers des business angels, auprès de qui elle peut lever entre 200 000 € et 400 000 € chaque année. Depuis 2007, cela constitue un total de 2,1 M€. Parce que ces levées de fonds couvrent tous les besoins de l'entreprise (investissements, charges, etc.), il est très difficile d'estimer la part d'autofinancement en R&D.

Divers canaux externes ont apporté leur soutien à la R&D de la société depuis sa création :

- concours de l'innovation et de la création d'entreprise : 50 000 € à 60 000 €
- OSEO : 600 000 € (avances remboursables et subventions)
- Conseil régional : (subventions et prêts d'honneur)
- agglomération Côte basque – Adour : 25 000 € (subvention)
- RAPID (en 2014) : 200 000 €, soit 45 % du projet portant sur la pile-bobine (le reste est autofinancé)
- FEDER : 130 000 €.

A cette liste, on peut ajouter le CIR dont Pragma a bénéficié (entre 70 000 € et 90 000 €) et

qui complète les subventions reçues par ailleurs, ainsi que sa participation à deux projets européens dont celui de H2020 emmené par Air Liquide³⁰. Néanmoins, l'étude porte sur la démonstration et l'acceptation sociale de la technologie, et n'a pas l'intérêt commercial que recherche Pragma.

L'entreprise n'a pas de stratégie particulière pour le financement de sa recherche. Elle saisit les opportunités qui se présente, d'où qu'elle vienne, du moment qu'elles correspondent à son besoin.

30 Air Liquide est l'investisseur principal en France sur les piles à combustible car c'est dans leur propre intérêt de développer ce marché.

En ce qui concerne les produits commercialisables, le coût du développement du groupe électrogène fut remboursé sur facture par Nexter Electronics – Pragma demeure entièrement propriétaire de la PàC³¹.

Pour sa part, le vélo électrique reçut une subvention de la région Aquitaine pour un montant de 200 000 €, représentant 60 % des coûts. Les 40 % restants sont partagés entre l'ensemble des partenaires : La Poste, Cycle Europe pour les vélos, Vantech pour l'électronique, Aventa pour le gaz, Stelia Composites pour les réservoirs, et Pragma.

Enfin, la société fut aidée dans son développement par :

- la région Aquitaine, via des subventions d'aide au recrutement, d'aides à la production, etc. (150 000 € depuis 2004),
- Oseo, pour environ 9 000 €,
- Intersystems, par des subventions à la création d'emplois (10 000 €).

Au total, l'aide au développement de l'entreprise s'élève à environ 170 000 €.

	R&D de la PàC	Groupe électrogène	Vélo électrique BikeBerri
autofinancement	~2 M€		
OSEO	120 000 €		
Conseil régional Aquitaine	80 000 €		200 000 € (60 % du projet)
Agglomération Côte basque - Adour	25 000 €		25 000 €

31 Les deux entreprises n'ont pas déposé de brevet mais se sont essentiellement répartis les droits d'exploitation commerciale.

RAPID	200 000 €		
CIR	70 000 €-90 000 €		
FEDER	130 000 €		
Banque	40 000 €		
Divers	prêts d'honneur et concours (~120 000 €)	Remb. sur factures par Nexter (100 %)	

Désormais, la société recherche des fonds pour acquérir l'outillage industriel qui lui permettrait de franchir une nouvelle étape dans son développement.

Marchés présents et à venir

Guidé uniquement par un concept, Pragma n'avait pas d'idée préconçue sur les applications possibles. Ses marchés sont tous des marchés d'opportunité, nés au fil des rencontres. Les dirigeants ont ainsi été approchés par des personnes du domaine médical, intéressés par le potentiel de la technologie pour des appareils médicaux portables. D'autres personnes imagent des tondeuses à gazon fonctionnant à la PàC. Toutes ces discussions les conduisent à imaginer un marché dans le domaine des petits appareils nomades.

A ce jour, Pragma a deux marchés en perspective :

- la sécurité civile et militaire : Pragma a développé avec Nexter un groupe électrogène léger et petit appelé Teya, qui est une recharge d'énergie pour les forces spéciales. Un autre groupe électrogène est en préparation, plus gros et répondant aux besoins d'une base de vie. Il s'appelle Segma. Une intégration sur drone est également en cours de discussion. L'entreprise appelle toutefois ce segment de marché « sécurité civile et militaire » car le groupe électrogène peut s'employer pour la sécurité en montagne ou d'autres domaines civils. Il s'agit donc d'un segment dual.

- la petite mobilité : Ce marché est entièrement civil. Leur unique produit, le vélo électrique, sera présenté en octobre 2015 et les commandes sont attendues sous peu. La pile mise sur les vélos est exactement celle qui fut développée pour le groupe électrogène grâce au

financement de Nexter Electronics ; elle n'a subi aucune modification avant d'être insérée sur les vélos.

Parts de marché

Aujourd'hui

Le chiffre d'affaires de l'entreprise se répartit actuellement en parts égales entre la partie militaire et la partie civile. Toutefois, il faut souligner que la part militaire recouvre le remboursement par Nexter Electronics des frais de développement du groupe électrogène, et non une vente de produits commercialisés. Le seul produit commercialisable, Teya, ne sera mis en vente que fin 2015.

Quant au marché civil, il se compose des produits initiaux de la société, c'est-à-dire les piles à vocation pédagogique ou de recherche. Ils rapportent entre 200 000 € et 400 000 €/an. Là encore, il faut attendre fin 2015, début 2016 pour que les premiers produits (les vélos électriques) soient commercialisés.

Demain

Il est difficile de dire comment la répartition va évoluer en passant à la phase de commercialisation des produits à la fois militaires (Teya) et civils (les vélos). Pragma s'attend à ce que les parts restent identiques les premières années du fait que son vélo relève d'un marché de niche, tout comme le domaine militaire est un marché de niche. Ils n'en sont qu'aux premiers développements et la phase d'industrialisation doit être passée pour voir le prix (7 500 € pièce aujourd'hui) baisser. D'ici au moins 3 ans, si le marché du vélo prend alors son essor, la part civile du chiffre d'affaires pourrait devenir majoritaire.

Globalement, le marché de la PàC est petit. A ce jour, sont fabriquées et vendues dans le monde 14 000 PàC par an. Par comparaison, le marché des piles bâtons se chiffre en milliards d'unité par jour. Pragma mise sur une production de masse pour offrir des PàC à bas coût et faire décoller ce marché.

L'export

La société a des ambitions internationales : les produits militaires (Teya et Segma) seront exportés grâce au soutien de Nexter Electronics.

L'exportation des vélos reste toutefois limitée par le fait que la société n'est pas encore en mesure d'assurer un support client et le service après-vente.

Chronologie

- 2004 : création de la société Pragma Industries et financement via business angels
- 2004-2008 : travaux de recherche pour mettre au point une pile à combustible plus légère et réflexions sur le positionnement stratégique à adopter
- A partir de 2008 : marché visé : le monde de la recherche. Obtention du premier CA
- A partir de 2010 : marché visé : les outils pédagogiques
- 2012 : premières prises de contact d'industriels, dont Nexter Electronics. Réalisation d'un prototype de groupe électrogène
- 2013 : présentation du groupe électrogène au salon SOFINS et prise de contact de militaires, qui demandent un produit spécifique
- 2014 : réalisation du groupe électrogène répondant au besoin militaire exprimé
- octobre 2015 : présentation de leur produit pour le marché civil, le vélo électrique
- fin 2015 : commercialisation du vélo électrique et du groupe électrogène Teya
- 2016 : commercialisation du groupe électrogène Segma
- + 2018 : phase espérée d'industrialisation, entraînant une baisse du coût unitaire des produits et une possible modification de la répartition civile/militaire du CA

Leçons

Certaines technologies, comme l'électronique de puissance, semblent être par essence totalement duales et ne même pas nécessiter d'adaptation pour passer d'un domaine à l'autre.

Étant positionné sur le processus de fabrication, Pragma Industries était entièrement ouverte aux opportunités concernant les domaines d'application.

Ces opportunités naissent des rencontres, aussi l'ADI a-t-elle été un allié précieux pour Pragma³². La personne y servant de point de contact pour la société effectue un travail de diffusion des informations et de mise en relation essentiel au développement des petites sociétés régionales.

L'hypothèse sociologique n'est ici pas validée. Bien que Pierre Forté soit un ancien salarié de Dassault Aviation dans sa partie militaire, cela ne semble avoir eu aucune influence sur la trajectoire suivie par la technologie développée.

Bien que Pragma participe à des projets européens, elle y trouve peu son intérêt, soulignant que l'échelle de temps d'une TPE (6-12 mois) ne correspond pas à celle de ces projets (3 ans). Les dispositifs régionaux lui apparaissent mieux adaptés puisqu'il n'y a aucune contrainte temporelle, et il lui est possible de faire aussi bien de la R&D que du développement de projet pilote, comme les vélos électriques pour la Poste.

Enfin, les difficultés que rencontre Pragma à financer son outillage industriel sont l'occasion de souligner des lacunes, tant dans le secteur privé que public. En effet, les banques, dont c'est un des rôles traditionnels, sont peu enthousiastes à financer l'outillage industriel d'une entreprise qui est tout juste à l'équilibre, d'autant que ces machines, qui seront une première mondiale, nécessitent encore au moins 12 à 18 mois de travail pour leur mise au point ultime, et pour un marché dont l'existence n'est que suspecté. Quant aux capitaux-risqueurs, leur incapacité à jauger le risque sur son marché les rend frileux. Dans le domaine public enfin, force est de constater qu'il existe des dispositifs pour financer la R&D : CIR, DGA, UE, appels à projet, etc. En revanche, ils se font plus rares pour financer le développement d'un produit – limite de RAPID, par exemple – et encore davantage s'il s'agit de financer un outil industriel. Le crowdfunding serait-il une solution ?

³² Pragma Industries fait partie des entreprises suivies dans le cadre de PEPITEA, une initiative conjointe de la DGA et du conseil régional d'Aquitaine et gérée par l'agence Aquitaine développement innovation (ADI).

Trust-in-Soft : analyseurs de code-source pour systèmes critiques

Intérêt de l'étude de cas

Trust-in-Soft est la seule entreprise à éditer des solutions d'analyses de logiciel qui ne nécessitent pas de modifier le processus de développement. En s'appuyant sur la plate-forme open source Framac développée au sein du CEA, la société peut garantir mathématiquement que le morceau de logiciel analysé n'a pas de failles.

La start-up est liée à un laboratoire du CNRS qui a développé la plateforme Framac suite à une commande d'industriels. La commercialisation des produits issus de cette technologie a donc nécessité une double négociation : d'abord vis-à-vis des industriels qui ont financé son développement, puis vis-à-vis du laboratoire qui avait mené cette négociation à son profit.

Acteurs impliqués : État (BPI, ANR, ministère de l'Industrie), laboratoire public, grandes entreprises.

Type d'application : au départ le secteur aéronautique et énergétique, puis transfert à l'espace, à la défense, aux télécommunications et aux systèmes industriels critiques.

Création

La société est fondée en mai 2013 par Fabrice Derepas, Benjamin Monate et Pascal Cuoq, tous les trois précédemment au CEA et co-inventeurs de la technologie Framac. Celle-ci fut originellement développée au CEA-LIST (laboratoire de logiciel de sécurité) et à l'INRIA-Saclay Île-de-France (équipe Toccata, avec le LRI-CNRS et l'Université de Paris-Sud-11) pendant plus de 10 ans grâce à un financement exclusivement industriel et privé : Airbus (avionique civile) et Areva (réacteurs nucléaires civils). Le CEA négocia à l'époque les droits de propriété intellectuelle de façon à pouvoir la ré-utiliser en propre. Cette négociation sur la PI fut facilitée par le fait qu'une importante partie du code utilisé était en open source.

L'exploitation de la technologie apporte au CEA des contrats. Mais étant un établissement public, ce dernier n'est pas en position d'assurer le service client, négocier des contrats et lever des capitaux. C'est pourquoi Trust-in-Soft est né d'une dissociation d'avec le CEA. Lui-même a dû négocier l'utilisation de Framac ; il continue de payer le CEA pour réaliser des travaux sur cette technologie.

Technologie et marché

Framac est un débogueur qui fonctionne en interprétant les programmes C proposition par proposition, du début jusqu'à la fin. Il est sans faux positif, ce qui représente une innovation majeure dans ce domaine.

Conçue initialement pour la sûreté de fonctionnement (Airbus souhaitait vérifier la fiabilité des commandes de vol à un coût acceptable), son usage s'est étendu à la cybersécurité. Pour ceux qui ont besoin de vérifier la sûreté d'installations critiques, cette technologie leur permet de réduire les coûts de validation ; et pour ceux qui n'ont pas l'habitude d'utiliser ces méthodes car trop coûteuses, elle amène un degré de qualité supplémentaire dans leurs produits. En d'autres termes, elle réduit le coût pour les clients habituels et attire de nouveaux clients sur le domaine de la sûreté de fonctionnement et la cybersécurité par son prix accessible.

Financement

Au moment de la création de Trust-in-Soft, la technologie était développée mais il fallait pouvoir la déployer industriellement : c'est le passage de la technologie au produit que la jeune société a dû financer. Pour cela, ils ont levé en tout 1 million € via :

- prêts de BPI
- projet ANR
- concours national du ministère de l'Industrie
- projet du ministère de l'Industrie.

A cela, il faut ajouter l'aide financière et non-financière apportée par les pôles de compétitivité

et les incubateurs :

- Scienti-pôle (région Île-de-France) : prêt de 60 000 € (20 000 € par fondateur)
- IncubAlliance (plateau de Saclay, ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche)
- Paris Région Lab (incubateur)
- réseau HEC+ (CCI)

Les pôles de compétitivité permettent de déposer des projets collectifs auprès de plusieurs guichets. Dans son cas, les collectivités locales n'ont pas retenu son projet et il pense que la raison est qu'il ne correspondait pas à leurs priorités. De ce fait, son financement est presque exclusivement national mais ce n'était pas un choix personnel.

Le projet RAPID est arrivé un an plus tard et les finance à hauteur de 70 % (plus que le taux habituel de 50 %).

Ils ont par ailleurs déposé des projets européens avec le CEA et des partenaires industriels ; c'est une habitude de chercheurs qu'ils ont conservée. Mais en tant que TPE, ils regrettent qu'il leur faille réaliser un important travail de lobbying en amont des appels à projet car c'est du temps qu'ils ne peuvent passer à développer leurs activités.

Aujourd'hui, il compte 1 € d'argent public pour 1 € d'argent privé, puisqu'ils ont levé environ 1 M€ et ont remporté 1 M€ de contrats.

Pour la suite de sa recherche de financement, il garde ouvertes les deux options civiles et militaires.

Dualité de la technologie et rapports avec la DGA

Déjà au CEA, ils pressentaient le potentiel dual de leur technologie, car ils ne travaillent pas sur le vrai code du système, ils ne font que le vérifier. Il prend l'image du fabricant de micro-processeurs, qui offre le support sans voir si dessus les logiciels seront militaires ou civils. Le fait de ne pas accéder au vrai code lui ouvre également les portes de l'international.

Comme ils avaient déjà des rapports avec la DGA lorsqu'ils étaient au CEA, ils ont tout naturellement pris et obtenu un rendez-vous avec la DGA un mois après la création de la société. Leurs rapports formels et informels avec la DGA rendent superflue l'intermédiation de la Direccte.

Clients

Leur premier client en tant que Trust-in-Soft fut une entreprise américaine de défense qui travaillait sur un contrat de la DARPA. Puis sont venues d'autres entreprises dans le ferroviaire, le spatial, les télécommunications, et maintenant l'automobile. Cela lui fait dire que leur marché est la cybersécurité, quel que soit le domaine d'application du moment qu'il s'agit de systèmes critiques (produit trans-sectoriel).

Le fait d'avoir des applications militaires lui confèrent une légitimité [comme Vaylon], parce que les industries de défense françaises sont reconnues à l'international.

Aujourd'hui, 50 % de son chiffre d'affaires est réalisé aux États-Unis.

Sur le total du chiffre d'affaires, la part défense représente environ 10 % (moyenne sur ses deux premières années d'existence). Les contrats dans le militaire sont rares mais d'un montant plus important que dans le civil. Néanmoins, les perspectives de développement se trouvent pour lui très clairement dans le civil, et à l'export.

D'ailleurs, la performance de leur technologie leur a ouvert les portes du marché américain :

- vainqueur du prix Netva 2013, qui leur permet de rentrer sur le marché américain ;
- primé par le Nist (National Institute of Standards and Technology) dans le cadre d'une campagne d'expérimentation des outils d'analyse statique de code baptisée SATE ([Static Analysis Tool Exposition](#)) ;
- pour entrer sur le marché américain des voitures connectées
- parmi les dix finalistes du concours "Most Innovative Company" de la **RSA Conference** 2015 à San Francisco : une première pour une entreprise hexagonale depuis dix ans sur le secteur de la sécurité logicielle.

Calendrier

Mai 2013 : création de Trust-in-Soft

Juin 2013 : rendez-vous à la DGA pour définir le périmètre d'un RAPID, qu'ils ont déposé en

fin d'année.

2013 : prix Netva 2013, accès au marché américain

Début 2014 : début du RAPID (AUROCHS)

Octobre 2014 : adhère à HexaTrust, un club fondé par des PME et ETI françaises qui détiennent une expertise complémentaire sur la sécurité des systèmes d'information, la cybersécurité et la confiance numérique.

Leçons

L'offre de financement publique lui semble riche. Il regrette seulement qu'il n'y ait pas d'équivalent du *Small Business Act* américain. Le Pacte Défense PME lui semble une bonne avancée quoique insuffisante. L'accès au marché pour les TPE lui semble toujours compliqué.

Et il regrette le manque de soutien lors de la phase d'industrialisation (passage difficile de la technologie au produit).

Le passé de chercheurs leur facilite l'accès aux appels d'offre européens, même s'il regrette le temps passé en lobbying. D'autres acteurs, comme Vaylon ou Pragma, n'ont pas les moyens de réaliser ce lobbying et finissent par se détourner de cette source de financement, qu'il juge trop compliquée, trop longue par rapport à leur propre cycle, et trop internationale pour Pragma, qui préfère dans ses collaborations privilégier les acteurs locaux.

Le même passé de chercheurs leur donne un accès direct à la DGA, ce qui leur permet de négocier un RAPID dès leur création, une impossibilité pour Vaylon qui doit trouver d'autres sources de financement. Cela rend superflu l'intermédiation de la Direccte ou d'autres points de contacts classiques (à la région, dans les clusters).

Bénéficiaire d'une technologie quasi-prête à être commercialisée et d'un réseau bâti au CEA réduit leur besoin de financement comparativement à d'autres start-up, ce qui lui fait dire que l'offre publique existante est satisfaisante. Les sources nationales lui permettent de répondre à son besoin (ils n'ont pas encore tout consommé).

Le réseau est un élément essentiel de son développement : cela lui ouvre les portes de la DGA, même si le marché militaire français est anecdotique (0 € en 2015) et des projets européens.

Enfin, l'export est un élément essentiel de son développement, caractéristique que l'on retrouve chez les autres TPE (Pragma, Weeroc, Vaylon, Vodéa).

Vaylon : la voiture volante baptisée Pégase

Intérêt de l'étude de cas

La start-up est une TPE d'origine alsacienne, dont le produit doit son existence au soutien initial du COS. Cette marque d'intérêt convainquit la DGA d'accorder une subvention OSEO-DGA. La région Alsace soutient le projet mais retire son appui lorsque le partenaire industriel de Vaylon se fait racheter et est remplacé par une entreprise francilienne.

A cause des différences normatives et d'exigences entre le domaine d'application civile et militaire, deux voitures auraient dû être développées. Pour réduire les coûts, un seul modèle sera conçu. Ce cas d'étude est donc instructif sur la gestion d'exigences contradictoires et la façon de faire face aux coûts de redéveloppement. Elle emploie aujourd'hui deux personnels.

Acteurs impliqués : OSEO, DGA, région Alsace, entreprises civiles, école d'ingénieurs.

Type d'application : duale, l'application militaire permettant au produit de voir le jour.

Développement de la société

Origine

L'idée d'une voiture volante est venue à Jérôme Dauffy en passant son brevet de pilote paramoteur ; il pense alors au marché civil : tourisme, loisir, déplacement. En 2008, il rejoint l'incubateur alsacien Semia (Science, Entreprises, Marché, Incubateur d'Alsace, créé en 2004). Il s'agit d'une association présidée par le conseil régional d'Alsace et fondée par ce dernier, le CNRS, l'INSERM, l'Institut national des sciences appliquées, l'université de Strasbourg et l'université de Haute-Alsace. Semia aide à trouver des investisseurs³³. OSEO est sollicité, mais ne croit pas au projet. Dauffy fait appel à une école d'ingénierie aéronautique pour l'aider à

³³ Elle-même est financée par le Conseil régional, la métropole de Strasbourg, l'Europe et le ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche.

développer son idée. L'un des directeurs de l'établissement connaît le directeur de la stratégie de la DGA et conseille à Jérôme Dauffy de le rencontrer. Ce dernier le renvoie vers le COS, qui se montre très intéressé car le projet va au-delà des attentes des forces spéciales. Ce fut l'élément déclencheur qui permit à Dauffy de voir aboutir son projet ; avec OSEO seulement, le projet n'aurait pas décollé.

Démarrage

Fort de l'intérêt d'un client potentiel (le COS), il sollicite un RAPID et, pour cela, crée en 2010 la société Vaylon. Le projet en est au stade papier. On lui refuse néanmoins le RAPID pour deux raisons : la voiture volante n'est « pas assez innovante »³⁴, et la DGA craint pour la pérennité de la société, jugée trop jeune³⁵. Elle réoriente toutefois Vaylon vers une convention OSEO-DGA.

Financement

Phase initiale

Jusqu'à ce qu'il perçoive l'aide d'OSEO et de la DGA, Jérôme Dauffy a vécu sur fonds propres, constitués par :

- la famille ;
- le prêt créateur-innovant (25 000 €) de la région Alsace ;
- le prêt d'honneur (40 000 €) en tant que lauréat du réseau entreprendre (2011) ;
- étudiants ayant travaillé sur le projet ;
- son partenaire ;
- le directeur de l'innovation du pôle de la voiture du futur (Alsace).

Au total, 120 000 € couvrent les premiers niveaux de TRL.

La région lui fait également bénéficier d'une aide indirecte au tout début de son activité, 3 000 € pour embaucher des stagiaires ou réaliser la première embauche.

34 Analyse proposée : décrit comme une voiture avec une aile (termes de la DGA), le projet n'est pas innovant au sens où les technologies employées sont « trop simples ». Cette représentation de l'innovation propre à la DGA découle de la culture d'ingénierie qui caractérise l'institution.

35 Risque de prophétie auto-réalisatrice : la société pourrait ne pas durer précisément parce qu'elle n'a pas les financements dont elle a besoin pour poursuivre son développement.

Enfin, le statut de jeune entreprise innovante et de jeune entreprise étudiante lui ont permis de bénéficier d'exonérations fiscales et sociales.

Lui-même ne s'est pas versé de salaire pendant plusieurs années.

Convention OSEO-DGA

Il a fallu attendre deux ans pour obtenir le financement d'OSEO-DGA, car le projet fut expertisé quatre fois, par deux experts militaires et deux experts civils, sur les aspects aéronautiques et automobiles. En outre, OSEO demandait qu'un consortium soit signé entre lui et son partenaire pour la fabrication du véhicule. Fin 2011, il obtient 60 000 € d'avance remboursable de la DGA et autant de subvention de la part d'OSEO. Sa technologie en est au stade 3 et l'objectif est de réaliser un prototype (TRL 5).

Il estime qu'ASTRID était trop en amont pour eux.

Partenaires

Le pôle Véhicules du futur en Alsace conseille à Dauffy d'aller voir Tork Engineering, l'équipe technique d'Alain Prost. C'est une filiale d'un grand groupe³⁶, basée en Alsace et spécialisée dans le développement des voitures très performantes à bas coût. Convaincus par Jérôme Dauffy, ils investissent plus de 200 000 € sur fonds propres.

Malheureusement, au moment où ils lançaient la fabrication du véhicule, Tork fait faillite et se fait racheter par Poclair véhicules, qui décide de fermer les activités de R&D. Valyon trouve alors un autre partenaire, Sera Ingénierie, une entreprise basée en Île de France et familière du domaine militaire, puis sollicite un prêt d'amorçage auprès du Conseil régional d'Alsace et d'OSEO. Or, les deux organismes redoutent que la faillite du partenaire (Tork) pousse Valyon à déposer à son tour le bilan³⁷ ; la région refuse en outre de financer un partenaire non-alsacien.

Au Salon du Bourget de 2013, Jérôme Dauffy rencontre Starbust Accelerator, qui l'invite à

36 FAM automobiles (*Française d'assemblage et de montage automobiles*), racheté fin 2012 par Poclair.

37 La région avait été confrontée à une situation similaire : Flying Robots avait conçu le projet d'un drone sous une voile de parapente, que le conseil régional avait financé avant qu'il ne fasse faillite. Voir une présentation sur <http://lemamouth.blogspot.fr/2009/11/le-drone-voile-et-cout-souple.html>.

candidater. Dauffy accepte et se rapproche de son partenaire, espérant par la même occasion être en mesure de redemander le cas échéant l'aide d'OSEO – ce qui finalement ne fut pas nécessaire.

Ce fut en effet la DGA qui apporta les quelques 100 000 € que le partenaire défaillant devait encore investir. Cette aide prit la forme d'une commande unique d'un prototype, alors que l'entreprise devait présenter un prototype civil (demandé par OSEO) et un prototype militaire. De ce fait, ils fabriquèrent directement une seule version : la militaire.

Applications et dualité

Conception

Pour satisfaire les exigences militaires, la voiture doit avoir des performances supérieures aux besoins civils : un moteur plus puissant, une charge utile plus grande... La version civile de la voiture sera cependant la même que celle vendue aux militaires, seules ses performances seront dégradées car la charge utile réglementaire ne doit pas dépasser 450 kg (et le moteur sera bridé).

La voiture respectera également les normes civiles, comme par exemple dans le domaine anti-pollution. La DGA y tenait initialement, même si elle aurait pu demander une dérogation. Lorsqu'elle a réalisé que cela compliquait la conception (et donc élevait le coût), elle a voulu y renoncer mais la conception du produit en était à un stade trop avancé pour se faire. **Ainsi, le produit développé prend les exigences maximales des deux domaines d'application.**

Développer deux véhicules n'aurait pas été rentable. Il n'y a donc pas de coût de redéveloppement.

Applications

Pour le marché militaire, il s'agit d'infiltration, reconnaissance, sauvetage, etc.

Dans le domaine civil : loisir, tourisme, gestion des parcs nationaux (lutte contre le braconnage), accès aux régions sinistrées ou en manque d'infrastructures, recherche de personnes disparues...

Perception

Vouloir un produit unique occasionne donc un coût supplémentaire tant dans le domaine civil que dans le domaine militaire. Comme les normes civiles s'appliquent de plus en plus au milieu militaire, la DGA n'a au bout du compte pas de dérogation à demander. Quant à OSEO et aux autres acteurs civils, comme la Région Alsace, le fait que le produit trouve des applications militaires est perçu comme un gage de sérieux et les rassure quant à l'existence d'un soutien et d'un marché. En d'autres termes, cela attire les investissements.

Avenir

Poursuite du développement

Le prototype a montré que la voiture devait être allégée. Ils travaillent donc sur un deuxième prototype. Il leur manque encore 1 million d'euros pour la phase d'industrialisation.

L'aide financière vient de la DGA, qui utilise l'article 90, c'est-à-dire l'aide à l'exportation puisque la société suscite l'intérêt de nombreux pays (Moyen-Orient, Pologne, Brésil, Russie, etc.).

Actuellement, Dauffy recherche des fonds pour racheter son partenaire initial, Tork, afin d'accéder aux outils de production, puisque ce dernier était spécialisé dans la R&D automobile et que l'entreprise qui l'avait racheté le remet aujourd'hui en vente. Avec un chiffre d'affaires annuel de 6 millions d'euros, cela ferait changer Vaylon de dimension aux yeux des investisseurs. Pour trouver l'argent nécessaire, il se tourne vers OSEO, ses actionnaires et les banques.

Selon lui, les banques ne financent pas l'innovation proprement dite ; seuls OSEO (BPI), les fonds d'investissement et les business angels acceptent d'investir. Comme il s'agit d'une reprise d'entreprise dont le chiffre d'affaires est important, il peut espérer obtenir un prêt bancaire.

Marchés

Le **marché militaire** est, pour Dauffy, **prescripteur**. Si l'armée française achète, il peut exporter. Et le marché militaire est ce qui lui a permis de proposer un produit civil.

Présent à divers salons (Eurosatory, Sofins, Sofex, IDEX, MSPO), souvent sur le stand de la DGA, son produit a attiré l'attention de clients exports.

Convaincre le segment civil lui prend plus de temps. Mais les contacts pris sur les salons militaires lui suggèrent plusieurs applications civiles possibles : surveillance des parcs, livraison de pièces détachées ou de médicaments dans des zones où les infrastructures sont inexistantes, etc.

Il envisage une répartition du marché en trois applications à parts égales : militaire ; professionnel ; loisir. Le coût d'achat de la voiture Pégase est de 100 000 €, environ le prix d'un ULM. L'heure de vol fluctue entre 20 € et 50 €, contre au moins de 2 000 € pour l'hélicoptère.

Calendrier

2008 : naissance de l'idée et premières réflexions ;

2010 : création de la société Vaylon et candidature pour un RAPID ;

Fin 2011 : obtention du financement via une convention OSEO-DGA ;

décembre 2012 : perte du partenaire, Tork Engineering ;

mai 2013 : association avec Sera Ingénierie ;

juin 2013 : rencontre avec Starbust Accelerator et départ à Paris ;

novembre 2013 : mise au point du premier prototype ;

avant juin 2016 : sortie du deuxième prototype (prévisionnel) ;

fin 2016 : industrialisation et premières commercialisations (prévisionnel) ;

Soit 6 ans de la création de la société à la commercialisation du produit.

Leçons

L'Europe n'a pas de procédures à l'échelle des TPE. Entre le lancement de l'appel d'offres et le démarrage du projet, il s'écoule presque deux ans, ce qui est trop long. Il est également très difficile pour une petite société de savoir à qui s'adresser. Enfin, trouver un partenaire à l'étranger, par exemple dans le cadre du programme Eurêka, est compliqué. De même, ils avaient rejoint un consortium mené par l'ONERA, mais en ont été exclu au dernier moment au profit d'une société grecque. Il s'agissait pourtant de surveiller de vastes étendues et leur

solution pouvait servir de vecteurs aux capteurs de l'ONERA. Mais ils espèrent collaborer par la suite avec l'ONERA au sujet de la voile de leur voiture.

La personne-contact de la DGA à la Direccte a pris contact avec eux une fois qu'ils ont été référencés par la DGA *via* leurs premiers contacts. Dauffy lui a posé une question une fois et ce fut tout. Ses contacts avec la DGA ont toujours été directs.

L'incubateur public et les acteurs institutionnels l'ont aidé à trouver des investisseurs. L'incubateur privé, en revanche, apporte plutôt des conseils en développement. Lever des fonds reste une tâche qui incombe à Vaylon.

Il est plus facile de trouver des financements à l'étranger. Le cabinet du ministre lui conseille d'ailleurs de se tourner vers des acteurs émiratis, chinois ou américains.

Nécessiter plus de deux ans pour lancer le projet est démotivant. De manière générale, le temps passé à trouver du financement pour développer le produit n'est pas du temps passé à réaliser le projet. Vu sous cet angle, traiter un dossier RAPID en quatre mois est rapide pour la France.

VODEA : le multimédia embarqué

Intérêt de l'étude de cas

L'entreprise est une TPE basée à Labège (31), qui doit son existence à des innovations inspirées par le marché civil et qui s'expriment essentiellement dans le marché militaire. Elle emploie aujourd'hui neuf personnels.

Après un soutien capital à la création de VODEA par le concours de la création d'entreprises innovantes (CETI) du Ministère de la recherche, elle a pu accéder à des marchés d'équipement de la DGA et à des projets RAPID. Les relations avec la région Midi-Pyrénées n'ont rien donné de satisfaisant depuis la création de l'entreprise. L'État (DGA) est un donneur d'ordre capital.

VODEA est représentative du triptyque vertueux « PME + labos + grands groupes ». Sa relation avec les grands groupes est capitale, car elle sait s'atteler à des grands projets. Elle a aussi des visées exports et souhaite se développer.

Un premier marché capital a été celui de la nouvelle génération d'enregistreurs vidéo pour le Rafale, ce qui a lancé la dynamique défense.

VODEA tire ses produits militaires de technologies et de tendances du marché civil pour les militariser ensuite et en faire des produits spécifiques. Elle cherche à développer son activité civile, avec un certain nombre de difficultés.

VODEA est l'une des trois sociétés de référence mondiale construisant des équipements compatibles de la norme STANAG 4609 (des intégrateurs dont les grands groupes commercialisent des équipements des trois sociétés).

Acteurs impliqués : État, région, grand donneur d'ordre de l'industrie de Défense, PME.

Type d'application : civiles à l'origine, militaires ensuite

Description de la société

Activités

VODEA est une entreprise créée en 2003 et localisée à Toulouse-Labège qui développe des

systèmes embarqués de traitement multimédia.

Les produits développés par VODEA ont deux marchés principaux :

- les équipements d'interopérabilité multimédia militaires embarqués sur avion ;
- les équipements de surveillance multimédia pour les transports urbains.

Fil conducteur initial

VODEA a été créée dans une logique d'essaimage parce qu'une entreprise de l'époque (CRIL Technologie, devenue depuis Alyotech) voulait se séparer de sa branche produits pour ne garder qu'une activité de société de service en ingénierie informatique (SS2I). Gilles Leroy et ses partenaires créent alors en 2003 la société VODEA en vue de développer des équipements de traitement multimédia des données essentiellement vidéo.

La vision initiale est plutôt civile, avec des problématiques comme le passage des films argentiques aux films numériques, la généralisation des techniques numériques ou les besoins d'interopérabilité des journalistes. La norme de base de l'époque – MXF - est purement civile, elle va donner naissance au STANAG 4609.

Stratégie de développement

Les premières années furent consacrées à la mise au point de technologies et de produits en interagissant avec les acteurs du monde civil. Lauréat du CETI en catégorie « création », VODEA est bien dotée financièrement pour ces premières années du fait du CETI et ne vend rien pendant trois ans. Elle va également bénéficier de financements de l'ANVAR (OSEO puis BPI). Les échanges ont lieu avec le monde du cinéma et de la télévision, notamment Panavision et les entreprises loueuses de caméras et de matériel audiovisuel, qui constituent d'ailleurs pour ces dernières le modèle économique dominant du secteur. On aurait pu penser que les premières ventes, après une telle gestation technologique seraient dans ce secteur : il n'en est rien, VODEA va finalement devoir se tourner vers d'autres marchés.

Les clients de Vodéa

Les fondateurs ont un passé dans les grands groupes (notamment Dassault, Thalès et Sagem). Leur premier client payant est la défense, en 2006 : les liens des fondateurs avec leurs entreprises d'origine n'ont jamais été rompus et Dassault rencontre alors un problème d'obsolescence potentiel pour le Rafale : les enregistreurs vidéos d'origine Sony fonctionnent avec des bandes magnétiques en technologie Hi-8, il faut les remplacer par des numériques pour des raisons de performance, d'obsolescence et de système.

Un deuxième client, civil, apparaît dans la même logique : il s'agit de Tisséo, la régie de transports urbains de Toulouse Métropole. Celle-ci souhaite observer ce qu'il se passe sur le réseau, notamment au sein des bus, *via* la vidéosurveillance. Il s'agit de migrer d'un système d'enregistrement analogique VHS vers du numérique.

D'autres types de clients sont approchés ou envisagés :

- les « gros » du transport urbain ou ferroviaire : la SNCF et la RATP se révèlent des clients trop compliqués dans leur approche de la problématique de l'enregistrement de vidéosurveillance pour une TPE comme VODEA, notamment parce qu'un tel grand groupe a du mal à travailler avec une TPE) ;
- le médical : là aussi, VODEA ne se sent pas à l'aise, par manque de contact business.

A propos du STANAG 4069

Il s'intitule « NATO Motion Imagery (MI) STANAG 4609 (edition 3) Implementation Guide ». Si VODEA est la société de référence de cette norme en France, elle n'a pas la capacité d'influencer directement l'OTAN et le fait à travers Sagem, Zodiac et Dassault qu'elle a convaincus du bien-fondé de sa vision technologique. L'idée de cette norme est de définir un standard réaliste enregistrant aussi les métadonnées (notamment les données de géolocalisation) au-delà de la simple vidéo. Il intègre aussi la compression vidéo sous une forme avancée.

Nature de la dualité

Les applications développées par VODEA sont duales, elles peuvent fonctionner dans les transports civils ou les vecteurs militaires (avions, drones grands ou moyens...) et pour des

secteurs allant de la télévision aux transmissions satellitaires de défense. La différence de base sur les besoins concerne la compression ainsi que le design (notamment le packaging et les connecteurs) où les exigences du monde civil ne sont pas aussi importantes (compression) ou totalement différentes.

Financement

VODEA a commencé par trouver son financement dans le concours de la création d'entreprise innovante organisé par le ministère en charge de la Recherche, en catégorie développement-crédation. Elle a bénéficié depuis de soutien de l'ANVAR (aujourd'hui BPI France) du FUI, de RAPID et du crédit impôt recherche.

Les subventions représentent 50 % du chiffre d'affaire de la société qui s'établit à environ 700 000 € annuels.

	Aides accordées en 2011	Aides accordées en 2012	Aides accordées en 2013	Aides accordées en 2014
Nom du projet		STAMP	PI2	
Objet du programme		satcom KA	Payload Imagery Interoperability	
Durée (en mois) du programme		24 mois	24 mois	
Administration ou organisme		FUI	DGA/RAPID	
Forme de l'aide		subvention	subvention	
Montant (en euros) de		1 422 380 €	405 502 €	0 €

l'aide				
Montant total des paiements reçus à ce jour		projet arrêté	121 770 €	0 €

S'agissant de la défense, la stratégie s'appuie sur l'accès à des RAPID ou mieux à des contrats d'études (ex-PEA), s'il est possible d'y participer. La raréfaction des crédits d'études avec la nouvelle logique des agrégats rend toutefois cette approche très difficile en termes d'accès ou de compréhension : les équipements sont-ils spécifiques d'un agrégat de milieu ou doivent-ils passer par l'agrégat « compétences transverses », RAPID et les subventions bas TRL étant pour leur part dans l'agrégat soutien à l'innovation ? Pour l'aider dans ses orientations, VODEA juge capital le dialogue technique de terrain avec la DGA et ne présente pas de dossier si, dans les discussions préalables, elle n'a pas senti que les chances de gagner seront bonnes ; ceci est parfaitement logique pour une TPE.

Clusters et collectivités

Certains conseils régionaux sont réticents devant les projets intéressant la défense, malgré la signature d'accords avec le ministère de la Défense. VODEA relate le cas d'un projet refusé de ce fait malgré un avis technique positif.

VODEA est membre du cluster Primus qui lui apporte un rassemblement de compétences dans le domaine militaire et une visibilité aux grands salons (Eurosatory, Milipol et SOFINS). Primus n'a pas encore offert l'opportunité d'une naissance de projet mais Vodéa est confiant.

Marchés présents et à venir

Le chiffre d'affaires actuel se répartit de la façon suivante :

- aéronautique militaire : 70 % ;
- industrie : 10 % ;
- transports urbains : 20 %.

L'aéronautique civile présente les mêmes caractéristiques techniques que le monde militaire

mais les technologies doivent être moins chères. Le rapport de volume (besoin en équipement) entre les deux mondes est de 10 en faveur du civil. VODEA n'a pas encore réussi son accès à ce marché, probablement pour une raison de coût des solutions proposées.

VODEA éprouve le besoin de renouveler son schéma de création, tel qu'elle l'a pratiqué dans ses débuts : les technologies militaires de demain trouveront selon elle leur origine une fois de plus dans le monde civil et l'accès à un marché civil plus important est capital et nécessaire pour continuer.

A ce jour, VODEA a un marché important en perspective : le projet Patroller présenté par Safran. Sagem, client historique sur le Rafale a été emmené par VODEA sur un RAPID

Parts de marché

Aujourd'hui

Le chiffre d'affaire reste modeste, car le marché militaire français est limité. Cependant, la DGA joue bien le jeu pour VODEA, qui a obtenu deux contrats d'achats pour DGA/EV et DGA/MI et trois RAPID dont en tant que chef de file.

Demain

L'avenir de la société passe à la fois par la conquête de nouveaux marchés civils et exports mais aussi par le développement de nouveaux produits à forte valeur ajoutée technologique (un nouveau projet est en cours qui pourrait faire l'objet d'un dépôt RAPID.

L'export

La société a des ambitions internationales, notamment sur l'Inde et le Japon. Un dossier en article 90 est en cours avec la DGA mais la réorganisation actuelle (DGA/DI, création DGRIS...) et la perspective de l'appel d'offre sur les avions légers de reconnaissance semblent créer des perturbations. Le fait de s'appuyer sur un STANAG est un plus pour l'export.

Chronologie

2003 : création de la société VODEA ;

2004-2006 : travaux de recherche pour mettre au point les premiers enregistreurs ;

2006 : premier marché défense.

Leçons

Sans le CETI, Vodéa n'existerait pas.

Les appels d'offres sont trop difficiles pour les PME, les grands groupes se taillent la part du lion.

La reconnaissance par les pairs, la DGA, a été un facteur essentiel dans le développement de l'entreprise.

Les trois premières années de VODEA, à ne faire que du développement technologique, furent les meilleures. L'esprit de VODEA n'est pas de faire de l'argent mais de faire de beaux produits technologiques.

Le partenariat à plusieurs (PME + grand groupe, PME + laboratoire et PME + laboratoire + grand groupe) est salutaire et permet de se développer.

Weeroc : circuits micro-électroniques pour la lecture de photodétecteurs

Intérêt de l'étude de cas

Le laboratoire OMEGA, rattaché au CNRS (IN2P3, Institut national de Physique Nucléaire et de Physique des Particules) et existant depuis 20 ans, a une partie recherche fondamentale, une partie enseignement auprès de l'École Polytechnique. Ce laboratoire n'a pas le droit de commercialiser ses produits et des chercheurs du laboratoire ont donc fondé en 2012 la société de droit privé Weeroc afin de pouvoir conduire cette activité. Cette TPE de 5 salariés est située à Palaiseau, sur le campus de l'École Polytechnique.

Les produits sont vendus dans le secteur civil et le secteur militaire mais l'entreprise n'est pas référencée par la DGA et n'a pas fait appel à la région Île-de-France où elle est située. Weeroc est actuellement hébergé chez un incubateur (Incub'Alliance, incubateur de Paris-Saclay). L'entreprise est habituée à rechercher des financements auprès de l'UE, de l'ANR, pour des financements par projets via des études, elle profite aussi du fait qu'une bonne part de la recherche fondamentale est faite au niveau du laboratoire, ce qui allège le besoin de financement.

Acteurs impliqués : ANR, ADI, Europe, laboratoire public, grandes entreprises.

Type d'application : civile envisagée, militaire d'opportunité.

Description de la start-up

Le laboratoire travaille au départ sur les grands accélérateurs de particules. Il se doute qu'il peut y avoir d'autres applications, mais sans identifier lesquelles. Lors d'une conférence, des fabricants d'imageurs médicaux manifestent leur intérêt.

Weeroc vend les circuits déjà développés par le laboratoire *via* des accords de transfert de technologie, mais la société développe aussi ses propres circuits pour les besoins de l'industrie à partir du savoir-faire du laboratoire ; il y a donc transfert de savoir-faire du laboratoire vers la start-up. C'est le cas pour les besoins d'Airbus Defence & Space, par exemple.

Par conséquent, Weeroc évolue sur des TRL élevés.

Description du produit

Avec les circuits micro-électroniques pour la lecture de photodétecteurs, on a un cas de dualité au niveau du composant. La dualité du produit est consubstantielle au produit puisque les circuits détectent des particules : elles peuvent être aussi bien dans un réacteur nucléaire que dans un missile balistique. Ses circuits n'ont besoin d'aucun redéveloppement. Le composant est fait de telle manière qu'il n'y a aucune différence dans le domaine d'application : la résistance aux rayonnements est identique pour le civil comme pour le militaire. Ils vendent ce type de composant à Airbus Defense and Space et savent que l'utilisation pourra être aussi bien civile que militaire.

Les parts de marché se répartissent selon les secteurs suivants :

- spatial (~50 %) : Airbus D&S est le principal client mais ne précise pas si les applications seront civiles ou militaires, ils n'ont donc aucune idée de la répartition mais ils savent qu'il y a des applications militaires ;
- nucléaire : le client lui dit que l'application est civile uniquement. Mais les circuits pourraient tout à fait être utilisés pour des applications militaires ;
- médical : les clients sont des grands groupes de l'imagerie médicale et des PME qui font des mammographies. Dans ce cas, il n'y a pas d'application militaire.

Financement

Comme Weeroc s'appuie sur la recherche fondamentale du laboratoire (soit ses produits directement, soit son savoir-faire), ses besoins de financement sont moins élevés qu'une société « classique ».

Par conséquent, il faut déjà voir les sources de financement du laboratoire :

- l'État (~25 %) : tutelle classique du CNRS, Polytechnique ;
- fonds propres (~60-70 %) : vente de ses produits pour la recherche non-collaborative, royalties que lui reverse Weeroc (5 % de son CA) et achat de ses circuits par Weeroc ;
- projets européens (H 2020) et ANR (~10 %).

Pour Weeroc :

	2014	2013
Projets financés par les clients	~50 %	2/3
Vente de ses produits	presque rien	presque rien
Projets européens (FP7), 1 ANR, BPI, ADI	~50 %	1/3

Commentaires :

- en 2014, il n'a pas eu assez de clients, d'où le changement de proportions.
- BPI : aide à l'innovation et à la maturation de ses technologies.
- ADI : il s'agit d'avances remboursables.

D'autres sources de financement, habituellement citées par les TEP, n'apparaissent pas. En effet, Weeroc n'a pas jugé utile de solliciter la région, ni n'a identifié d'aides pertinentes de la part des collectivités territoriales. Quant à la Direccte et la DGA, il n'a pas trouvé de point d'entrée.

Concernant plus particulièrement la DGA, celle-ci ne l'a jamais contacté non plus. Weeroc espère que son emménagement mi-septembre 2015 sur le site de Palaiseau (il

est actuellement hébergé chez Incub'Alliance, incubateur de Paris-Saclay) lui facilitera l'identification d'un contact à la DGA.

Quant au CEA, c'est lui qui sollicite une rencontre en vue de travailler avec eux, car le CEA a monté une plateforme d'imagerie médicale. Mais pour l'instant, le CEA n'a pas marqué d'intérêt pour leurs travaux.

Chiffres d'affaires

	CA	Subventions
2014	180 000 €	180 000 €
2013	380 000 €	150 000 €

[CA 2012 : ~200 000 €]

Pour son directeur général, Julien Fleury, il vaut mieux être sur une répartition 2/3 – 1/3 car les subventions arrivent toujours après que la recherche ai été menée, obligeant à compter sur sa trésorerie pour faire le travail.

La baisse de 2014 s'explique par leur participation à un projet européen dont le financement n'a pas été versé cette année-là.

Marché

Il se divise en trois principaux domaines d'application :

- spatial (~50 %) : Airbus D&S est son principal client. Il ne dit pas toujours spontanément si les applications seront civiles ou militaires, il n'a donc aucune idée de la répartition mais sait qu'il y a du militaire.
- nucléaire : son client lui dit que c'est pour du civil uniquement. Mais ses circuits pourraient sans difficulté faire du militaire.
- médical : ses clients sont des grands groupes de l'imagerie médicale et des PME

qui font des mammographes. Pas d'application militaire.

La répartition est très volatile d'une année sur l'autre car les clients sont peu nombreux et les contrats sont d'un montant élevé. Mais le spatial représente en gros la moitié de son marché.

Il est très en amont, ses produits sont intégrés dans d'autres, qui sont intégrés dans d'autres, etc., ce qui explique qu'il ait peu de visibilité sur la nature civile ou militaire des applications de ses produits.

Export

- spatial : aucun

- nucléaire, médical, instrumentation scientifique : 90-95 % de son CA est réalisé à l'export

Doza, société russe leader en radioprotection, fait partie de ses clients à l'export.

Dualité

La dualité des produits est une évidence car ils détectent des particules : elles peuvent être aussi bien dans un réacteur nucléaire que dans un missile balistique. Ses circuits n'ont besoin d'aucun redéveloppement. D'ailleurs, il connaît une société israélienne qui vend les mêmes produits que lui et qui affiche des applications militaires.

Au niveau de la recherche fondamentale, la dualité est potentielle : ils développent sans se demander à quoi le circuit servira.

Chez Weeroc, ils développent en ayant le civil en tête car ils n'ont pas de vision des besoins militaires. Mais ils savent que leurs produits peuvent servir aux deux, ils savent que leur client Airbus les utilisera pour du civil et pour du militaire, même s'ils les approchent en leur parlant lanceurs civils.

Produits vendus

A sa création, Weeroc avait quelques produits du laboratoire à vendre. Des clients étaient déjà là (Astrium, Siemens) mais voulaient des conceptions spécifiques. Des contrats ont donc été signés entre l'industrie et Weeroc pour réaliser les adaptations demandées.

Quelque temps plus tard, Weeroc a signé avec le CNRS un contrat pour utiliser les circuits sur étagère du laboratoire. Mais il vend peu de circuits sur étagère.

Que les circuits soient prêts ou à adapter, dans tous les cas ils doivent être intégrés sur les matériels des clients. Et ce temps d'intégration sur le système du client s'étale sur quelques années : Weeroc n'en est pas encore venu à bout avec ses premiers clients !

La société n'a pas de problème avec l'industrialisation de ses circuits, elle utilise les procédés industriels classiques (automobile,...).

Calendrier

2006 : création d'un pôle au sein de l'IN2P3 mutualisant les ressources de 4 de ses laboratoires : c'est la création d'OMEGA (Orsay Microélectronique Group) ;

2008 : intérêt d'un industriel pour les produits. Mais le CNRS est réticent à traiter avec le secteur privé³⁸ ;

2009 : séjour à Berkeley comme ingénieur développeur ; Julien Fleury réfléchit à la création d'une start-up. ;

février 2012 : création de Weeroc ;

avril 2012 : Weeroc adhère à Incub'Alliance ;

2013 : participation à un projet européen visant à fabriquer un appareil d'imagerie pour le diagnostic de la schizophrénie, en continuant à concevoir des circuits « sur mesure » pour les clients et en commercialisant une gamme de 8 circuits « clés en main » ;

2014 : adhère à Optics Valley ;

2015 : leur effectif s'établit à 5 personnes.

38 « A l'évidence l'idée de valoriser la recherche fondamentale, courant dans le domaine des biotech, passe encore difficilement, dans certains laboratoires de physique des particules. » déclare Julien Fleury. <<http://www.media-paris-saclay.fr/weeroc-ou-comment-concilier-recherche-fondamentale-et-industrie/>>

Leçons

Le recours à la région n'est pas prioritaire pour eux. On peut émettre l'hypothèse qu'il s'agit d'une question de culture : en tant que chercheurs issus du CNRS, ils ont l'habitude de faire financer leurs projets auprès de l'UE et de l'ANR, et non pas auprès de collectivités territoriales.

A l'appui de l'hypothèse de la culture, on remarque qu'ils sont à l'aise avec les appels d'offre européens, contrairement à toutes les autres start-up interviewées.

Le fait d'avoir une bonne part de la recherche fondamentale déjà réalisée allège leur besoin de financement. En outre, ils avaient déjà des produits à vendre, contrairement à Pragma et Vaylon, par exemple, qui ne partaient de rien et ont dû passer leurs premières années à lever des capitaux. Dès lors, ils ont moins de besoin en capital.

La DGA ne les a pas référencés et le CEA n'a pas d'intérêt marqué, alors qu'ils fournissent des éléments essentiels aux activités balistiques. Une hypothèse se dessine : avoir moins de besoins en capital (et éventuellement déjà des clients) rend superflu le passage par la région ou le PRED, au risque de ne pas se faire repérer par la DGA.

2. Liste des entretiens

Xavier AUBARD, directeur du site aquitain de l'IRT ST Exupéry, 8 juillet 2015

Serge CHAUMETTE, chercheur au LaBRI, 9 juillet 2015

François CHOPARD, fondateur de Starbust Accelerator, 7 juillet 2015

Jérôme DAUFFY, fondateur de Vaylon, 28 août 2015

Bertrand DEMOTES MAINARD, vice-président technologie du matériel chez Thales, 19 mars 2015

Fabrice DEREPAIS, co-fondateur de Trust-in-Soft, 15 septembre 2015

Julien FLEURY, co-fondateur de Weeroc, 4 septembre 2015

Pierre FORTE, fondateur de Pragma Industries, 25 juin 2015 et 10 juillet 2015

Benoît FREDEFON, PRED Aquitaine, 26 juin 2015

Jean-Marc GROLLEAU, animateur du cluster AETOS, 24 juin 2015

Jean-François LAFON, animateur du cluster PRIMUS et chargé de mission à la direction Appui aux entreprises de la CCI de Toulouse, 26 février 2015

Franck LEPECQ, délégué aux projets R&T maintenance, drones et télécom au sein du pôle Aerospace Valley, 29 juin 2015

Gilles LEROY, responsable marketing commercial R&D chez Vodéa, 30 juillet 2015

Christophe MAZEL, fondateur de Fly-n-Sense, 8 juillet 2015

Maud PAWLOWKI, chargé de mission aéronautique spatial et défense à la région Aquitaine, 24 avril 2015

Jean-Luc PINCHOT, R&D directeur de la prospective chez Lacroix, 15 juillet 2015

Caroline SENZIER, directrice R&T Sagem défense et sécurité, 20 mars 2014

3. Références

Alic J. A. Branscomb L. M., Brooks H., Carter A. B., Epstein G. L. (1992), *Beyond spinoff—military and commercial technologies in a changing world*, Harvard Business School Press, Boston, MA

Alic J. A. (2007), *Trillions for military technology: How the Pentagon innovates and why it costs so much*, Palgrave Macmillan, New York

Bitzinger R. A. (2003), *Just the Facts, Ma'am: The Challenge of Analysing and Assessing Chinese Military Expenditures*, The China Quarterly, Cambridge Univ Press

Braddon D. (1999), *Commercial applications of Military R&D: US and EU Programs compared*, European Union Studies Association (EUSA), 6th Biennial Conference, June 2-5, 1999

Carayannis E., Rogers E. (1998), *High-technology spin-offs from government R&D laboratories and research Universities*, Technovation vol.18, pp. 1-11

Chesnais F., Serfati C. (1992), *L'armement en France: genèse, ampleur et coût d'une industrie*, coll. CIRCA, éd. Nathan

Cowan R., Foray D. (1995), *Quandaries in the economics of dual technologies and spillovers from military to civilian research and development*, Research Policy vol. 24, pp.851-868

Dombrowski P., Gholz E., Ross A. (2002), *Military transformation and the Defense industry after next*, Naval war college, Newport center of naval war college

Dunne J. P., Braddon D. (2008), *Economic impact of military R&D*, Flemish Peace Institute Report

Edquist C. (Ed.). (1997), *Systems of innovation: Technology, institutions and organisations*. London: Pinter.

Foray D. (1990), *Recherche et technologie militaires : la remise en cause d'un modèle ?*, Revue d'économie industrielle vol.53 3^e trimestre 1990, pp.99-114

Freeman C. (1987), *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*, London

Galbraith C S., DeNoble A. Ehrlich S. (2004), *Spin-In technology Transfer for Small R&D Bio-Technology Firms: The Case of Bio-Defense*, Journal of technology transfers, vol.29 pp.377-382

Haider J. D. (1986), *Economic development: changing practices in a changing US economy*, Environment and Planning C: Government and Policy, 1986, vol.4 p.451

Hall P., James A. D. (2009), *Industry structure and innovation in the UK defence sector*, Economics of Peace and Security Journal 4: pp. 23-29

- Heslop L. E., McGregor E., Griffith M. (2001), *Development of a technology Readiness Assessment Measure: The Cloverleaf Model of Technology transfer*, Journal of Technology Transfer, 26, pp.369-384
- James A. D. (2009), *Reevaluating the role of military research in innovation systems: introduction to the symposium*, Journal of Technology Transfers, vol.34, pp.449-454
- Kulve H., Smit W. (2003), *Civilian-military co-operation strategies in developing new technologies*, Research Policy, n°32 pp.955-970.
- Laurent T. (2010), *Dépenses militaires, croissance et bien être : une simulation de l'impact macroéconomique de la R&D défense*, Handbook of the Economics of Innovation, Volume 2, pp.1219–1256
- Lichtenberg F. (1988), *The Impact of Strategic Defense Initiative on US Civilian R&D investment and Industrial Competitiveness*, Columbia University
- Lundvall B.-A. (1992), *National systems of innovation: Toward a theory of innovation and interactive learning*, London
- Markusen A., Yudken J. (1992), *Dismantling the Cold War Economy*, Basic Books, New York
- Melman S. (1974), *The Permanent War Economy: American capitalism in decline*, Simon & Schuster, New York
- Merindol V. (2000), *Recherche de défense et PME*, Les rapports de l'Observatoire économique de la défense, La documentation française
- Merindol V. (2003), *Les politiques d'innovation civile et militaire: complémentarité ou substitution ?*, dans Versailles D., Mérimond V. et Cardot P., Recherche et technologie: enjeux de puissance, Economica, Paris, 89-110
- Merindol V. (2005), *La défense dans les réseaux d'innovation : une analyse en termes de compétences*, Revue d'économie industrielle. Vol. 112. 4eme trimestre 2005. pp. 45-64.
- Merindol V. (2014), *Gouvernance de l'innovation : Une analyse de la cohérence des dispositifs de coordination à travers la gestion des connaissances*, Thèse pour l'habilitation à diriger des recherches, présentée et soutenue publiquement le 14 septembre 2014
- Molas-Gallart J. (1997), *"Which way to go? Defence technology and the diversity of 'dual-use' technology"*, Research Policy vol. 26, pp. 367-385
- Moretti E., Steinwender C., Van Reenen J. (2014), *The Intellectual Spoils of War? Defense R&D, Productivity and Spillovers*, <http://eml.berkeley.edu/~moretti/military.pdf>
- Mowery D. C. (2010), *Military R&D and Innovation*, Chapter 29 in Handbook of the Economics of Innovation, Volume 2, pages 1219–1256
- Mowery D. C. (2012), *Defense-related R&D as a model for "Grand Challenges" technology policies*, Research Policy, Vol. 41, issue 10 December
- Mowery D. C. (2008), *National security and national innovations systems*, Journal of Technology Transfers, vol.34, pp.455-473

Mowery D., Rosemberg N. (1990), *Technology and the Pursuit of Economic Growth*, Cambridge University Press

Rappert B. (2006), *National security, terrorism and the control of life science research*, dans James, AD eds., *Science and technology policies for the anti-terrorism era*. IOS Press, Amsterdam

Ruttan V. (2006), *Is war necessary for economic growth? Military procurement and technology development*, Oxford University Press, New York

Serfati C. (2008), *The Relationship between military and commercial technologies: an empirical and analytical perspective*, dans B. Laperche, D. Uzunidis (eds), *The Genesis of Innovation. Systemic Linkages between Knowledge and Market*, Edward Elgar

Stowksy J. (2004), *Secrets to shield or share? New dilemmas for military R&D policy in the digital age*, *Research Policy* vol.33, pp. 257-269

REVUE DE LITTÉRATURE

Le débat sur les spin-in ou les spin-off a souvent été dogmatique par le passé, opposant pour résumer les tenants d'un keynésianisme militaire - soutenant qu'il existait un effet multiplicateur des investissements militaires - et les libéraux - qui leur opposaient l'efficacité du marché pour assurer une allocation optimale des ressources disponibles.

Pour les partisans des spin-off, c'est à dire des transferts de technologie entre le secteur militaire et le secteur civil, les investissements massifs engagés par les pouvoirs publics dans le domaine de la défense devaient permettre, outre le maintien d'une supériorité technologique hautement stratégique, de financer des recherches fondamentales aux résultats et débouchés incertains mais qui prépareraient les innovations de demain. Pour les libéraux à l'inverse, les moyens investis dans le militaire ne sont plus disponibles pour l'innovation civile alors même que, soumise à une compétition forte sur les marchés, cette innovation apparaît plus rapide et plus rentable.

Ce débat a été particulièrement vif pendant la guerre froide, les succès économiques de l'Allemagne et du Japon semblant conforter l'analyse libérale dans un contexte où les pays engagés dans la guerre froide investissaient l'essentiel de leurs dépenses publiques en R&D dans le secteur militaire. Dans les années 1980, les difficultés économiques des États-Unis confrontées aux succès de l'Allemagne et du Japon semblaient apporter une réponse définitive à cette question. C'est dans ce contexte, qu'à la fin de la guerre froide, les États ont massivement réduit leurs financements dans ce domaine, laissant les entreprises privées prendre le relais dans le financement de la R&D en général par le biais de la R&D civile pour l'essentiel. L'émergence et la diffusion des technologies de l'information et de la communication (TIC) et le dynamisme des innovations dans le secteur privé qui en découlait confortaient encore cette analyse, conduisant alors les États à chercher à tirer parti de spin-in, c'est à dire de transferts de technologies du secteur commercial à destination du secteur militaire. C'est dans ce cadre qu'a d'ailleurs été largement restructurée la politique d'acquisition et la structuration de l'innovation aux États-Unis.

Pour autant, l'enjeu de l'innovation est tel que la problématique des spin-in et des spin-off apparaît être depuis le début des années 2000 à nouveau questionnée. La domination

technologique de l'économie américaine, tant dans le secteur commercial que de par les financements consacrés à la R&D militaire, mais aussi l'émergence de nouvelles menaces nécessitant des technologies spécifiques ainsi que la raréfaction des innovations de rupture³⁹ depuis la fin de la guerre froide ont reposé la question des spin-off.

I – Le débat académique sur les spin-in et les spin-off : enjeux et perspectives

Plus que les spin-in, ce sont plus souvent les spin-off qui ont fait l'objet de nombreuses analyses et de critiques, et ce surtout pendant la guerre froide. L'argument central du débat portait sur le financement de la R&D par les pouvoirs publics, au prétexte que les moyens financiers et/ou humains investis pour financer des technologies, qu'elles soient civiles ou militaires, ne sont plus disponibles pour d'autres développements (effet d'éviction ou crowding-out effect). Dans le contexte de la guerre froide où les États qui y étaient engagés investissaient l'essentiel de leurs moyens dans la R&D militaire⁴⁰, beaucoup ont posé la question de la pertinence de telles dépenses. L'un des présupposés de cette approche est celle du faible ou d'un moindre transfert de connaissances du secteur militaire vers le civil. Le débat qui en découle est alors assez dogmatique : d'un côté, les tenants d'une sorte de croissance endogène qui soutiennent l'idée que l'innovation découle des moyens qui y sont consacrés. Dans ce contexte, le secteur militaire a plutôt l'avantage puisqu'il présente l'intérêt de permettre des investissements massifs, y compris sur des niveaux très bas de TRL, permettant ainsi de soutenir les fondements même d'un système national d'innovation propice à une dynamique générale de l'innovation dans un pays donné. A l'inverse, les tenants des spin-in soutiennent plutôt une dynamique de concurrence comme source plus propice à l'innovation que l'investissement public. La fin de la guerre froide, la baisse des dépenses militaires et l'émergence des technologies de l'information et de la communication vont renouveler ce débat.

³⁹ Une innovation peut être considérée comme une innovation de rupture lorsqu'elle bouleverse, voire révolutionne un marché, un process, des habitudes de consommations ou de production existants et devient la nouvelle référence.

⁴⁰ En 1960 aux États-Unis, la R&D militaire représentait 80% des dépenses fédérales de R&D d'après Mowery D., Roseberg N. (1990),

A/ Les spin-off comme une conséquence des guerres.

Le début du vingtième siècle est marqué par les guerres qui conduisent à de massifs investissements dans le secteur militaire. Ces investissements permettent de rapides progrès technologiques dans un certain nombre de secteurs de pointe (électronique, transports, nucléaire, médecine etc.). La guerre est alors perçue comme un moyen de pression conduisant à orienter une grande partie des financements vers une innovation au service de la victoire⁴¹. La guerre froide correspondait alors à une forme de guerre puisque les effets en étaient les mêmes. En effet, en 1960, la R&D militaire représentait 80 % des dépenses fédérales de R&D des États-Unis⁴². La course aux armements imposait une pression constante sur l'innovation militaire conduisant à des progrès techniques et l'exploration de nouveaux procédés.

Ces innovations sont telles qu'elles ne peuvent que se diffuser vers le secteur commercial par au moins trois biais : la politique d'acquisition du ministère de la défense, les spin-off et la culture de l'innovation qui s'immisce dans les entreprises⁴³. L'idée qui domine est alors que cette dynamique des innovations militaires ne peut que soutenir l'innovation civile au travers de transferts de technologies entre les secteurs d'une économie ou entre les services au sein des entreprises. L'avance technologique des États-Unis est ainsi mise en avant puis, dans une moindre mesure, celle du Royaume-Uni ou de la France : ce serait grâce aux innovations majeures dans le domaine militaire que l'économie des pays développés a connu de telles révolutions technologiques au XX^e siècle⁴⁴. Sont cités comme exemples, l'électronique et l'informatique, l'aéronautique mais aussi les progrès de la médecine ou encore Internet, le GPS ou l'aviation civile⁴⁵. Alic et al (1992) caractérise la période qui va de la fin de la seconde guerre mondiale au début des années 1980 de « spin-off paradigm of defence-

⁴¹ Cf. le film « The imitation game » qui revient sur l'histoire d'Alan Turing, mathématicien de génie qui inventa le premier ordinateur en créant une machine qui permettait de décrypter les messages codés envoyés par les nazis pendant la seconde guerre mondiale

⁴² Mowery D., Roseberg N. (1990), *Technology and the Pursuit of Economic Growth*, Cambridge University Press

⁴³ Mowery D. C. (2008), *National security and national innovations systems*, *Journal of Technology Transfers*, vol.34, pp.455-473

⁴⁴ Mowery D. C. (2010), *Military R&D and Innovation*, Chapter 29 in *Handbook of the Economics of Innovation*, Volume 2, pages 1219-1256

⁴⁵ Mowery D. C. (2012), *Defense-related R&D as a model for "Grand Challenges" technology policies*, *Research Policy*, Vol. 41, issue 10 December

civilian spillovers »⁴⁶. Les dépenses militaires de R&D sont par conséquent utiles non seulement dans le cadre de la course aux armements, mais aussi d'un point de vue plus économiques puisqu'elles permettent l'innovation, source d'avantage comparatif des pays. Il est alors communément admis qu'il n'est pas de grandes puissances économiques sans puissance militaire et *vice versa*⁴⁷.

Pour autant, les succès économiques et technologiques de pays comme l'Allemagne ou le Japon à partir des années 1960, et surtout dans les années 1970 et 1980, conduisent à certaines critiques de cette analyse. Pour Passadeos (1987), Lichtenberg (1988) ou encore Mowery et Rosenberg (1990), les transferts de technologies entre le secteur militaire et le secteur civil restent limités et ne sont probablement pas à la hauteur des investissements consentis⁴⁸. Ils estiment que les spin-off n'existent réellement que dans le secteur aérospatial, alors que les transferts intersectoriels sont au contraire beaucoup plus réduits à cause des spécificités du secteur militaire telles que l'ultra-spécialisation de la demande militaire de technologies de pointe (qualité, technicité, résistance etc.) et des obstacles aux transferts que constitue le secret défense.

La question des spin-off conduit à se demander si les effets de ponction ou de préemption des ressources, liés à un investissement massif dans l'innovation militaire, sont plus importants que les effets multiplicateurs des dépenses militaires. Pour Chesnais et Serfati, cela a été le cas pendant la guerre froide et ils considèrent que les effets multiplicateurs sont faibles, voire même insignifiants, conduisant à limiter les retombées de la R&D militaire et les effets d'entraînement par le biais des acquisitions d'armements⁴⁹. Cela s'explique pour eux par le fait que la défense se positionne dans une sorte « d'autarcie technologique » : « Le secteur tend très souvent à "doubler", en fonction de ses propres besoins très spécifiques, beaucoup d'activités de développement

⁴⁶ Alic J.A. Branscomb L. M., Brooks H., Carter A. B., Epstein G. L. (1992), *Beyond spinoff—military and commercial technologies in a changing world*, Harvard Business School Press, Boston, MA

⁴⁷ Ruttan V. (2006), *Is war necessary for economic growth? Military procurement and technology development*, Oxford University Press, New York

⁴⁸ Lichtenberg F. (1988), *The impact of Strategic Defense Initiative on US Civilian R&D investment and Industrial Competitiveness*, Columbia University, Pour Passadeos (1987), Mowery et Rosenberg (1990)

⁴⁹ Chesnais F., Serfati C. (1992), *L'armement en France: genèse, ampleur et coût d'une industrie*, coll. CIRCA, éd. Nathan

technologique déjà effectuées dans d'autres industries ou parties du système national de la recherche ».

Les dépenses en R&D militaires sont alors pointées comme créant des effets d'éviction ou de dispersion (*crowding-out effects*), néfastes à l'innovation et dont la contribution aux performances globales des économies était très discutable. Devant les succès des modèles économiques allemands et japonais et l'essoufflement de l'économie américaine à partir des années 1970 puis dans les années 1980, les États-Unis mettent en place un modèle où la recherche militaire joue le rôle d'amorce, la recherche civile prenant le relais. L'exemple d'Internet peut en être une illustration. C'est en 1958 que Bell crée le premier modem, c'est à dire un boîtier capable de transmettre des données entre deux ordinateurs distants. Il faudra attendre 1969 pour que le système Arpanet soit lancé par l'US Air Force et le début des années 1980 pour que ce système soit rendu accessible au secteur civil : c'est Internet. En 1984, soit 30 ans après le premier modem, 1000 ordinateurs sont connectés et reliés entre eux par ce système. Il faudra toutefois attendre la fin des années 1980 pour que les premières sociétés commerciales soient autorisées à exploiter le réseau par les autorités américaines. La croissance des connexions en fut alors exponentielle : 1 millions d'ordinateurs connectés en 1992, 36 millions en 1996 et presque 400 millions au début des années 2000, soit 10 ans à peine après la commercialisation du système ! Ces mutations vont alors conduire à poser la question de possible spin-in, c'est à dire des retombées potentielles des innovations civiles vers le secteur militaire.

B/ Spin-in versus spin-off et notion de complémentarité des innovations civiles et militaires

Les arguments en faveur des spin-in, c'est à dire de possibles transferts de technologies civiles vers le secteur militaire, soulignent que la recherche privée est plus rapide, plus rentable et plus efficace parce qu'elle est concurrentielle et que ses résultats sont sanctionnés par le marché (Mowery et Rosemberg, 1990). A l'inverse, les tenants des spin-off font quant à eux remarquer qu'il est fort possible que, sans la R&D militaire, certaines recherches n'auraient jamais été financées faute de débouchés alors même qu'elles ont conduit à des innovations majeures non seulement dans le domaine

militaire, mais aussi dans le civil⁵⁰ : c'est le cas en France de Safran dont la maîtrise du composite carbone Spercab, développé sur les missiles de la dissuasion M4 en 1974, a été par la suite utilisé dans le développement de freins carbone qui se sont généralisés sur les avions de ligne dans les années 1990⁵¹. On peut citer également le savoir-faire de Thalès en matière de technologies de communication sécurisée, développée pour le militaire et qui est désormais utilisé en matière de gestion du trafic aérien pour le développement du programme SESAR de ciel unique européen de la Commission européenne. Braddon (1999)⁵² cite quant à lui l'exemple d'IBM, qui a développé la plupart de ses ordinateurs à partir de son expérience dans le cadre du projet Whirlwind, un projet financé par le Pentagone pour informatiser ses services entre 1968 et 1972. Ce projet sera d'ailleurs l'un des vecteurs de la mise en place d'Internet.

À partir des années 1990, la baisse des budgets militaires, le dynamisme de l'innovation civile et la diffusion de la notion de dualité vont pousser les gouvernements à promouvoir ce type de retombées. En 2001, Heslop, McGregor et Griffith observaient une réduction très nette des transferts de technologies entre les secteurs militaires et civils à partir de la fin des années 1980 en comparaison de ce qu'ils avaient pu être⁵³. Stowsky (2003) expliquait qu'au début des années 2000, la plupart des technologies militaires avaient pour origine une technologie civile, en particulier dans le secteur des technologies de l'information et de la communication, l'ère de l'information digitale ayant profondément modifié l'environnement technologique en accélérant le cycle de l'innovation⁵⁴. Pour lui, il existe deux types d'innovations : les « shielded innovations » (ou innovations spécifiques) et les « shared innovations » (ou innovations partagées).

- Dans le cas des innovations spécifiques, les applications sont propres à la défense et par conséquent gérés par les fournisseurs traditionnels de la défense. Les flux

⁵⁰ Mowery D., Roseberg N. (1990), *Technology and the Pursuit of Economic Growth*, Cambridge University Press

⁵¹ Les exportations d'armement françaises : 40 000 emplois dans nos régions, Etude d'impact social, économique et technologique réalisée par le ministère de la Défense et le CIDEF avec le support de McKinsey & Company. Septembre 2014.

⁵² Braddon D. (1999), *Commercial applications of Military R&D: US and EU Programs compared*, European Union Studies Association (EUSA), 6th Biennial Conference, June 2-5, 1999

⁵³ Heslop L. E., McGregor E., Griffith M. (2001), *development of a technology Readiness Assessment Measure: The Cloverleaf Model of Technology transfer*, *Journal of Technology Transfer*, 26, pp.369-384

⁵⁴ Stowsky J. (2004), *Secrets to shield or share? New dilemmas for military R&D policy in the digital age*, *Research Policy* vol.33, pp. 257-269

d'informations sont très limités et, dans ce contexte, les spin-off relativement faibles voire inexistantes ou de long terme, une fois la technologie dépassée pour les militaires. Ce fut le cas des commandes numériques développées par Bell pour l'US Air Force et jamais exploitées commercialement. Ce seront les allemands et les japonais qui développeront des technologies similaires pour les machines-outils dans l'industrie civile ;

- Dans le cas des innovations partagées à l'inverse, les projets sont organisés afin de ménager autant que possibles les transferts et exploitations tant civils que militaires de la technologie. L'enjeu est alors de créer une capacité technologique générale, soit dans un but purement académique soit à des fins d'exploitation commerciale. Cela a été le cas des technologies de circuits intégrés où le DoD a financé un programme commercial de l'entreprise Bell, ou encore de la production de semi-conducteurs financés par la DARPA alors que l'usage initial était commercial.

Braddon (1999) explique que les spin-off ont cédé la place aux spin-in dans les années 1980 pour au moins deux raisons : les spécifications des technologies civiles clés qui ont, dans des secteurs comme l'électronique ou les TIC, dépassé celles du secteur militaire ; et l'évolution des technologies purement militaires dont la spécialisation et le coût croissant de leur développement limitent fortement les possibilités de transferts vers le civil⁵⁵. En termes plus synthétiques, les technologies évoluent trop rapidement à partir des années 1990 et les technologies militaires deviennent tellement spécialisées que l'intérêt et la possibilité de spin-off sont très limités.

Serfati (2008) observe qu'il y a au moins autant de succès que d'échecs de spin-off. Il cite entre autre la technologie supersonique et l'échec des programmes civils qui ont tenté d'intégrer cette technologie⁵⁶. Quoi qu'il en soit, les arguments en faveur des spin-in ou des spin-off se défendent et sont probablement plus dépendants du domaine dont il est question et d'une situation à un moment donné. Il apparaît en effet que, dans le domaine de l'électronique et des technologies de l'information et des communications, l'existence

⁵⁵ Braddon (1999), op.cit.

⁵⁶ Serfati C. (2008), The relationship between military and commercial technologies: an empirical and analytical perspective, dans B. Laperche, D. Uzunidis (eds), *The Genesis of Innovation. Systemic Linkages between Knowledge and Market*, Edward Elgar

d'un marché en croissance rapide dans le domaine civil donne un avantage incontestable au spin-in alors que, dans le domaine des matériaux et structures, le schéma est plutôt inverse puisque les exigences en matière de résistance et de maintien en conditions opérationnelles dans les situations les plus extrêmes sont élevées, ce qui conduit à favoriser l'innovation par la dépense militaire⁵⁷.

C'est d'ailleurs ce qui est souligné par Dominique Foray, professeur à l'École Polytechnique fédérale de Lausanne, qui explique que la R&D militaire met plus souvent l'accent « sur l'innovation de produit au détriment de l'innovation de procédé dans la mesure où l'objectif de réduction des coûts et de rationalisation de la production est sacrifié à celui de l'optimisation des caractéristiques de performances des produits »⁵⁸. Il identifiait en 1990 quatre facteurs qui pouvaient expliquer l'importance des retombées du domaine militaire vers le domaine civil et qui se sont progressivement atténués : une certaine « similarité générique des exigences technologiques civiles et militaires », une « identité des modes de gestion du changement technologique », des réseaux d'innovation qui tendaient à se confondre, des structures organisationnelles de transferts spécifiques (cas particulièrement probant dans l'aéronautique et la microélectronique dans les années 1960 et 1970). La question qui peut alors être posée est celle de l'évolution du contexte technologique et de ces facteurs dans le temps.

À partir du début des années 2000 d'ailleurs, le débat change quelque peu de nature. Dès 2001 en effet, la menace terroriste élargit le champ et fait évoluer les défis de l'innovation militaire vers des enjeux plus sécuritaires que défense. Galbraith, DeNoble et Ehrlich (2004) constatent même qu'aux États-Unis, l'urgence imposée par les nouvelles menaces (terrorisme et bioterrorisme avec les attentats du 11-septembre et l'envoi de lettres avec de l'anthrax) ont même poussé le gouvernement à rechercher à multiplier les spin-in depuis le civil vers le militaire et la sécurité plus largement⁵⁹. Or, la sécurité est à la fois collective et individuelle et il apparaît que les technologies

⁵⁷ Mowery D., Rosemberg N. (1990), op.cit

⁵⁸ Foray D. (1990), Recherche et technologie militaires : la remise en cause d'un modèle ? revue d'économie industrielle vol.53 3e trimestre 1990, pp.99-114

⁵⁹ Galbraith C S., DeNoble A. Ehrlich S. (2004), Spin-In technology Transfer for Small R&D Bio-Technology Firms: The Case of Bio-Defense, Journal of technology transfers, vol.29 pp.377-382.

développées pour la « homeland security » aux États-Unis peuvent aussi présenter un intérêt commercial évident. Au niveau de l'Union européenne, c'est aussi à ce moment qu'a été lancé le programme européen de recherche en matière de sécurité (PERS) permettant de financer des recherches sur les technologies duales dans le cadre du 7^{ème} PCRD. Parallèlement s'est posée la question de l'implication de la disparition de la frontière défense / sécurité sur l'industrie de défense⁶⁰. Dans le même temps, de nouveaux champs d'innovations « post-Google et Apple » s'ouvrent autour de la santé (rappelons que les États-Unis sont un pays où l'espérance de vie diminue depuis quelques années) ou de la transition énergétique. Dans ces domaines, des innovations militaires pourraient apporter des réponses adéquates alors que dans le même temps, les recherches civiles pourraient venir accompagner l'innovation militaire. Serfati (2008) constate que cette évolution de la défense vers la sécurité entraîne une porosité croissante entre les innovations civiles et militaires⁶¹. À l'inverse pourtant, certains tel Heslop (2001) considèrent que les différences de culture et d'objectifs sont telles entre la défense et le civil que la plupart des transferts échouent⁶². Les deux visions peuvent être toutefois réconciliées par une analyse en termes de dualité de certaines technologies.

II – Les modalités des retombées technologiques in ou off dans un contexte de dualité

Pour autant, aujourd'hui, tant l'évolution du contexte stratégique et l'accélération du rythme de l'innovation que l'évolution du lien État/entreprise ont conduit à une évolution notable des externalités d'une innovation, qu'elle soit civile ou militaire, à un moment donné. Les conditions des spin-in et des spin-off ont alors évolué et dépendent à présent de facteurs plus transversaux tels que le système national d'innovation, les modalités de financements de la R&D, le positionnement des États et/ou la structures des entreprises comme nous le verrons dans la deuxième partie de cette revue de la littérature.

⁶⁰ Study on the industrial implications in Europe of the blurring of dividing lines between Security and Defence, IAI, IRIS, Université de Manchester, Commission européenne, DG entreprises, 2010.

⁶¹ Serfati C. (2008), The relationship between military and commercial technologies: an empirical and analytical perspective, dans B. Laperche, D. Uzunidis (eds), The Genesis of Innovation. Systemic Linkages between Knowledge and Market, Edward Elgar

⁶² Heslop L. E., McGregor E., Griffith M. (2001), Development of a technology Readiness Assessment Measure: The Cloverleaf Model of Technology transfer, Journal of Technology Transfer, 26, pp.369-384

La porosité entre R&D civile et militaire est croissante et la frontière est peut-être même aujourd'hui inexistante. Une innovation au départ destinée au secteur militaire peut trouver *in fine* des applications commerciales alors que dans le même temps des innovations commerciales peuvent être reprise par des entreprises de défense et employées à des fins militaires. On constate cela au sein des entreprises où il apparaît de plus en plus rare que des recherches amont aient une destination commerciale ou militaire prédéfinie (Serfati C., 2008).

Dans ce contexte, la notion même de spin-in ou de spin-off semble disparaître au profit de spillovers, c'est-à-dire des externalités positives que peut générer une dépense de R&D à un moment donné. Ces spillovers dépendent alors tant des acteurs en présences et de leurs capacités à se mettre en réseaux (pôles de compétences, clusters, partenariats et autres) que des moyens mis en œuvre et de la politique publique de soutien à la recherche et à l'innovation. Plusieurs facteurs peuvent alors entrer en ligne de compte tels que :

- La gestion des droits de propriété intellectuelle (IPR) dans le secteur militaire. Galbraith et al. (2004) constatent que ce sont en grande partie des changements culturels au sein du DoD qui ont conduit à une évolution de la gestion des IPR et la multiplication des spillover entre le domaine civil et militaire ;
- Les modalités du financement de la R&D en fonction du niveau de *Technological Readiness Level* (TRL) ;
- La politique d'acquisition du ministère de la défense et les moyens mis en œuvre pour financer la R&D et plus généralement les modalités de la répartition des financements de la R&D entre le civil et le militaire (caractère substituable ou complémentaire des financements publics et privés, civils et militaires) ;
- La structuration du système national d'innovation et le positionnement et le rôle des acteurs dans ce système. L'importance de la place de l'État n'est plus à prouver depuis les travaux de Melman⁶³, la question du positionnement des grandes entreprises, des PME, des agences et réseaux publics d'innovation reste

⁶³ Melman S. (1974), *The permanent war economy: American capitalism in decline*, Simon & Schuster, New York

toutefois entière et les structures des systèmes nationaux d'innovation diffèrent de manière substantielle entre les pays ;

- Les systèmes locaux d'action publique sont également plus rarement abordés par la littérature, alors même qu'ils conduisent à l'organisation de réseaux locaux d'innovations et à la détermination de compétences spécifiques de type pôles de compétences qui recoupent des aspects à la fois qualitatifs et quantitatifs ;
- Le dynamisme du secteur d'activité concerné en termes d'innovations.

A/ La nature des innovations et le concept de dualité

Pour Stowsky (2004), une technologie est duale si elle peut conduire à des développements civils pour une technologie militaire ou militaires pour une technologie civile. La dualité des technologies est ainsi un facteur de spin-in ou de spin-off, et elle apparaît comme un moyen de les concilier tous les deux en acceptant à la fois l'idée que dans la plupart des cas, le marché et la concurrence sont des conditions au développement le plus rentable et le plus dynamique des technologies innovantes, mais aussi que les enjeux et les contraintes liés aux missions militaires sont plus propices à l'émergence d'innovations, et en particulier d'innovations de rupture. La question posée est ensuite de savoir dans quelles conditions les spin-in et les spin-off peuvent être idéalement répartis pour optimiser la dépense de R&D, qu'elle soit civile ou militaire.

Cowan et Foray (1995) distinguent d'ailleurs trois types de technologies : les technologies « multi-use », les « dual-use » et les « single-use », la distinction entre « multi-use » et « dual-use » venant essentiellement du fait que, dans les années 1990, les technologies dual-use ne concernaient que des technologies militaires pouvant avoir une application civile. La perception plus récente du dual-use conduit alors à assimiler les deux. Pour Alic (1994), les technologies « single-use » existent mais sont très rares⁶⁴. Cowan et Foray (1995) expliquent que la nature de la technologie découle aussi du niveau de développement de cette technologie⁶⁵. Ainsi, plus on se rapproche de l'exploitation finale de la technologie et plus son usage, civil ou militaire, devient figé. De même, les technologies sont plus systématiquement duales et plus propices à des spin-in

⁶⁴ Pour Alic (1992), op.cit.

⁶⁵ Cowan R., Foray D. (1995), Quandaries in the economics of dual technologies and spillovers from military to civilian research and development, Research Policy vol. 24, pp.851-868

et/ou des spin-off au niveau des composants et sous-systèmes que des systèmes en eux-mêmes.

Pour Dombrowsky et al. (2002), la complémentarité entre les deux types d'innovation s'exprime aussi dans la durée, à l'image de ce qu'a été le débat sur les spin-in et les spin-off⁶⁶. Certaines périodes sont en effet plus favorables à l'innovation militaire parce que les moyens investis y sont importants, alors que d'autres le sont davantage à l'innovation civile parce que le marché est porteur. La dualité est alors un moyen d'éviter les « interruptions » de l'innovation, les entreprises capables de dualité exploitant telle ou telle technologie dans le développement civil ou militaire. Cowan et Foray (1995) mettent en évidence l'importance des différentes phases de développement d'une technologie⁶⁷ : le potentiel de dualité est fondamental en phase amont de l'innovation (TRL bas) et en phase exploratoire. Il justifie les moyens engagés, mais il accroît aussi les opportunités de développement possibles. La dualité tend à diminuer au fur et à mesure du développement de la technologie. En phase finale de développement, le produit innovant est soit civil, soit militaire, rarement dual. Cet aspect découle à la fois des différences dans la nature des innovations civiles et militaires, mais aussi et peut-être surtout d'une standardisation insuffisante dans les deux domaines. L'un des moyens d'améliorer la dualité et d'accroître les spin-in et les spin-off peut alors être de penser des standards communs.

Dans ce contexte, les moyens tant humains que financiers engagés pour ce développement sont bien distincts, même si la recherche fondamentale a pu être commune au départ. Cette idée rejoint les analyses de Mollas Gallart (1997) ou de Stowsky (2004), qui expliquent que la technologie n'est pas duale par nature et que la possible dualité va reposer sur des modes d'organisation de l'innovation au sein des entreprises ou des systèmes d'innovation.

Deux types d'enjeux sont ainsi directement liés à la dualité :

- la gestion des transferts de technologies entre le civil et le militaire au sein de la

⁶⁶ Dombrowski P., Gholz E., Ross A. (2002), Military transformation and the Defense industry after next, Naval war college, Newport center of naval war college

⁶⁷ Cowan et Foray (1995), op.cit

- firme et la manière dont l'entreprise s'organise pour gérer ce transfert au mieux ;
- la gestion des transferts de technologie en dehors de l'entreprise et le plus souvent dans une dynamique intersectorielle. De ce point de vue, ce sont davantage les réseaux d'acteurs et l'organisation du système d'innovation, le plus souvent national, qui deviennent déterminants.

La structuration des réseaux d'acteurs et les politiques publiques, de même que les modalités de financement de la R&D, sont alors fondamentales.

B/ Le financement de l'innovation

La nature des spin-in et des spin-off dépend aussi largement des modalités de financement de la R&D à un endroit et à un moment donnés. Pour les tenants de la privatisation de la R&D, c'est le marché qui est le plus pertinent dans le financement de l'innovation. Les entreprises vont alors investir dans la R&D car elle permet l'innovation et donc le maintien d'un avantage concurrentiel et, par voie de conséquence, des parts de marché, des profits etc. Pour autant, les limites à l'autorégulation du marché sont nombreuses, surtout dans le domaine de l'innovation, telles l'asymétrie de l'information (culture du secret), les barrières à l'entrée (coûts fixes importants), la rentabilité à très long terme de la recherche fondamentale, etc.

Néanmoins, la question posée en filigrane de ce débat est celle de la substituabilité ou au contraire de la complémentarité des moyens engagés pour développer des technologies civiles et militaires. Dans l'hypothèse d'une substituabilité, l'idée clé est que les moyens financiers et/ou humains investis pour financer des technologies, qu'elles soient civiles ou militaires, ne sont plus disponibles pour d'autres développements (effet d'éviction ou *crowding-out effect*), dans ce cas, le potentiel de spin-in ou de spin-off est conditionné par la masse des innovations et, par conséquent, c'est le secteur capable d'innover le plus qui génère à un moment donné le plus de retombées. Plus récemment, la question a été posée en termes de dualité et donc de complémentarité entre les deux types d'innovation, conduisant alors à des transferts croisés entre les secteurs civil et militaire. La deuxième partie de cette revue en reprendra les principales analyses.

Dans ce contexte, les investissements en R&D militaire peuvent permettre d'inscrire la dynamique d'innovation dans le temps en finançant des programmes militaires dont les résultats pourront à terme générer des spin-off. Pour Bitzinger (2003), la production

d'armement joue le rôle de locomotive, permettant l'émergence de nouvelles technologies qui se diffuseront dans le secteur civil. L'avancée technologique des États-Unis peut ainsi s'expliquer par les investissements massifs réalisés pendant la guerre froide et encore aujourd'hui en matière de R&D militaire⁶⁸.

L'articulation des financements et des retombées d'un secteur à l'autre est alors plutôt de nature conjoncturelle : pendant la guerre froide, le contexte stratégique conduisait à des investissements militaires massifs dans le domaine de la R&D, l'innovation militaire était par conséquent beaucoup plus dynamique. À l'inverse, au début des années 1990, les technologies de l'information et de la communication ont conduit à drainer des financements privés très importants (jusqu'à former une bulle spéculative) permettant d'entretenir une dynamique d'innovations civiles dans ce secteur, et ce alors que les crédits de R&D militaire avaient fortement diminué après la fin de la guerre froide, notamment en Europe. Ce sont alors généralement des spin-in qui en découlaient. Le financement civil de la R&D a aussi été perçu par les autorités, surtout aux États-Unis, comme un moyen de soutenir l'innovation malgré la baisse des crédits publics⁶⁹.

Dans un article non encore publié, Moretti et al. mettent en évidence le lien entre les dépenses publiques et privées de R&D⁷⁰. Ils y étudient 26 pays sur les 23 dernières années. Ils estiment à partir de leurs données qu'une augmentation de 10 % des dépenses publiques de R&D conduit à une augmentation moyenne de 2,5 % de la dépense en R&D privée. Ainsi, eu égard aux ordres de grandeurs un investissement supplémentaire de 1 de la part des pouvoirs publics accroît les financements privés de 2,4 à 4,9. Ils considèrent par conséquent que l'investissement public dans la R&D entraîne plus vraisemblablement un crowding-in effect plutôt que l'inverse, les entreprises étant d'autant plus incitées à investir que les États s'engagent également dans ce domaine. Ils constatent toutefois que les proportions et corrélations peuvent varier suivant les secteurs, le secteur aéronautique étant par exemple très sensible aux

⁶⁸ Bitzinger R. A. (2003), *Just the Facts, Ma'am: The Challenge of Analysing and Assessing Chinese Military Expenditures*, The China Quarterly, Cambridge Univ Press

⁶⁹ Kulve H., Smit W. (2003), *Civilian-military co-operation strategies in developing new technologies*, Research Policy, n°32 pp.955-970.

⁷⁰ Moretti E., Steinwender C., Van Reenen J. (2014), *The intellectual Spoils of War? Defense R&D, Productivity and Spillovers*, <http://eml.berkeley.edu/~moretti/military.pdf>

incitations financières publiques alors que c'est loin d'être le cas dans le secteur des technologies médicales.

C / Les États, acteurs de l'innovation et leurs rôles dans les spin-in ou spin-off

Le rôle des États dans l'innovation est aujourd'hui assez peu contesté et il est généralement admis que les investissements militaires réalisés pendant les guerres, et surtout pendant la guerre froide, ont été les déterminants des vagues d'innovations de ce dernier siècle⁷¹. C'est d'ailleurs en partant du constat de ces spin-off que Freeman élabore le concept même de système national d'innovation en 1987⁷². C'est aussi parce que les États sont clients des entreprises de défense que l'importance du rôle des pouvoirs publics est aujourd'hui soulignée. En effet, les travaux de Von Hippel (1976) ont démontré que les sources de l'innovation provenaient des entreprises et de leurs fournisseurs, mais aussi des clients qui, parce qu'utilisateurs du produit, sont à même d'en comprendre les développements possibles. Dans le cas de la défense, personne d'autre que les militaires ne peut fournir un retour d'expérience pertinent de l'emploi des équipements en condition opérationnelle. Dans ce contexte, même s'ils existent, les spin-in ne peuvent suffire à l'obtention des technologies nécessaires aux équipements militaires. Parallèlement, le cycle de vie des innovations peut créer des ruptures dans la dynamique d'une innovation purement civile. La présence d'innovations militaires et la possibilité de spin-off permettent alors une certaine continuité. Les spin-in et les spin-off apparaissent donc complémentaires à condition qu'une politique publique, articulée dans un système national d'innovation⁷³, accompagne la dualité des technologies.

Pour Mérindol (2003), en France, la rivalité entre les ministères civils et le ministère de la défense ont conduit à accorder une place centrale aux grands groupes dans la gestion de la dualité ainsi que dans la conduite et le pilotage des projets de recherche fondamentale⁷⁴. Cela semble freiner le décloisonnement des recherches et les transferts

⁷¹ Laurent T. (2010), Dépenses militaires, croissance et bien être : une simulation de l'impact macroéconomique de la R&D défense, Handbook of the Economics of Innovation, Volume 2, pp.1219-1256

⁷² Freeman C. (1987), Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan, London

⁷³ Merindol V. (2003), Les politiques d'innovation civile et militaire: complémentarité ou substitution ?, dans Versailles D., Mérindol V. et Cardot P., Recherche et technologie: enjeux de puissance, Economica, Paris, 89-110

⁷⁴ Merindol V. (2005), La défense dans les réseaux d'innovation : une analyse en termes de compétences, Revue d'économie industrielle. Vol. 112. 4^{ème} trimestre 2005. pp. 45-64

intersectoriels, facteurs clés de spin-in ou de spin-off entre les entreprises et les secteurs. Le système français apparaît alors hiérarchisé autour d'un client étatique bicéphale, à la fois militaire et civil, et de grands groupes conduisant à une organisation verticale de l'innovation, avec des transferts d'informations mais aussi de technologies qui ne vont que dans un sens. Aux États-Unis ou au Royaume-Uni, à l'inverse, les PME innovantes ont une place beaucoup plus centrale au travers de la mise en place de plateformes innovantes au sein desquelles des laboratoires publics directement intégrés au ministère de la défense jouent le rôle d'intermédiaires entre les différents acteurs. Cela facilite la mise en réseau de tous les acteurs, avec des transferts d'information et donc d'innovation à la fois bottom-up et top-down, entre les différents secteurs et entreprises de manière interconnectée.

C'est dans ce contexte qu'aux États-Unis, les pouvoirs publics ont réorienté leur système national d'innovation dès le début des années 1980, poussant à une adaptation de la recherche publique vers une prise en compte plus systématique des enjeux économiques liés à l'innovation. Braddon (1999) constate que le DoD a publiquement encouragé la dualité en réduisant le nombre et la nature des spécifications des équipements militaires afin de permettre le développement ou l'emploi de technologies plus génériques. Au départ organisé dans une logique de missions conduisant au développement de grands programmes technologiques, le système a progressivement redéfini ses objectifs en fonction d'applications commerciales ou sociétales. Des investissements dédiés à de grands programmes ont ainsi été engagés afin de promouvoir les transferts de technologies entre les secteurs. C'est le cas par exemple du *Technology Reinvestment Project* (TRP), créé en 1994 et qui prévoyait d'investir plus de 200 millions de dollars sur des projets entre entreprises, universités ou centres de recherche afin de développer des projets à la fois civils et militaires à partir de technologies initialement pensées pour le *Department of Defense*. Il s'inscrivait dans le cadre de la politique de reconversion des activités de défense engagée par le Président Clinton après la fin de la guerre froide. L'enjeu était alors double : maintenir la supériorité technologique des armements américains en tirant autant que possible profit des spin-in, mais aussi promouvoir et soutenir l'avance technologique des

entreprises américaines en finançant indirectement, *via* des programmes militaires, la recherche civile et multipliant le potentiel de spin-off. La technologie critique est alors définie comme celle qui permet de soutenir cet avantage comparatif des technologies américaines tant dans le domaine militaire que civil.⁷⁵ Une attention toute particulière a alors été portée à ce concept de technologies critiques, attention qui a donné lieu à des investigations afin de les identifier. Le DoD ne financera plus dès lors des technologies militaires mais des technologies dites critiques, c'est à dire qui ne peuvent pas être développées uniquement à des fins commerciales, même si les débouchés commerciaux sont importants et sont indispensables à la supériorité stratégique du pays. La liste américaine de ces technologies dites critiques inclut ainsi : les matériaux de synthèses et process afférents, les équipements électroniques, micro-électroniques et optoélectroniques, les céramiques et composites, les systèmes de management des technologies, les logiciels, ordinateurs et réseaux de haute-performances, les technologies aéronautiques et de transport, le stockage de données et les simulations, la biologie moléculaire et l'énergie. La plupart de ses technologies critiques ont un double-usage évident civil et militaire. La classification « technologies critiques » justifie alors un financement militaire, même si certains développements seront ou sont inévitablement civils. Le spin-off s'exprime alors plus par une réduction du coût de la R&D civile dans ces cas-là.

Comme le souligne Mérindol (2000), le cadre légal est, dans ce pays, relativement favorable aux transferts de technologies⁷⁶. Depuis 1980, les universités, et plus généralement toute organisation non lucrative disposant de fonds publics pour financer de la R&D, détiennent la propriété intellectuelle de leurs travaux qu'ils peuvent alors breveter. Cet état de fait est encadré par le Bayh-Dole Act ou *The Patent and Trademark Law Amendments Act* et, en échange de cette propriété sanctuarisée, le gouvernement fédéral reçoit un droit de licence irrévocable et non transférable, tandis que le détenteur du brevet doit favoriser les entreprises américaines. L'intérêt de cette loi est qu'elle incite les universités à rechercher des applications commerciales à leurs découvertes, puisqu'elles en tireront une grande partie des bénéfices commerciaux. Ces applications peuvent être permises soit par des partenariats avec des entreprises privées, soit par la

⁷⁵ Braddon (1999), *op.cit.*

⁷⁶ Mérindol V. (2000), Recherche de défense et PME, Les rapports de l'Observatoire économique de la défense, La documentation française

création d'incubateurs et de PME innovantes. Les défenseurs de cette loi ont argumenté à l'époque qu'une infime partie des brevets déposés par le gouvernement fédéral donnaient lieu à une application commerciale.

Et de fait, la diffusion des technologies s'organise autour de partenariats publics-privés, les CRADA ou *Cooperative Research and Development Agreements* qui permettent la mise en place de structures souples permettant un investissement public au côté de financements privés. Là encore, des lois datant de la fin des années 1980 (*The Federal Technology Transfers Act* de 1986 suivi du *Small Business Technology Transfer Act* de 1992) facilitèrent le développement de ces partenariats. Qui plus est, les restrictions à l'ouverture du marché de la défense à la concurrence internationale favorisent le développement de nouvelles technologies sur une base nationale.

La question des spin-in et off pose aussi celle de la coopération entre agences ou laboratoires publics et entreprises privées. Les CRADA (Cooperative research and Development agreements) sont ainsi des partenariats entre laboratoires publics et entreprises privées, les laboratoires fournissant un certain nombre de moyens aux entreprises pour développer de nouvelles activités. Il est à souligner que, pendant la guerre froide, les laboratoires publics avaient aux États-Unis des consignes très strictes pour ne surtout pas transférer des technologies vers le privé⁷⁷. Ils ont donc dû changer totalement de culture dans les années 1990 pour aboutir à la mise en place de CRADA.

La politique d'acquisition de défense a également un rôle non négligeable et le Pentagone reste un acteur majeur du système national d'innovation aux États-Unis. Ainsi, à partir de 1994, le DoD facilite l'emploi de technologies civiles à des fins militaires dans le cadre des programmes d'armements. Cela a été permis par la réduction des normes s'appliquant aux équipements et technologies militaires et par l'adoption de standards commerciaux

La recherche de défense a été partiellement réorientée vers le développement de nouvelles technologies aux applications commerciales croissantes, comme les systèmes de communication. Le DoD a progressivement accordé la priorité à l'intégration des

⁷⁷ Carayannis E., Rogers E. (1998), High-technology spin-offs from government R&D laboratories and research Universities, *Technovation* vol.18, pp. 1-11

activités civiles et militaires et a ainsi facilité les transferts de technologies vers l'industrie. L'ARPA (Advanced Research Project Agency) joue un rôle clé dans ce dispositif. Elle représente le DoD dans les projets spécifiquement dédiés aux technologies duales, les Dual Use Programs, en grande partie financés par le DoD

Pour Haider, le rôle, des institutions publiques est fondamental dans les transferts de connaissances entre les secteurs. L'existence de laboratoires publics de recherche et de formations universitaires très pointues, de bureaux des transferts de technologies ou de parcs technologiques sont autant de soutien à la dynamique de l'innovation technologique⁷⁸.

Conclusion :

La possibilité de spin-in et/ou de spin-off peut aussi mener à s'intéresser à toute l'analyse théorique sur les facteurs et les freins des transferts de technologies. Ces analyses sont rarement employées à cette fin, elles conduisent plus généralement à étudier les conséquences de transferts dans le cas de relations clients/fournisseurs, surtout lors d'exportations. Pour autant, transposer l'analyse aux transferts intersectoriels peut être instructif. Cohen et Levinthal (1990) expliquent que les transferts de technologies sont possibles si, dans le cadre d'une coopération, chaque acteur a investi *a minima* pour capter et pouvoir employer la technologie⁷⁹.

D'autres chercheurs expliquent que les spillovers dépendent en réalité de la capacité d'absorption, qui correspond à la faculté qu'a une entreprise d'assimiler les flux d'informations liés à la R&D d'une autre entreprise. C'est en quelque sorte la productivité des spillovers. Il semblerait que plus les spillovers sont importants, plus la firme est incitée à accroître ses dépenses internes de R&D plutôt qu'à rechercher des coopérations afin d'accroître sa capacité d'absorption. Par extension, Manant (2005) suppose que les petites entreprises n'ayant pas les moyens de développer leur propre département de R&D sont incitées à coopérer alors que les plus grandes ont un important département R&D et une forte capacité d'absorption. Quoi qu'il en soit, cette

⁷⁸ Haider

⁷⁹ Cohen et Levinthal (1990), op.cit

idée de capacité d'absorption met aussi en évidence la complémentarité des dépenses en R&D internes et externes⁸⁰.

Cohen et Levinthal (1990) émettent l'hypothèse qu'outre l'innovation interne en tant que telles, les dépenses de R&D des entreprises peuvent aussi avoir pour but de maintenir les compétences technologiques d'une entreprise à un niveau suffisant pour être en mesure de tirer parti d'une connaissance produite à l'extérieur, et par conséquent d'évaluer de manière fiable le potentiel d'une technologie externe et de se l'approprier (capacité d'absorption ou *Absorptive capacity*). Une coopération horizontale permet d'accéder à ces technologies externes, elle est donc d'autant plus pertinente et utile que la capacité d'absorption de l'entreprise est élevée.

Mowery et al (1998) considère que les connaissances et les routines liées à l'innovation sont difficilement transférables à d'autres firmes car elles sont pour partie tacites voire culturelles, alors même que l'une des raisons majeures de formations de coopération est la possibilité pour une firme de bénéficier de retombés positives (spillover)⁸¹. C'est tout le paradoxe de cette question, qui explique pourquoi la coopération est autant recherchée par les entreprises alors que, dans le même temps, elle est très incertaine. Un concept semble toutefois réconcilier ces deux aspects du problème : l'absorption. Il correspond « à la capacité à identifier la valeur d'une information extérieure, à l'assimiler et à l'appliquer à des fins commerciales » (Cohen et Levinthal, 1989). Pour Grante (2002), cette capacité d'absorption dépend de l'expérience de l'entreprise. Par conséquent, l'intérêt du partenaire pour la coopération dépendra de sa capacité d'absorption, c'est-à-dire du niveau d'opportunité qu'il peut escompter de la mutualisation. De plus en plus d'études démontrent ainsi que la coopération est une forme d'organisation nécessaire pour faire émerger des innovations (Le Roy, Robert et Lasch, 2012), car elle favorise l'accès à l'information quant aux nouveaux besoins et/ou nouveaux procédés, améliore la flexibilité stratégique des entreprises et développe les capacités d'apprentissage, facilite la coordination complexe (ce que ne peut pas faire le

⁸⁰ Manant (2005), op.cit.

⁸¹ Mowery et al (1998), op.cit.

système de prix de marché) et évite les dysfonctionnement liés à la hiérarchie au sein d'une entreprise⁸².

Pour résumer et conclure, plusieurs facteurs peuvent faciliter et justifier des transferts de technologies :

- les incitations et soutiens aux investissements technologiques. C'est à ce niveau que le système national d'innovation prend tout son sens ;
- la dualité et les transferts de technologies d'un secteur à l'autre permettent le partage du fardeau, c'est-à-dire des coûts et des risques tout en permettant de réaliser des économies d'échelle ;
- ils permettent aussi de croiser des cultures différentes, culture plus commerciale (« market-driven ») pour les technologies civiles poussant à la recherche de développements rapides et d'un certain retour sur investissements, culture plus « procurement-driven », perfectionniste et exigeante quant aux spécifications des technologies permettant l'émergence de technologies de ruptures ;
- les transferts de technologies permettent aussi d'accroître significativement les flux d'informations au sein d'une même entreprise, entre une entreprise et ses sous-traitants et ses clients. Cette diffusion de l'information est à la fois un facteur de spin-in et spin-off, stimulant ainsi en retour l'innovation ;
- Enfin, ces transferts donnent des signaux positifs au marché et stimulent aussi la diffusion d'une culture de l'innovation.

⁸² Le Roy, Robert et Lasch, 2012