



HAL
open science

Les Fondations, acteurs de l'émergence des nouvelles technologies dans les pays non hégémoniques : le cas des micro et nanotechnologies au Mexique.

Eduardo Robles Belmont

► To cite this version:

Eduardo Robles Belmont. Les Fondations, acteurs de l'émergence des nouvelles technologies dans les pays non hégémoniques : le cas des micro et nanotechnologies au Mexique.. Sociologie. Université de Grenoble, 2011. Français. NNT : 2011GRENH018 . tel-00691260

HAL Id: tel-00691260

<https://theses.hal.science/tel-00691260>

Submitted on 25 Apr 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

Spécialité : Sociologie industrielle

Arrêté ministériel : 7 août 2006

Présentée par

Eduardo ROBLES BELMONT

Thèse dirigée par **Dominique VINCK**

préparée au sein du **Laboratoire PACTE PO**

dans l'**École Doctorale Sciences de l'Homme, du Politique et du Territoire**

Les Fondations, acteurs de l'émergence des nouvelles technologies dans les pays non hégémoniques : le cas des micro et nanotechnologies au Mexique

Thèse soutenue publiquement le **19 décembre 2011**,
devant le jury composé de :

M. Rigas ARVANITIS

Directeur de recherche IRD et professeur à l'American University of Beirut, Liban, Rapporteur

Mme. Shyama V. RAMANI

Professeure à l'UNU-MERIT et Maastricht University, Pays-Bas, Rapporteur

Mme. Rebeca de GORTARI RABIELA

Professeure à l'Institut de Recherches Sociales de l'Université nationale Autonome du Mexique, Mexique, Examinateur

M. Daniel VILLAVICENCIO CARBAJAL

Professeur-Chercheur à l'Université Autonome Métropolitaine, Mexique, Président

M. Dominique VINCK

Professeur à l'Université de Lausanne, Suisse, Directeur de thèse



Résumé

Cette recherche porte sur la présence d'une fondation philanthropique dans l'émergence des nouvelles sciences et technologies dans un pays non hégémonique : le cas de la Fondation Mexique – États-Unis pour la Science (FUMEC) dans l'émergence des micro et nanotechnologies au Mexique. Ce travail de recherche part d'une série d'observations des dynamiques du développement de ces technologies émergentes dans ce pays. Lors de ces observations, il a été noté une forte présence de la FUMEC dans ces processus et ceci a attiré l'attention de cette recherche sur les fonctions accomplies par cette fondation. Cette thèse questionne la modélisation des relations des acteurs traditionnellement pris en compte dans les processus des changements technologiques (Etat, université et industrie), car les organismes philanthropiques ont été négligés dans les études sur les changements technologiques. Ce travail propose donc d'élargir l'éventail des acteurs à prendre en compte dans les modèles théoriques de ces études ; il s'agit de prendre en compte les organismes philanthropiques et non gouvernementaux comme des acteurs centraux. Tout au long de ce texte, la thèse montre l'importance de la place et de l'action de la FUMEC dans l'installation des infrastructures, la création de réseaux scientifiques, la formation des ressources humaines, le transfert des connaissances, la commercialisation et la dissémination de la technologie des microsystèmes au Mexique. L'analyse des fonctions et des actions des organismes philanthropiques dans ces processus ne confirme pas seulement l'importance de tels organismes dans les changements technologiques, mais il signale également leur influence sur les politiques scientifique et technologique dans les pays non hégémoniques.

Mots clés : technologies et sciences émergentes, micro et nanotechnologies, pays non hégémoniques, organismes philanthropiques, modèles de développement, réseaux de collaboration, politique scientifique et technologique, FUMEC, Mexique.

Resumen

Esta investigación de la tesis de doctorado trata sobre la presencia de una fundación filantrópica en la emergencia de nuevas ciencias y tecnologías en un país no hegemónico: el caso de la Fundación México – Estados Unidos por la Ciencia (FUMEC) en la emergencia de las micro y Nanotecnologías en México. Este trabajo de investigación, parte de una serie de observaciones de las dinámicas del desarrollo de estas tecnologías emergentes en este país. Durante estas observaciones, ha sido señalada una fuerte presencia de la FUMEC y esto ha llamado la atención de esta investigación sobre las funciones desempeñadas por esta fundación en estos procesos. Esta tesis doctoral cuestiona la modelización de las relaciones de los actores tradicionalmente tomados en cuenta en los procesos de cambios tecnológicos (Estado, Universidad e Industria), ya que los organismos filantrópicos no han sido considerados. Este trabajo de investigación propone entonces ampliar el abanico de actores a tomar en cuenta en los modelos teóricos en estos estudios. En otras palabras, propone tomar en cuenta los organismos filantrópicos y no gubernamentales como actores centrales en los cambios tecnológicos. A lo largo del texto, la tesis muestra la importancia de la posición y de la acción de la FUMEC en la instalación de infraestructuras, la creación de redes científicas, la formación de recursos humanos, la transferencia de conocimientos, la comercialización y la diseminación de la tecnología de los microsistemas en México. El análisis de las funciones y de las acciones de los organismos filantrópicos en estos procesos no confirma solamente la importancia de este tipo de organismos, sino que también resalta la influencia de estos organismos en las políticas científica y tecnológica en los países no hegemónicos.

Palabras clave: tecnologías y ciencias emergentes ; micro y Nanotecnologías; países no hegemónicos; organismos filantrópicos; modelos del desarrollo; redes de colaboración científica; política científica y tecnológica; FUMEC; México.

Abstract

This doctoral thesis deals with the presence of a philanthropic foundation in the emergence of new sciences and technologies in a non-hegemonic country. The case of the United States – Mexico Foundation for Science (FUMEC) in the emergence of micro and nanotechnology in Mexico. This research work, part of a series of observations on the development dynamics of these emerging technologies in this country. During these observations, it has been pointed out a strong presence of the FUMEC in this has attracted the attention of this research on the functions performed by the foundation in these processes. This doctoral thesis questions the modeling of relations actors, traditionally taken into account in the processes of technological change (State, University and Industry), as philanthropic organizations have not been considered in the studies of technological change. This research proposed to extend the range of actors to take into account in theoretical models in these studies. In other words, this thesis proposes to take into account the non-governmental and philanthropic organizations as central players in technological changes. Throughout the text, this work shows the importance of the position and action of the FUMEC in the installation of infrastructure, creation of scientific networks, human resources training, knowledge transfer, commercialization and dissemination of microsystems technology in Mexico. The analysis of the philanthropic organizations functions and actions in these processes not only confirms the importance of these organisms, but also highlights the influence of these organisms in scientific and technological policies in non-hegemonic countries.

Keywords: technologies and sciences emerging; micro and nanotechnologies; non-hegemonic countries; philanthropic organizations; development models; scientific collaboration networks; scientific and technological policy; FUMEC; Mexico.

Remerciements

Tout au long du chemin parcouru pour effectuer cette thèse doctorale, j'ai rencontré des personnes qui ont aussi fait des apports à cette thèse. C'est pour quoi dans le texte de la thèse j'utilise le « nous ».

D'abord, j'aimerais remercier Dominique Vinck, qui a encadré cette recherche en apportant depuis le départ des commentaires critiques et exigeants pour construire cette thèse. Je tiens également à remercier Rebeca de Gortari qui a suivi mon travail, m'a accueilli pour les séjours de recherche au sein de l'Institut de Recherches Sociales de l'UNAM, a lu attentivement la thèse et a fait des suggestions de lecture, qui ont également été des contributions importantes pour ce travail.

Je remercie Roger Coronini, qui m'a guidé et formé dans l'utilisation des outils du domaine de la scientométrie. Sa maîtrise dans ce domaine et sa patience pour répondre à toutes mes questions, ont été clefs pour ma connaissance de la scientométrie et m'ont permis de développer des outils. L'intérêt montré à divers moments pour ma recherche par Guillermo Foladori, Claudia Ortega, le groupe du réseau « Complexité, Science et Société » de la UAM Xochimilco et d'autres chercheurs, a également contribué à ce travail.

Aussi, je remercie toutes les personnes dans les centres et instituts de recherche, ainsi que les agents de la FUMEC et des autres institutions gouvernementales, qui ont répondu positivement à nos demandes et qui ont investi du temps pour répondre à nos questions. Sans leur attention, l'enquête qui sustente cette recherche n'aurait pas eu lieu.

Dans le site Le Patio du laboratoire PACTE ou ailleurs, les échanges avec Gloria, Constanza, Ana, Claire, Matthieu et Hassan ont aussi contribué aux réflexions exprimées dans cette thèse. Finalement, je remercie Myriam et Mélane qui ont eu la patience de lire le texte, signaler les fautes d'orthographe et m'expliquer les corrections. Pratiquement, à chaque correction j'ai amélioré mon français.

Table de matières

Introduction	14
<i>L'émergence des micro et nanotechnologies</i>	14
Le cas de la progression des MNT au Mexique	16
La Fondation Mexique – Etats-Unis pour la Science dans l'émergence de la Technologie de Microsystèmes au Mexique.....	18
<i>Quelle place occupent les Fondations dans la production, la dissémination et l'usage des nouvelles sciences et technologies ?</i>	19
Les fondations philanthropiques dans le développement scientifique et technologique en Amérique Latine et au Mexique.....	22
Les fondations et d'autres organismes dans la production, l'usage et la dissémination des nouvelles connaissances	25
<i>Nouvelles dynamiques de la production de la connaissance</i>	27
L'analyse des relations des acteurs pour comprendre les dynamiques de la production des nouvelles connaissances	30
De la théorie à l'application : l'implication politique des modèles de la production de connaissances	36
Terrain d'étude, matériaux et méthodologie	39

Déroulement de la thèse.....	45
Chapitre I. La FUMEC au cœur de l'émergence de la Technologie de Microsystèmes au Mexique	47
<i>I.1. L'émergence de la technologie des Systèmes Micro Electromécaniques</i>	48
I.1.1. Définition et émergence des MEMS	48
I.1.2 L'attraction des potentialités des MEMS.....	52
I.1.3 Convergence de plusieurs technologies.....	54
<i>I.2. Les fonctions de la FUMEC lors de l'émergence de la recherche en MEMS au Mexique.....</i>	58
I.2.1. Panorama de la productivité scientifique des MEMS au Mexique construit à partir des publications scientifiques et technologiques	58
I.2.2. Les financeurs de la recherche en MEMS au Mexique	61
I.2.3. Définition du programme national pour le développement de MEMS de la FUMEC	64
<i>I.3. Origines et profil de la FUMEC</i>	68
I.3.1. Création à partir de principes philanthropiques	69
I.3.2. Buts, actions et organisation de la FUMEC	69
I.3.3. Le Comité Directeur, un organe indépendant ?.....	73
I.3.4. Financement et indépendance de la FUMEC	74
I.3.5. Implication de la FUMEC dans la formulation et l'application des politiques en science et technologie	76
<i>I.4. Les Fondations Philanthropiques dans le développement scientifique et technologique.....</i>	78
I.4.1. Définition et caractéristiques des Fondations Philanthropiques	78
I.4.3. Les Fondations Philanthropiques et le développement	80
<i>I.5. Conclusion : du global au local dans la définition du Programme de Microsystèmes de la FUMEC</i>	82

Chapitre II. L'installation d'infrastructures scientifiques et technologiques pour le développement de MEMS dans le Programme de Microsystèmes de la FUMEC..... 85

II.1. Quelle stratégie de la FUMEC face au manque d'infrastructures scientifiques et technologiques ? 87

II.2. Du global au local dans l'installation des infrastructures..... 89

II.2.1. Les dynamiques régionales et locales dans les dix CD-MEMS et les trois LI-MEMS 91

II.2.1.1. La région Centre-Sud..... 92

II.2.1.2. L'électronique et l'agriculture dans le Bajío..... 95

II.2.1.3. Les dynamiques industrielles du Nord et la proximité avec les États-Unis..... 97

II.3. Du réseau à l'agglomération scientifique 99

II.3.1. Le cluster de MEMS du Paso del Norte..... 100

II.3.1.1. Les facilités des infrastructures au centre du cluster de MEMS101

II.3.1.2. La proximité géographique entre les infrastructures 102

II.3.1.3. La place du secteur privé dans le cluster de MEMS 104

II.3.1.5. La place de l'industrie de l'armement dans le cluster de MEMS 106

II.4. L'installation des infrastructures scientifiques et technologiques pour les MEMS sans une politique nationale 107

II.4.1. L'implication du Ministère de l'Économie et la reconnaissance de la technologie de MEMS comme un domaine stratégique 109

II.4.2. Les pouvoirs locaux..... 112

II.4.2.1. Le Laboratoire National de Nanoélectronique dans le Plan Stratégique de l'État de Puebla..... 113

II.4.3. Décideurs et institutions politiques, des alliés stratégiques: le réseau politique de la FUMEC 115

II.4.4. Continuité du Programme de Microsystèmes	116
II.5. <i>Conclusions : les enjeux locaux dans l'installation d'une technologie émergente sans un paradigme national de politique scientifique et technologique</i>	118
Chapitre III. La FUMEC dans la création de réseaux socio-technico-économiques pour le développement de MEMS au Mexique	121
III.1. <i>Cadre théorique sur l'analyse de réseaux scientifiques</i>	122
III.1.1. Approches théoriques sur l'analyse des réseaux scientifiques.....	122
III.1.2. Le réseau de collaboration comme forme d'organisation et de travail dans la recherche en MEMS	124
III.2. <i>Le travail en réseau face à l'insuffisance d'infrastructures</i>	125
III.2.1. La création de réseaux scientifiques comme stratégie de la FUMEC pour rationaliser les ressources	128
III.2.1.1. Le réseau de Centres de Dessin de MEMS au Mexique	130
III.2.1.2. Le réseau d'innovation en MEMS au Mexique.....	131
III.3. <i>La gestion de l'accès et de l'usage des plateformes scientifiques</i>	132
III.3.1. La flexibilité face aux incertitudes	134
III.3.2. Les facteurs locaux et endogènes aux laboratoires dans l'établissement des règles pour l'accès et l'usage des nouvelles plateformes	135
III.3.2.1. Les règles préexistantes et leur ajustement.....	135
III.3.2.2. La disponibilité de ressources.....	137
III.3.2.3. Capacités des instruments scientifiques	138
III.3.2.4. Orientations et préférences scientifiques des laboratoires.....	140
III.4. <i>Le Programme de Microsystèmes de la FUMEC comme réseau technico-économique</i>	143
III.4.1. Buts et intérêts hétérogènes.....	144
III.4.2. Pôle scientifique : création de conditions favorables à travers les réseaux CD-MEMS et LI-MEMS	145

III.4.2.1. Le politique dans le pôle scientifique	145
III.4.2.2. L'économique dans le pôle scientifique	147
III.4.3. Pôle technique : la FUMEC au milieu des articulations des acteurs	148
III.4.3.1. Le CAP-MEMS de la FUMEC : une initiative qui vise l'application des nouvelles connaissances.....	149
III.4.3.2. Conception et développement d'un micro capteur du champ magnétique.....	151
III.4.4. Pôle marché : articulation d'acteurs et traduction.....	152
III.4.4.1. Création de l'espace pour l'articulation des acteurs.....	152
 <i>III.5. Conclusions : convergence des approches sur la notion de « réseau » pour la compréhension des dynamiques de collaborations scientifiques et technologiques</i>	 157
 Chapitre IV. Formation, accumulation et mobilisation du capital humain pour le développement des MEMS au Mexique	 160
 <i>IV.1. Le capital humain dans le Programme de Microsystèmes de la FUMEC</i>	 162
IV.1.1. La demande de capital humain issue des sciences et technologies émergentes	162
IV.1.2. Le capital humain dans l'émergence des MNT au Mexique : formation de ressources humaines pour un marché du travail embryonnaire.....	163
IV.1.3. La formation des ressources humaines dans le Programme des Microsystèmes de la FUMEC.....	168
IV.1.3.1. Formation scientifique dans les technologies MEMS	169
IV.1.3.2. Formation professionnelle dans les technologies MEMS	171
 <i>IV.2. La mobilisation de ressources humaines.....</i>	 173
IV.2.2. Programme de Développement de Ressources Humaines en Science et Technologie.....	174

IV.2.1. La mobilisation de chercheurs pour la formation et l'accumulation de ressources humaines spécialisées en MEMS au Mexique	175
<i>IV.3. La propagation de programmes de formation des ressources humaines dans la technologie de microsystèmes au Mexique</i>	<i>177</i>
IV.3.1. La réorientation d'un laboratoire et la création des programmes d'études à partir de la diffusion des potentialités de la technologie des MEMS..	178
<i>IV.4. Conclusions : Quelle stratégie pour la formation des ressources humaines en MEMS au Mexique ?.....</i>	<i>182</i>
Conclusions	185
Références.....	190
Annexes	199
<i>Etude scientométrique sur l'émergence de la Technologie des Microsystèmes</i>	<i>199</i>

Introduction

Notre thèse porte sur l'émergence d'un nouveau domaine de recherche et de développement technologique et s'interroge sur les acteurs en présence et leurs fonctions. Partant du cas des micro et nanotechnologies au Mexique, la question traitée est d'abord celle des conditions et processus du développement des sciences et technologies d'avant-garde dans un pays non hégémonique. Pour cette raison, il sera question des relations entre les acteurs impliqués dans la dynamique de production de connaissances, de la façon de modéliser ces relations mais aussi de l'implication politique de ces modèles. Ce questionnement sera présenté dans la seconde partie de cet exposé de la problématique. Au préalable, nous allons introduire brièvement l'émergence des micro et nanotechnologies, en particulier au Mexique, ce qui nous a conduit à découvrir, à côté des grandes catégories des acteurs classiquement impliqués (Etats, universités et entreprises), une autre catégorie sur laquelle il semble utile d'apporter quelques éclairages : les fondations. Nous expliciterons alors la problématique centrale de la thèse autour de l'examen de leur place et de leur action dans l'introduction et le développement de nouvelles sciences et technologies.

L'émergence des micro et nanotechnologies

Avec l'émergence des micro et nanotechnologies (MNT), des promesses de progrès scientifiques et technologiques étaient annoncées. Dans le contexte économique, la création de marchés de produits fabriqués avec des

nanotechnologies avait également été prédite (Lux Research, 2006), la microélectronique étant l'un des domaines où les nanotechnologies comptabilisent le plus grand nombre d'applications. L'émergence des MNT impliquait aussi des changements dans les centres de recherche et d'innovation technologique : dans le domaine des matériaux avancés, par exemple, une nouvelle discipline nommée « nanomatériaux » est née, discipline au fort potentiel en termes d'investissements mais accompagnée de craintes sur les risques pour la santé à cause des nanoparticules (Gaffet, 2008).

L'émergence de ces nouvelles sciences et technologies est devenue objet des politiques stratégiques pour le développement. En 2001, le gouvernement des Etats-Unis a lancé la *National Nanotechnology Initiative*, cette initiative est perçue comme le départ de la course pour le développement des nanotechnologies dans le monde entier. Certes, les recherches dans ce domaine n'ont pas débuté cette année, mais cette initiative Etats-unienne a été la première à engager de forts investissements dans un programme pour le développement des nanotechnologies. Dans d'autres pays et régions en Occident, des initiatives de ce genre ont également vu le jour. En Europe, par exemple, ce type d'initiative se caractérise d'une part pour viser la création et la consolidation des agglomérations technologiques et d'autre part elles se penchent également sur les réseaux de collaboration scientifique internationale (Robinson *et al.*, 2006). La progression des MNT n'est cependant pas l'apanage des seuls pays développés, nous remarquons en effet que certains pays non hégémoniques¹ participent également à la course au développement de ces nouvelles sciences et technologies. Les potentiels, principalement économiques, de ces technologies ont attiré l'attention des nouveaux arrivés. En effet, comme il a été souligné par Palmberg *et al.* (2009), l'importance de ces nouveaux arrivés dans le

¹ Dans ce travail nous utiliserons le terme de « pays non hégémoniques » en accord à la notion proposée par Losego et Arvanitis (2008) qui est fondée sur deux dimensions : 1. « les pays non hégémoniques sont dominés dans la division internationale du travail scientifique », et 2. Ces pays « n'ont pas d'instruments financiers capables d'agir sur les grandes tendances de la production de savoir dans le monde (...). Cependant, il leur reste des marges de manœuvre, d'une part à l'échelle nationale, pour agir sur leur propre production de connaissances et, d'autre part, dans les choix de sujets et les choix de partenaires avec lesquels ils coopèrent » (Losego et Arvanitis, 2008).

développement de ces technologies émergentes « se caractérise par des forts taux de progression du nombre des publications et des brevets, bien que leurs niveaux de départ soient faibles ». En plus, plusieurs rapports et articles académiques ont mis en évidence la participation des pays non hégémoniques dans la production de ces sciences et technologies émergentes (Kostoff *et al.*, 2007 ; Glänzel *et al.*, 2003 ; Guan et Ma, 2007 ; Pouris, 2007 ; Igami et Saka, 2007), dont, en Amérique Latine, le Mexique occupe la deuxième place (Kay et Shapira, 2008 ; OICTel, 2008) et au niveau mondial il occupe la vingt-quatrième place (Palmberg *et al.*, 2009).

L'émergence des MNT a aussi annoncé des nouvelles dynamiques dans les activités scientifiques et technologiques et dans plusieurs secteurs de la société. Dans les sciences sociales, une littérature centrée sur la compréhension de ces nouvelles dynamiques a également émergé. Huang *et al.* (2010) ont identifié que le débat en sciences sociales autour du développement des nanotechnologies se focalise principalement sur les questions de l'interdisciplinarité des nanotechnologies, de la relation entre les nanosciences et les nanotechnologies, de la dépendance du développement et de qui est à la tête de la course des nanotechnologies. D'autre part, Shapira *et al.* (2010) ont examiné l'émergence de cette littérature, après une analyse des citations des articles en sciences sociales sur les nanotechnologies, les résultats de cette étude ont relevé huit axes dans la littérature sur ces nouvelles technologies : 1. les implications et les trajectoires, 2. la gouvernance, 3. la délibération et la perception publique, 4. l'éthique, 5. les études de la science et de la technologie, 6. les visions de la science, 7. les études scientométriques et 8. les études dans l'économie évolutionniste.

Le cas de la progression des MNT au Mexique

Le travail de recherche de cette thèse s'insère dans ces études sur l'émergence des micro et nanotechnologies, en se centrant sur le cas particulier du Mexique. Ce pays, considéré aussi comme non hégémonique dans la science, ne possède ni programme national dans ce domaine ni aire industrielle de microélectronique susceptible d'investir dans les MNT. Cependant, et paradoxalement, on remarque que des projets de recherche y sont quand même réalisés (Foladori et Zayago, 2007).

Au départ, une des premières tâches de ce projet de thèse a été d'effectuer un panorama de l'état du développement des MNT. Nous nous sommes appuyés sur certains outils de la scientométrie afin de caractériser l'évolution des MNT au Mexique et d'identifier les principaux acteurs scientifiques engagés. Les résultats nous ont montré que la progression des MNT au Mexique est en pleine expansion, la productivité scientifique de ces sciences et technologies au Mexique n'est pas si importante que la productivité de leurs principaux concurrents économiques, néanmoins, la production des connaissances dans ce domaine n'a pas cessé d'accroître dans ce pays et les acteurs scientifiques mexicains sont assez hétérogènes et leurs relations avec des acteurs internationaux ne sont pas négligeables (Robles-Belmont et Vinck, 2011).

Afin d'approfondir notre étude sur les dynamiques du développement des MNT au Mexique, un premier séjour de recherche a été effectué dans ce pays. Lors de ce premier contact avec le terrain mexicain nous avons, d'une part, confirmé l'existence des projets de recherche dans le domaine des MNT et, d'autre part, nous nous sommes aperçus de la richesse du terrain dans ce domaine au Mexique. Richesse qui repose sur l'existence des projets d'installation d'infrastructures scientifiques et technologiques, sur la création et la réorientation de réseaux de collaboration scientifique au niveau national et international, sur la création de programmes d'études orientés vers les MNT, entre autres initiatives et éléments qui caractérisent les dynamiques de l'émergence de ces nouvelles sciences et technologies au Mexique.

A partir de cette première étape de notre projet de recherche, nous avons pu tirer des questions et des hypothèses pour essayer de comprendre les dynamiques des MNT au Mexique. Ces résultats préliminaires ont été la base de notre programme de recherche de thèse et ils ont été objet de plusieurs communications dans des événements académiques. Dans cette partie de notre recherche, nous avons choisi et suivi plusieurs projets de recherche et d'installation d'infrastructures afin d'aborder les questions avancées. Plus bas, nous reviendrons de manière plus détaillée sur la façon dont nous avons abordé notre terrain et construit notre programme de recherche.

La Fondation Mexique – Etats-Unis pour la Science dans l'émergence de la Technologie de Microsystèmes au Mexique

Dans notre recherche, nous nous sommes penchés sur l'étude des interactions entre les différents secteurs qui interviennent dans la production des MNT au Mexique. A partir des approches sur la production de la connaissance, nous avons donc qualifié les interactions entre l'université, l'industrie et le gouvernement durant le développement de deux projets de recherche dans les NST (Robles-Belmont *et al.*, 2009). Au cours de cette étude, nous avons remarqué la présence d'un autre acteur différent de ceux qui sont communément pris en compte dans les études sur les changements technologiques et sur la production de la connaissance. Cet acteur se situe hors les secteurs de l'académie, de l'industrie et du gouvernement. Il s'agit d'une fondation philanthropique, la Fondation Mexique - Etats-Unis pour la Science (FUMEC, pour ses sigles en espagnol) qui est une entité fortement engagée dans le développement des micro et nanotechnologies, particulièrement dans les Systèmes Micro Electromécaniques (MEMS, pour ses sigles en anglais), au Mexique. De plus, lors de notre enquête nous avons constaté que cette fondation est fortement impliquée dans la promotion et le développement de ces technologies émergentes. Lors des visites et des observations sur le terrain, les acteurs interviewés ont évoqué à plusieurs reprises la présence et la participation de la FUMEC. Cette participation de la FUMEC a été observée dans plusieurs phases et niveaux de la production des connaissances dans ce domaine, ainsi que dans les processus des changements résultants.

Nous nous sommes donc centrés sur la caractérisation des fonctions de la FUMEC dans le développement des MEMS et nous avons observé que ses fonctions sont en effet centrales dans le développement de cette technologie émergente à plusieurs niveaux et dimensions. Les premières initiatives pour le développement des MEMS au Mexique ont en effet été lancées par la FUMEC. Ces initiatives ont été orientées vers l'installation d'infrastructures et la formation de ressources humaines et elles font partie du programme pour le développement de la technologie de MEMS au Mexique de la FUMEC. Ce programme, que nous détaillerons dans le premier chapitre, compte aussi avec des initiatives et des actions pour le transfert de technologies, la commercialisation de produits basés sur cette technologie, la

dissémination de la technologie des MEMS, entre autres. Toutes les initiatives de ce programme se concrétisent en projets de recherche et développement technologique au niveau national, régional et local.

Quelle place occupent les Fondations dans la production, la dissémination et l'usage des nouvelles sciences et technologies ?

A partir de ces observations sur le cas du développement de la Technologie de Microsystèmes au Mexique, l'analyse des fonctions des fondations philanthropiques dans les dynamiques de l'émergence de ces technologies est donc devenue objet central dans notre recherche. Une première question a été celle sur la place des fondations philanthropiques dans la production, la dissémination et l'usage des nouvelles technologies.

Dans la littérature académique, les fondations philanthropiques sont étudiées comme des acteurs importants ou des parties prenantes (*stakeholders*) dans le développement de différents secteurs. Par exemple, dans le secteur de la santé, les fondations ont eu des fonctions importantes dans le financement de la recherche dans certains domaines de ce secteur (Greene, 1993). Dans ce même secteur, nous trouvons des études sur la Fondation Rockefeller (FR) et ses programmes pour combattre la malaria (Stapleton, 2009) et la fièvre jaune (Solorzano, 1994) dans les pays moins développés. Cette fondation a aussi été impliquée dans la formation de professionnels de la santé en France (Saunier et Tournes, 2009), aux Etats-Unis (Cooper, 2004), et au Canada (Fedunkiw, 2005). Ce soutien à la formation de professionnels n'a pas seulement été faite par le biais des bourses pour les étudiants et les projets de recherche, la FR a également participé dans le financement de la construction des infrastructures pour l'éducation et la recherche². Dans l'agriculture, la FR a aussi été un organisme important dans le développement de la « Révolution

² Lors d'une visite à l'Université de Chapingo, dans le centre du Mexique, nous avons croisé une plaque, à l'extérieur d'un bâtiment, sur laquelle il est dit que la Fondation Rockefeller a financé la construction de ce bâtiment. Cela a été fait dans le cadre du programme pour le développement des biotechnologies dans ce pays.

Verte » en Afrique (Toenniesen *et al.*, 2008) et, en Amérique Latine, au Venezuela (Vessuri, 1994) et au Mexique (Harwood, 2009 ; Fitzgerald, 1986). Dans le développement des sciences sociales, la présence des Fondations Philanthropiques a aussi été signalé en Europe (Stapleton, 2003 ; Buxton, 2003 ; Mazon, 1985 ; Guilhot, 2007) et en Amérique latine (Parmar, 2002a). Pour citer d'autres domaines parmi lesquels les fondations philanthropiques ont été impliquées, nous pouvons évoquer la physiologie au Pérou (Cueto, 1994a), la génétique au Brésil (Glick, 1994) et la microbiologie (Deister, 2011 ; Abir-Am, 2002).

La majorité de ces études sur les Fondations concernent l'histoire des sciences et des technologies et se centrent sur la compréhension de l'importance des organismes philanthropiques à jonctions historiques dans les périodes de la Première et Seconde Guerres Mondiales, ainsi que de la Guerre Froide (Abir-Am, 2002). La littérature que nous venons d'évoquer sur les fondations n'est pas exhaustive, elle est assez ample et aborde, comme nous venons de voir, différents domaines scientifiques dans lesquels les fondations philanthropiques et d'autres organismes non gouvernementaux (ONG) ont eu des fonctions importantes dans leur développement. Certains textes ont été faits par des académiciens en sciences sociales, mais d'autres textes ont été produits par les agents des organismes philanthropiques mêmes. Ces études sur les fondations montrent la présence internationale des organismes philanthropiques dans le développement des domaines scientifiques et technologiques. Sur la scène internationale, les fondations philanthropiques les plus visibles sont la Fondation Rockefeller, la Fondation Carnegie, la Fondation Ford et ces dernières années la Fondation Bill et Melinda Gates.

D'autre part, ces études relèvent que la principale fonction des fondations dans l'émergence et le développement des sciences et des technologies concerne le financement des activités de la recherche, ainsi que des infrastructures et la formation de ressources humaines. Les fondations philanthropiques sont aussi à l'origine du développement des sciences et technologies, le cas le plus remarquable est le développement de la « Révolution Verte » et son émergence dans les pays non hégémoniques, où la FR a été importante dans l'installation de ces technologies. Un autre cas est celui de l'émergence et le développement de la biologie moléculaire

dans la période de 1930-1960, durant laquelle la FR a été une des principales sources de financement de la recherche dans la transition de la biologie classique vers la biologie cellulaire et moléculaire (Abir-Am, 2002). Une des caractéristiques des domaines choisis par les fondations est la faisabilité des projets à soutenir et la haute applicabilité des connaissances produites. Les changements politiques et sociaux dans les contextes d'action constituent également un autre élément pris en compte par les organismes philanthropiques lors des définitions et ajustements des stratégies (Arnove et Pinede, 2007 ; Faria et da Costa, 2006). Un autre aspect moins relevé dans les sciences sociales sur les fondations dans les activités de la recherche concerne la création des réseaux scientifiques internationaux (Parmar, 2002a ; Faria et da Costa, 2006).

Des critiques ont aussi été dirigées vers les fondations philanthropiques. Ces critiques se focalisent sur les relations étroites entre les fondations philanthropiques étasuniennes et la politique étrangère des Etats-Unis pour construire et maintenir l'hégémonie de ce pays dans le monde. Un de ces travaux est celui de Parmar qui analyse la participation de trois fondations étasuniennes (les fondations Ford, Rockefeller et Carnegie) dans la construction des réseaux scientifiques internationaux et comment ces réseaux ont contribué à consolider l'hégémonie des États-Unis (Parmar, 2002a et 2002b). Cet aspect sur l'hégémonie est aussi traité dans le livre édité par Cueto qui s'intitule « *Missionaries of Science. The Rockefeller Foundation & Latin America* » (Cueto, 1994b). Dans cet ouvrage, Solorzano (1994) analyse par exemple les actions de la FR dans des campagnes contre la fièvre jaune au Mexique dans la décennie de 1920 et il montre que les objectifs et les techniques de ces campagnes ont été définis à partir du niveau d'investissements économiques des États-Unis dans la région. Les études présentées dans ce livre, montrent que la FR a eu des fonctions non négligeables non seulement dans le développement scientifique, mais également dans l'installation des nouvelles technologies et des modèles institutionnels dans la science (Fitzgerald, 1994). En outre, la revue *Critical Sociology* a publié en 2007 un numéro spécial consacré aux études critiques des organismes philanthropiques et non gouvernementaux. Dans ce numéro spécial, Guilhot (2007) analyse comment les fondations philanthropiques ont promu le développement des sciences sociales destinées à produire de la connaissance sur

des réformes politiques et sociales, ainsi qu'à former des nouvelles élites politiques en faveur des classes dominantes.

D'ailleurs, les fondations philanthropiques ne sont pas les seuls organismes présents dans le développement des nouvelles technologies qui n'appartiennent pas aux secteurs du gouvernement, de l'industrie ou de l'académie. Shrum (2000), dans un travail sur la « Révolution Verte » au Kenya, en Afrique, note l'émergence d'un nouveau secteur dans ce domaine : les organisations non gouvernementales (ONG). Ce type d'organismes partage des caractéristiques avec les fondations philanthropiques, comme par exemple, le caractère à but non lucratif. Les ONG et les fondations philanthropiques, sont parfois confondues, dans le premier chapitre nous allons présenter une différenciation que nous faisons de ces deux types d'organismes. Cependant, nous n'excluons pas le fait que les ONG sont aussi des acteurs centraux dans l'émergence des nouvelles sciences et technologies.

Les fondations philanthropiques dans le développement scientifique et technologique en Amérique Latine et au Mexique

Dans la littérature que nous venons d'évoquer sur l'action des fondations philanthropiques dans le développement des sciences et technologies, plusieurs travaux historiques traitent ce sujet dans le cas de l'Amérique Latine (Vessuri, 1994 ; Cueto, 1994 ; Harwood, 2009 ; Fitzgerald, 1986 ; Faria et da Costa, 2006 et Solorzano, 1994). Ces travaux soulignent le financement des activités de la recherche et de l'installation des infrastructures pour le développement de la recherche dans les domaines de l'agriculture et de la santé, ainsi que la création des réseaux scientifiques.

Les mauvaises conditions pour le développement des sciences et technologies dans les pays latino-américains sont une des caractéristiques notées des systèmes scientifiques dans ces travaux académiques. Les aspects de ces caractéristiques sont : le manque d'investissements pour le développement de la science et de la technologie ; l'absence de paradigmes dans les politiques scientifiques et technologiques ; l'instabilité des systèmes politiques ; et la présence d'autres problèmes sociétaux (pauvreté, fort taux de chômage) qui déplacent le R&D hors des priorités nationales. Ces conditions sont caractérisées comme adverses pour le

développement de la science par Cueto (1997) et c'est dans ces contextes d'instabilité dans plusieurs dimensions que les fondations trouvent des espaces d'action et d'intervention pour le développement de certains domaines scientifiques et technologiques.

Un cas intéressant qui concerne le Mexique est celui de la FR dans le développement des nouvelles technologies dans le secteur agricole. Dans les études sur la « Révolution Verte », Harwood (2009) étudie le développement du programme agricole de la FR pour le Mexique. Cet auteur montre comment ce programme (formulé à partir des expériences de la FR en Europe et aux Etats-Unis) a été ajusté en fonction des particularités locales de l'agriculture mexicaine, afin d'obtenir rapidement des résultats applicables sur des grandes exploitations commerciales. Fitzgerald (1994) a également étudié le programme de la FR au Mexique, elle trouve que le développement du modèle de la FR pour le Mexique a eu des contraintes liées aux particularités locales (sociales et culturelles, par exemple) et elle explique, dans ses résultats, que le succès du programme de la RF pour l'agriculture au Mexique a justement dépendu de la prise en compte de ces particularités. D'autre part, dans d'autres études en sciences sociales sur les biotechnologies au Mexique, avec une approche ethnographique, Arellano-Hernández (1999) analyse la construction d'un réseau socio-technique de grains de maïs améliorés dans ce pays, où la présence de la FR apparaît à plusieurs reprises. Dans une autre étude, avec la même approche, sur le développement des pommes de terre résistantes à certains virus au Mexique, Ortega-Ponce (2008) identifie la FR comme un acteur dans le développement de ces végétaux. L'importance de la FR émerge dans ces dernières études empiriques. Cependant, l'influence de la FR dans le développement des biotechnologies au Mexique n'est pas approfondie.

D'autre part, à partir des études historiques sur le développement de la science de la vie en Amérique Latine et sur la fonction des fondations philanthropiques pour diffuser des modèles institutionnels, Cueto (1997) propose un agenda de recherche autour des cinq problématiques présentes en Amérique Latine, où la science se développe dans des conditions d'adversité. Ces cinq problématiques sont les suivantes : a. la concentration de ressources, b. l'utilitarisme de la science, c. le nationalisme dans la science, d. les capacités techniques dans la science et e. les

réseaux scientifiques nationaux et internationaux. Lors de notre recherche sur le développement des MNT au Mexique, ces thèmes ont émergé et nous avons observé en effet la présence de la FUMEC dans les dynamiques qui les touchent. Ces cinq thèmes ne sont pas indépendants, ils sont très liés les uns aux autres. L'étude et l'analyse, par exemple, sur les capacités techniques concernent aussi la question de la concentration de ressources et celle des réseaux scientifiques.

Ces travaux confirment l'importance des fondations philanthropiques dans le développement des sciences et des technologies en Amérique Latine, dont au Mexique. Toutes ces études nous donnent déjà un panorama des espaces d'action dans les systèmes scientifiques où les fondations ont eu des impacts. Dans les histoires exposées dans ces travaux, il est expliqué comment les fondations ont défini et ajusté leurs programmes pour le développement et les applications de certaines connaissances scientifiques et technologiques, ceci à partir de données issues des archives historiques. D'autre part, nous pouvons dégager de ces travaux les principales fonctions des fondations dans les changements scientifiques et technologiques, ainsi que les connivences des fondations pour soutenir le maintien de l'hégémonie des Etats-Unis. Tous ces aspects, nous aident à comprendre les dynamiques du développement des science et technologies, où les fondations ont émergé et représentent un autre secteur dans les systèmes scientifiques.

Dans notre recherche, le cas de la FUMEC dans le développement des MEMS au Mexique montre qu'actuellement ce type d'organisme mène encore des actions importantes, voir centrales, dans le développement scientifique et technologique. Ici, notre recherche constitue donc un apport à ces études. D'une part, nous essayerons avec une approche plutôt empirique de rendre compte de l'action des fondations dans les nouvelles dynamiques issues de l'émergence des MNT au Mexique. D'autre part, notre recherche prétend aussi apporter des éléments pour mieux comprendre ces nouvelles dynamiques en explorant les cinq thèmes proposés par Cueto sur les études des fondations philanthropiques en Amérique Latine.

Les fondations et d'autres organismes dans la production, l'usage et la dissémination des nouvelles connaissances

Concernant les fonctions des fondations philanthropiques qui influent sur le développement des sciences et technologies, dans la littérature, nous avons identifié un total de sept fonctions qui sont listées dans le Tableau 1. D'autre part, les fonctions que nous avons identifiées dans notre recherche sur la FUMEC dans le développement des MEMS au Mexique sont relatives aux sept fonctions montrées dans ce tableau et, en plus, nous avons identifié d'autres fonctions qui concernent la réalisation d'études de prospective et de diagnostique, le transfert technologique, le flux des informations et la dissémination et commercialisation des nouvelles technologies. Au cours des chapitres de cette thèse, nous allons expliciter ces fonctions et comment elles se sont inscrites dans les stratégies de la FUMEC pour le développement des MEMS au Mexique.

-
1. Financement des activités de la recherche
 2. Installation d'infrastructures
 3. Promotion des nouvelles sciences et technologies
 4. Application des nouvelles technologies
 5. Création des réseaux scientifiques internationaux
 6. Formulation de politiques
 7. Changements des modèles institutionnels
-

Tableau 1. Fonctions des fondations philanthropiques dans le développement des sciences et technologies identifiées dans la littérature.

D'ailleurs, les fondations philanthropiques ne sont pas les seuls organismes qui sont présents dans les processus de production, usage et dissémination de nouvelles connaissances. D'autres organismes ont émergé dans les nouvelles dynamiques de production de la science et de la technologie, dont nous avons déjà évoqué les ONG. Dans la littérature sur les études sociales de la science et de la technique, le terme « d'intermédiaire » a émergé pour désigner les acteurs qui effectuent diverses activités dans les processus d'innovation (Howells, 2006). L'identification d'organismes intermédiaires n'est pas évidente à cause des trois raisons évoquées par Howells :

- l'absence d'une définition acceptée et d'un consensus sur ce qu'est un intermédiaire en innovation,
- les organisations identifiées comme celles qui effectuent des fonctions d'intermédiaires dans les processus d'innovation sont des entités complexes et multiples, dont la fonction principale peut souvent ne pas être intermédiaire, et
- l'absence d'une définition officielle ou la reconnaissance du secteur par des organismes gouvernementaux.

En outre, à partir des études sur les organismes intermédiaires, Howells identifie les dix fonctions suivantes de ces organismes observées en Angleterre : 1. Prospective et diagnostique, 2. Analyse et traitement de l'information, 3. Traitement et combinaison des connaissances, 4. *Gatekeeping*³ et courtage, 5. Test et validation, 6. Accréditation, 7. Validation et régulation, 8. Protection des résultats, 9. Commercialisation et 10. Évaluation des résultats. Lors de la qualification des fonctions de la FUMEC, nous avons identifié que certaines des fonctions menées par cette fondation correspondent aux fonctions décrites par Howells. Cependant, la notion « d'intermédiaire » renvoie à un organisme qui mène des actions dans l'espace sur les traits qui lient les nœuds dans les réseaux des processus d'innovation. Dans les études sociales de la science et de la technique, ces nœuds correspondent aux principaux secteurs dans la production des nouvelles connaissances : industriel, académique et gouvernemental.

L'importance des fondations et d'autres organismes non gouvernementaux dans les changements scientifiques et technologiques montre que ces organisations ne peuvent pas être réduites à la définition d'intermédiaires, car elles ont eu et ont actuellement des fonctions assez centrales dans les différentes étapes et dimensions de l'installation, du développement, de l'application et de la dissémination des nouvelles sciences et technologies. Le cas de la FUMEC dans le développement des

³ *Gatekeeping* est le processus à travers lequel de l'information est filtrée pour sa dissémination, que ce soit la publication, la radiodiffusion, l'Internet ou un autre type de communication.

MEMS au Mexique est un bon exemple pour montrer cette importance. L'étude sur la Technologie de Microsystèmes au Mexique et la FUMEC va nous permettre de souligner les différentes fonctions que cette fondation de caractère philanthropique a eu et a encore dans la progression de cette technologie inexistante dans ce pays au début de ce siècle. Nous allons essayer de rendre compte des dynamiques dans les différentes dimensions et niveaux de la progression de cette technologie au Mexique. Dans l'explicitation et les histoires des cas que nous allons mobiliser dans les chapitres de cette thèse, nous allons également aborder les thèmes de l'agenda de recherche sur les fondations philanthropiques proposée par Cueto.

Afin de rendre compte des dynamiques dans ces processus, nous nous sommes centrés sur les interactions entre la FUMEC et des acteurs provenant des secteurs industriel, académique et gouvernemental. Pour cela, nous nous sommes intéressés aux approches sur la production des nouvelles connaissances, car celles-ci se penchent sur l'analyse des interactions entre l'académie et d'autres secteurs de la société dans le cadre de la compréhension des nouvelles dynamiques des pratiques scientifique et technologiques.

Nouvelles dynamiques de la production de la connaissance

Dans la littérature académique, les études sur les nouvelles dynamiques de la production de la connaissance scientifique, de l'application de cette connaissance et des changements que ces nouvelles formes impliquent dans les différents secteurs de la société occupent une place non négligeable. Depuis les années 70, plusieurs approches théoriques ont été destinées à la compréhension et à l'explication de ces dynamiques au milieu de débats sur les crises économiques (Shinn, 2002). Ce sont des approches descriptives et/ou prescriptives (Hessels et van Lente, 2008), dans lesquelles la technologie est l'entrée la plus commune pour étudier les nouvelles dynamiques entre la science et la société. La majorité de ces approches se restreignent à analyser les processus d'innovation à l'intérieur des entreprises. En plus, ces théories analysent l'évolution de la science et de la technologie, et s'intéressent également aux changements dans les structures de l'éducation, mais seulement certaines signalent les changements dans la gouvernance de la politique scientifique et technologique issue de la globalisation.

Hessels et van Lente (2008), dans une étude sur l'évolution de la notion du Mode 2, ont recensé plusieurs approches théoriques sur la production des connaissances scientifiques. Ces auteurs distinguent diverses caractéristiques de ces approches et les classent en trois niveaux : cognitive, organisationnelle et relations externes. Nous avons révisé les références bibliographiques citées par Hessels et van Lente et d'autres afin d'approfondir les approches théoriques sur la production du savoir, ceci avec l'objectif d'identifier les points actuels dans les débats académiques autour de la production, l'usage et l'application de la connaissance et ses relations avec la société (critiques et nouveaux concepts de ces théories).

Un total de huit approches constitue la liste révisée par Hessels et van Lente, à laquelle nous ajoutons l'approche du « Triangle de Sabato » (Sabato et Botana, 1968). Ici, nous allons évoquer quelques points sur les caractéristiques des nouvelles dynamiques de la science et les interactions des institutions académiques avec d'autres secteurs de la société.

Dans ces études sur la production des nouvelles connaissances, il a été signalé que les changements de paradigme dans la science répondent aux nouvelles dynamiques issues de la globalisation, ces dynamiques présentent deux caractéristiques nouvelles : l'augmentation de la concurrence pour l'obtention du financement venu de l'extérieur des universités et l'augmentation des activités de caractère lucratif dans les universités (Slaughter et Leslie, 1997). Cette concurrence pour le financement provenant de l'extérieur des universités est considérée comme un des facteurs qui a une influence sur les choix des chercheurs lors de la définition des agendas de recherche (Ravetz, 2004 ; Ziman, 2000). L'importance d'autres facteurs externes est soulignée dans la notion de « science post-normal » (Funtowics et Ravetz, 2003), ces derniers sont les faits d'incertitude, les valeurs en dispute, les enjeux élevés et les décisions urgentes.

Un autre point à souligner est l'importance de la prise en compte des contextes sociaux et économiques dans lesquels la science est produite. L'utilité et l'applicabilité de la production des nouvelles connaissances dans des contextes déterminés sont en effet d'autres facteurs qui interviennent dans les nouvelles dynamiques de la science. Arie Rip (2004) utilise le terme de « science stratégique » pour faire référence à un nouveau régime de la science dans lequel celle-ci est re-

contextualisée dans la société. L'utilité comme caractéristique des dynamiques de la science est aussi évoquée dans les approches de la « science post-académique » (Ziman, 2000) et de la « nouvelle production de la connaissance » (Gibbons *et al.*, 1994).

Une autre caractéristique des nouvelles dynamiques de la production des connaissances est l'hétérogénéité des acteurs impliqués. Toutes les approches coïncident sur ce point et se penchent sur l'étude des interactions entre les acteurs hétérogènes provenant des secteurs de l'industrie, de l'académie et du gouvernement dans les processus d'innovation (Sabato et Botana, 1968 ; Gibbons *et al.*, 1994 ; Etzkowitz et Leydesdorff, 1996 ; Edquist et Hommen, 1999). Seule l'approche de la science post-normale va au-delà de ces trois secteurs en signalant que la caractéristique particulière des nouvelles dynamiques est la participation publique (Funtowics et Ravetz, 2003).

L'influence des facteurs externes dans la science, les conditions contextuelles, la relation des fondations avec les systèmes politiques en science et technologie, et l'étude des interactions entre les acteurs impliqués (communément l'industrie, l'académie et le gouvernement) sont des points qui nous semblent intéressants de souligner pour notre travail de thèse. Cela parce que nous avons observé les deux premiers points comme des caractéristiques dans le développement des MEMS au Mexique. La prise en compte des facteurs externes et les conditions des contextes locaux dans les choix de la FUMEC et des acteurs scientifiques pour mener à bien les projets pour le développement de la Technologie de Microsystèmes seront explicités dans le texte de la thèse.

Les relations des fondations philanthropiques avec les systèmes politiques en science et technologie dans les pays non hégémoniques sont une autre des caractéristiques que nous avons observé dans le cas du développement des MEMS au Mexique. Ici, nous ajoutons ce dernier point comme un autre thème à la proposition d'agenda de recherche sur les fondations philanthropiques proposée par Cueto. Dans notre recherche, nous avons constaté que le manque des paradigmes dans la politique scientifique et technologique et l'instabilité des systèmes politiques sont aussi des caractéristiques des conditions adverses pour le développement de la science et de la technologie dans les pays non hégémoniques. D'autre part, nous

avons également trouvé que la FUMEC a eu une influence sur les systèmes politiques dans différents niveaux du gouvernement afin de définir le développement des MEMS comme un nouveau paradigme technologique pour le Mexique. Cette implication des fondations philanthropiques a déjà été observée dans les études sur les fondations philanthropiques en Amérique latine, tel est le cas de la Révolution Verte au Mexique et l'importance de la FR dans la définition de ce changement de paradigme technologique dans l'agriculture mexicaine et sur la diffusion des modèles institutionnels notée par Fitzgerald et Cueto.

Concernant le point sur les interrelations entre les divers acteurs, les études sur la production des nouvelles connaissances n'ont pas souligné l'importance des fondations philanthropiques et d'autres organismes non gouvernementaux dans les processus des changements technologiques. Sur ce dernier point, dans cette thèse nous allons remarquer l'importance des fondations et argumenter sur la pertinence d'étendre l'éventail des acteurs à prendre en compte dans ces études pour mieux comprendre les nouvelles dynamiques dans la production, l'usage et la dissémination des nouvelles connaissances, ainsi que dans les changements technologiques.

L'analyse des relations des acteurs pour comprendre les dynamiques de la production des nouvelles connaissances

Jusqu'ici nous avons révisé les approches théoriques pour les études de la production de nouvelles connaissances scientifiques et leurs implications dans la gouvernance des systèmes scientifiques et technologiques. Dans les STS, la sociologie des sciences se focalise également sur les relations de la science avec la société. Toutes ces approches se sont en effet également centrées sur les relations entre la science et la société et comment celles-ci ont un impact sur la production de nouvelles connaissances scientifiques (Hessels et van Lente, 2008).

Un point en commun des approches théoriques réside sur le fait que pour comprendre les dynamiques de la production de connaissances, l'analyse se focalise sur les relations entre les sphères institutionnelles ou secteurs engagées. Leydesdorff (2006) dit que trois subdynamiques peuvent être considérées dans ce type d'études. Les deux premières subdynamiques sont constituées par le marché et

les systèmes politiques, et la troisième est la production et le contrôle de connaissances organisées. Les sphères institutionnelles ou secteurs qui sont prises en compte sont l'industrie (le marché), le gouvernement (le système politique) et l'université (la production de connaissances). Cette configuration des interrelations entre les secteurs est communément représentée par un triangle, sur lequel chaque nœud représente les secteurs (ou acteurs) et les lignes qui lient les nœuds représentent les interactions entre les trois secteurs (voir figure 1). La différence des approches sur cette configuration des interrelations est l'importance accordée aux acteurs dans le processus d'innovation. Etzkowitz et Leydesdorff (2008) argumentent que des changements importants ont eu lieu dans la période de la post-guerre, cela par un passage important de la production de l'innovation impulsée par l'armée vers celle impulsée par les universités. Pour ces auteurs, c'est l'université qui joue la fonction centrale dans la production de nouvelles connaissances et de l'innovation. Dans le modèle des Systèmes d'Innovation, le développement de l'innovation est impulsé du côté de la demande, c'est-à-dire de l'industrie (Edquist y Hommen, 1999). Ce modèle signale aussi que cela est possible en partie grâce à l'existence d'un cadre régulateur, soit national, régional ou sectoriel, qui marque la direction des régimes technologiques. D'autre part, le modèle du Triangle de Sabato soutient que dans les processus d'innovation (ou production de technologie) c'est le gouvernement qui a les fonctions principales par le biais des organismes institutionnels qui ont comme but de formuler des politiques et mobiliser des ressources (Sabato, 1971).

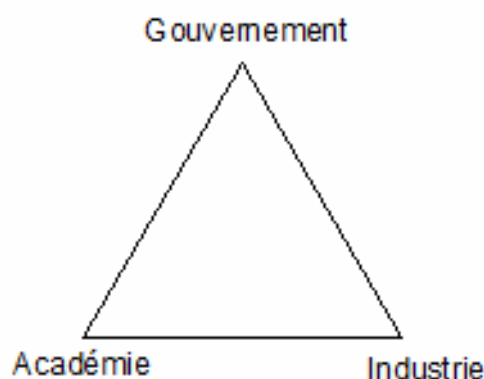


Figure 1. Triangle des relations dans la production, l'usage et la dissémination des nouvelles connaissances.

Dans cette configuration des relations des acteurs dans la production des connaissances, sur les lignes qui lient les nœuds sont situés les organismes intermédiaires, car ces derniers accomplissent des fonction d'intermédiation entre les nœuds, et c'est pour cela qu'ils ne sont pas considérés comme des acteurs centraux dans les processus d'innovation. Concernant les fondations et les ONG, ils sont fréquemment classés comment des organismes intermédiaires (Howells, 2006 ; Isiordia *et al.*, 2009). Cependant, l'importance de ces organismes dans les processus d'innovation, pour le cas des ONG dans la recherche agricole déjà signalé par Shrum (2000) et pour le cas des fondations que nous avons déjà évoqués, fait que nous ne pouvons pas les ignorer en tant qu'acteurs. Ces organismes nous les concentrons dans une autre sphère institutionnelle qui, pour sa nature philanthropique et à but non lucratif, ne peut pas être caractérisée comme une entité ou un organisme issu des trois premières sphères institutionnelles. A partir de ces constats, nous proposons d'ajouter une autre sphère nommée « Fondations et autres organismes » dans la structure des relations entre les acteurs dans la production des connaissances. Afin d'illustrer cette configuration avec quatre sphères institutionnelles ou secteurs, la Figure 2 montre un tétraèdre qui représente cette structure où les secteurs sont symbolisés par les sommets de la figure et les relation par les côtés.

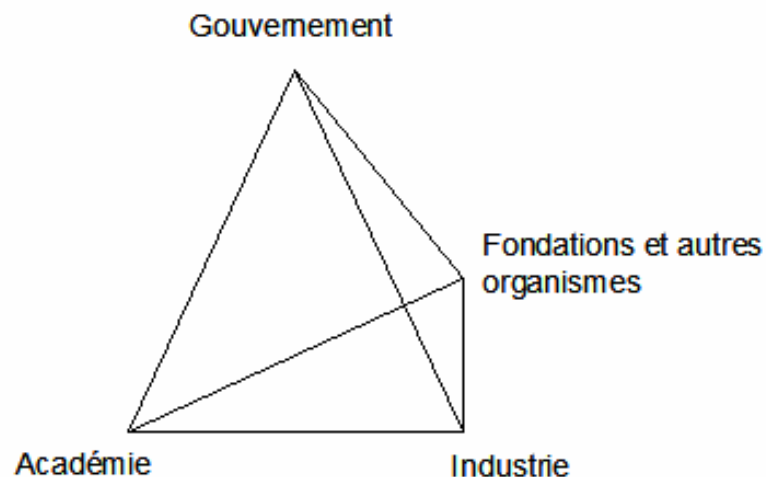


Figure 2. Tétraèdre des possibles relations dans la production, l'usage et la dissémination des nouvelles connaissances.

Notre étude sur la place des fondations dans l'émergence des nouvelles sciences et technologies repose sur deux cadres analytiques : la théorie de l'acteur-réseau (ANT) et l'analyse fonctionnaliste. Afin de rendre compte des nouvelles dynamiques que nous observons avec l'émergence des micro et nanotechnologies au Mexique, nous nous appuyons sur la théorie de l'acteur-réseau. Nous partons de la notion du réseau technico-économique de Callon et al. (1991), qui comprend trois pôles (science, technique et marché) autour desquels des acteurs hétérogènes interagissent et s'organisent. En accord avec ce cadre analytique et en revenant sur le tétraèdre des relations dans la production de nouvelles connaissances, nous proposons de considérer que les réseaux⁴ hétérogènes, qui interagissent autour des trois pôles, peuvent être formés par des acteurs provenant des quatre sphères du tétraèdre. Ici, il est important de souligner que cette configuration n'est pas une *conditio sine qua non* pour réussir la production des nouvelles connaissances. Les dynamiques peuvent être différentes entre les pôles, dans le troisième chapitre nous confirmons cela dans la qualification des trois pôles pour le cas du développement des MEMS au Mexique. Pour une étude comme la nôtre, il est envisagé de prendre en compte tous les acteurs engagés (économiques, techniques, politiques et sociaux), ainsi que d'autres éléments tels que culturels, cognitifs, idéologiques, entre autres, qui peuvent nous aider à avancer dans la compréhension des changements technologiques. Dans cette perspective, l'analyse de réseaux sociotechniques (Callon, 1989) peut donc constituer une approche qui nous permette de prendre en compte les éléments sociaux et techniques présents dans les processus de production scientifique et du changement technologique. Cependant, Geels (2005) signale que cette approche a des limites à considérer dans l'analyse des changements technologiques, car les études effectuées sous cette approche « n'abordent pas la question du changement et de la transition d'un système à un autre ». Cet auteur propose en revanche la notion de « système socio-technologique » que lui-même définit comme un cluster d'éléments hétérogènes qui sont liés les uns avec les autres pour atteindre une fonctionnalité sociétale et il dit

⁴ Nous sommes avertis des différentes conceptions de la notion « réseau » qui sont mobilisées actuellement dans les études sociales de la science. Dans le chapitre III, nous explicitons notre position et la manière dont nous mobilisons cette notion dans la thèse.

aussi que ce système peut exister sur différents niveaux. L'apport de Geels est également un outil pour notre recherche, car il nous permet d'introduire dans notre analyse d'autres éléments exogènes qui échappent à l'analyse du réseau sociotechnique, par exemple, les politiques en R&D et les représentations sociales des nouvelles technologies.

De plus, après avoir constaté la présence de la FUMEC dans l'émergence des MEMS au Mexique, nous nous sommes donnés la tâche de qualifier les activités que cette fondation philanthropique a effectué et effectue actuellement dans le système scientifique et technologique dans ce pays. Nous trouvons que les concepts de l'analyse fonctionnaliste proposés par Merton (1949) nous sont utiles pour analyser la place des fondations dans le système scientifique et technologique mexicain. Jusqu'ici, en accord avec ce cadre analytique, nous avons utilisé le terme de « fonction » pour faire référence aux activités que les entités engagées développent dans les processus de la production, de l'usage et de la dissémination des nouvelles connaissances pour le développement des micro et nanotechnologies⁵. Nous avons déjà évoqué les fonctions que nous avons identifiées dans notre étude concernant la FUMEC et l'émergence de la technologie des microsystèmes au Mexique, ainsi que les fonctions signalées dans la littérature académique sur les études sur les fondations philanthropiques. Ici, nous ne mettons pas de côté les confusions sur les différentes conceptions de « fonction » pointées par Merton, auteur qui a proposé une série de concepts afin d'essayer de dépasser les problèmes conceptuels dans l'analyse fonctionnaliste. Dans notre travail, nous trouvons intéressant de mobiliser quatre concepts proposés par Merton. En accord avec lui, les deux premiers concepts sont pour répondre à « la tendance à limiter les observations sociologiques aux apportations *positives* d'une entité sociologique au système social ou culturel dont elle fait partie », ces deux concepts sont : 1. les *fonctions* qu'il définit comme « les conséquences observées qui favorisent l'adaptation ou l'ajustement d'un

⁵ Cette définition de « fonction » s'inspire de celle proposée par Radcliffe-Brown (1935) : la fonction de toute activité récurrente, telles que la punition d'un crime ou une cérémonie funèbre, est la partie qu'elle joue dans la vie social dans son ensemble et est en conséquence la contribution qu'elle apporte au maintien de la continuité structurelle.

système donné » et 2. les *dysfonctions* qu'il définit comme les « conséquences observées qui diminuent l'adaptation ou l'ajustement du système ». Dans les nouvelles dynamiques que nous observons dans le développement des MEMS au Mexique, où la FUMEC a une place importante, nous avons constaté que certaines fonctions de la FUMEC sont possibles grâce à l'existence de dysfonctionnements d'autres entités. Par exemple, les fonctions traditionnellement (et explicitement) reconnues de cette entité gouvernementale sont celles de définir la direction de la recherche et de gérer les ressources pour son développement, cependant ces fonctions ne sont pas accomplies par cette entité dans le cas du développement des MEMS (ce qui peut être qualifié comme un dysfonctionnement), nous avons en effet observé que la fonction principale du Conseil National de Science et Technologie du Mexique⁶ (CONACYT) dans l'émergence des MEMS a été celle de financer l'infrastructure et les activités de recherche. C'est dans ces circonstances que la FUMEC a accompli les fonctions de donner la direction et de gérer des ressources dans le système pour le développement des MEMS. Cela suggère qu'il y a eu une reformulation des fonctions des entités et un passage des fonctions entre les entités participantes dans le système. Les deux autres concepts ont été avancés par Merton afin de dépasser « la tendance à confondre la catégorie subjective de *motif* avec la catégorie objective de *fonction* » : 1. les *fonctions manifestes* qui « sont les conséquences objectives qui contribuent à l'ajustement ou adaptation du système et qui sont cherchées et reconnues par les participants dans le système » et 2. les *fonctions latentes* qui « sont, corrélativement, les non cherchées ni reconnues ». Nous trouvons intéressant de faire cette distinction dans notre étude pour mieux approfondir la description sur comment les fondations influent significativement sur l'émergence des nouvelles technologies. Par exemple, dans le dernier chapitre, nous

⁶ Le Conseil National de Science et Technologie du Mexique (CONACYT) est l'institution gouvernementale chargée d'appliquer la politique nationale en science et technologie. Cette institution gère donc le financement fédéral pour la recherche scientifique et technologique dans le pays. Il compte avec plusieurs programmes qui d'une part touchent les diverses régions du pays et les divers secteurs et qui d'autre part soutiennent des projets de recherche fondamentale et appliquée, ainsi que des étudiants et des chercheurs mexicains dans le pays et à l'étranger. Le CONACYT compte également 27 centres de recherche distribués sur tout le pays.

analysons la création de programmes de formation de ressources humaines dans le domaine des microsystèmes au Mexique et la place de la FUMEC dans la création de ces programmes. Dans cette partie de l'étude, la fondation a cherché la formation de ressources humaines spécialisées dans le domaine des MEMS (fonction manifeste), nous avons aussi observé une propagation des programmes de formation des spécialistes qui a eu lieu hors du cadre du programme de la FUMEC (fonction latente).

De la théorie à l'application : l'implication politique des modèles de la production de connaissances

Les modèles les plus connus sont le Mode 2 de production de la connaissance (Gibbons *et al.*, 1994), le concept du Système National d'Innovation (Lundvall, 1992; Edquist, 1997) et celui de la Triple Hélice (Etzkowitz et Leydesdorff, 2000; Etzkowitz, 2008). Ces modèles ont des implications politiques non négligeables, car ils sont traduits par les praticiens (politiques et d'autres parties prenantes) comme des modèles du développement technologique à reproduire, en tant que systèmes d'innovation, et ils ont évidemment de fortes implications économiques et sociales.

Nous avons déjà évoqué le fait que les études sur la production du savoir et les changements technologiques ont émergé au milieu de débats sur le développement économique. Dans les sciences sociales, plusieurs disciplines travaillent autour de ces sujets, dont les plus significatives sont l'économie de l'innovation et la sociologie de la science et de la technique. Les approches théoriques révisées dans ce texte s'intéressent particulièrement aux changements de l'évolution de la science et de la technologie et, en plus, dans plusieurs de ces travaux il a été reconnu l'importance de la technologie et de l'innovation dans le développement économique des pays (Lundvall, 1992; Edquist y Hommen, 1999 ; Pérez, 1999 et 2004 ; Sabato, 1997).

D'autre part, les chances qu'un développement technologique soit un succès ne dépendent pas seulement des caractéristiques techniques. Les études sociales nous ont aussi montré que le développement d'artefacts techniques dépend aussi du facteur humain, ce qui nous amène donc à considérer les changements

technologiques comme des constructions sociales. De plus, il est aussi connu que les artefacts issus des avancements technologiques ont des influences sur la société et que la propagation des nouvelles technologies dépend également d'ajustements organisationnels, idéologiques et sociaux (Pérez, 2004). Avec une approche schumpétérienne, Pérez a développé un cadre théorique sur les processus des révolutions technologiques. Cet auteur souligne non seulement la fonction du capital financier public et privé, mais elle signale également un intervalle d'ajustement des structures organisationnelles et sociales pour répondre aux changements survenus avec les nouvelles technologies. C'est dans cette période de « changement contextuel » que le gouvernement a une fonction importante, lors de la restructuration du cadre législatif et normatif, pour favoriser le déploiement des nouvelles technologies.

Les nouvelles pratiques dans la production scientifique et technologique sont étroitement liées aux nouvelles règles du jeu attribuées aux changements structurels dans la gouvernance de la politique scientifique et technologique et de ses relations avec la gouvernance économique et sociale. Tous ces changements, nous les avons vus venir avec l'avancée de la globalisation. Il est donc évident que le gouvernement a des fonctions déterminantes dans les processus des changements technologiques. Les fonctions de ce dernier dans la gouvernance des systèmes scientifiques et technologiques ont aussi changé dans les dernières décennies (OCDE, 2002). Cette restructuration des fonctions du gouvernement répond aux nouvelles dynamiques de l'économie (Slaughter, et Rhoades, 2004 ; Slaughter et Leslie, 1997). Cependant, dans tous les modèles théoriques que nous venons de réviser, il a été reconnu qu'actuellement le gouvernement couvre au moins deux fonctions : a) formuler les politiques en science et technologie et b) mobiliser des ressources (financer la recherche).

Dans une perspective de la Triple Hélice, Etzkowitz (2002) signale que ce modèle a des implications politiques dans le développement économique régional basé sur le savoir. Cet auteur argumente que la superposition des trois sphères (université-industrie-gouvernement) crée des espaces de savoir, de consensus et d'innovation, lesquels sont possibles par l'intervention des institutions de l'État qui implémentent des politiques orientées vers le développement de la recherche

fondamentale ou stratégique. D'autre part, ce même auteur remarque également la fonction du capital de risque public dans la création de ces espaces : « Dans les dernières décennies, les gouvernements au niveau national et local ont créé une variété de mécanismes pour encourager le développement de l'économie fondée sur la connaissance. Ces initiatives comprennent le soutien de financement de prêts, les subventions et les fonds de contrepartie pour soutenir la R&D et l'accès à la participation à des projets communs avec les laboratoires publics. (...) Ces programmes ont en commun l'engagement de fonds publics pour soutenir le développement des entreprises de base technologique dans des situations où le capital privé trouve que c'est trop risqué de s'aventurer » (Etzkowitz, 2002).

En effet, dans le cas des espaces du savoir au Mexique, Casas *et al.* (2000) argumentent que « l'identification et l'analyse des espace de connaissances avec une approches régionale peut aider la formulation de politiques pour soutenir des activités technologiques et d'innovation au Mexique ». En plus, il est pertinent de souligner que lors de notre enquête nous avons constaté que le terme de la Triple Hélice est de plus en plus utilisé dans des forums dédiés aux relations entre l'industrie et l'université au Mexique.

L'approche de Systèmes d'Innovation constitue un autre exemple de l'implication politique des modèles de production de connaissances, et il est peut être le plus remarquable parce qu'il a été largement promu par des entités internationales pour le développement telles que l'OCDE (OCDE, 1997). Dans une étude sur l'émergence de la notion de Systèmes d'Innovation, Sharif (2006) montre, avec une approche constructiviste, une ambiguïté autour de l'origine politique ou académique de ce terme. L'enquête menée par Sharif suggère que le concept a émergé dans les mondes académique et politique au même moment. Cet auteur argumente que « les principaux acteurs à promouvoir le concept ont eu deux fonctions (dans les activités académiques et politiques). Nous pouvons supposer que dans leur travail ces acteurs ont déployé deux ensembles de discours en fonction des chapeaux qu'ils portaient ou des positions qu'ils occupaient à un moment donné. De cette façon, ces acteurs qualifiés ont pu profiter de l'imprécision et de l'ambiguïté associées à la notion de SNI afin d'améliorer l'attraction de l'audience à partir du but qu'ils voulaient atteindre. Étant donné que le concept SNI peut être interprété de manière souple et

par conséquent se tenir confortablement dans deux sphères distinctes, les acteurs étaient (et sont) en mesure de négocier de façon transparente entre la théorie et l'application » (Sharif, 2006).

L'évolution de ces deux concepts montre les relations des modèles théoriques avec la gouvernance de la politique scientifique et technologique. L'implication politique intéresse en effet les politiciens et d'autres parties prenantes (promoteurs et investisseurs, par exemple), qui utilisent et adaptent les notions dans des contextes divergents. Cependant, l'utilisation des notions est ambiguë. Il paraît que la frontière entre l'académique et le politique (l'application) n'est pas claire et cela est peut-être dû au fait que certaines de ces approches théoriques sont traduites et promues comme des modèles à reproduire lors de la formulation des politiques en science et technologie, et ce sans nécessairement comprendre les cadres théoriques.

Face à l'émergence des nouvelles sciences et technologies, pour les pays non hégémoniques, une des questions qui émerge lors des forums académiques et de divulgation scientifiques est sur le modèle à suivre pour participer au développement de ces nouvelles technologies et ne pas rester comme spectateurs, car ces avancements scientifiques et technologiques annoncent les nouveaux paradigmes techno-économiques (Pérez 2004 et 2009). En suivant Pérez, l'arrivée de nouveaux paradigmes ouvrent des fenêtres d'opportunités nécessaires pour que les nouveaux arrivés (pays non hégémoniques) puissent avancer (*forging ahead*) et rattraper les autres (*catching up*) dans la cours du développement. Dans le cas de l'émergence des micro et nanotechnologies, leurs potentiels économiques (Lux Research, 2006 ; Gaffet, 2008) et leur caractère disruptif (Foladori et Invernizzi, 2006) annoncés font qu'elles sont perçues comme le prochain paradigme techno-économique. Ici, les résultats de notre recherche peuvent apporter des éléments pour tirer des leçons sur les nouvelles dynamiques de l'émergence des MNT pour la formulation des stratégies pour le développement des nouvelles technologies dans le contexte mexicain.

Terrain d'étude, matériaux et méthodologie

Le caractère 'émergent' des micro et nanotechnologies rend celles-ci un objet d'étude qui attire la sociologie des sciences. En accord avec Latour (1989), il s'agit

d'étudier « la science en action et non la science faite ». C'est dans ce sens que l'émergence des micro et nanotechnologies nous la traduisons comme un objet de recherche intéressant à suivre. Pendant la période de notre recherche, en s'appuyant sur la théorie de l'acteur réseau, nous avons suivi des acteurs humains et non humains qui se trouvent au centre du développement de ces sciences et technologies émergentes. Pour suivre cette dynamique en pleine expansion, nous nous sommes penchés sur une démarche heuristique et évolutive afin de partir d'observations et au cours de notre recherche, nous avons choisi d'adapter et d'approprier des outils en fonction des données rencontrées, des questions formulées et de l'évolution de notre objet de recherche. D'autre part, dans les études de la science et la technologie (STS), il est largement reconnu que les changements technologiques ne dépendent pas seulement de la technique même ; le développement des nouvelles technologies est aussi possible grâce à l'agence humaine, aux structures sociales et aux organisations où elles se développent. A partir de cette approche, nous considérons le développement des MNT comme un processus social parce qu'on trouve l'enjeu des intérêts des acteurs hétérogènes. Aborder le développement des MNT en pleine expansion est aussi complexe par le haut grade d'hétérogénéité de ces acteurs. Ici, il est important de souligner que nous ne sommes pas en train d'exclure le caractère technique des artefacts et objets qui matérialisent les changements technologiques, car cela serait très réductif et surtout pour un cas comme celui du développement des MNT. Dans le développement des MNT, il est en effet bien connu que l'accès à l'infrastructure technologique a une place importante, voire déterminante. Néanmoins, nous signalons que les potentialités des ces nouvelles technologies ne sont pas seulement d'ordre technique, cela parce que dans les discours de ceux qui promeuvent ou qui mettent en question les MNT, il y a aussi des éléments économiques et sociaux⁷.

⁷ Invernizzi *et al.* (2008) ont remarqué l'existence de deux groupes d'acteurs avec des arguments déferents dans le débat du développement des NST. Le premier groupe, avec 'une position instrumentale', fait emphase sur les capacités techniques des NST pour résoudre les problèmes de la pauvreté et du sous-développement. Ce groupe voit la technologie comme des artefacts neutres qui peuvent être facilement transférés d'un contexte à un autre. L'approche du déterminisme technologique fait partie des arguments de ce groupe. Le deuxième groupe identifié a

Face à un objet d'étude comme celui-ci qui est encore instable, où les acteurs ne sont pas toujours complètement identifiés, les tendances sont difficiles à tracer et il est peut-être encore tôt pour évaluer sa progression, une des premières tâches de notre recherche a été d'effectuer une première exploration de l'état du développement des MNT au Mexique. Lors de cette première exploration, nous avons trouvé l'existence de plusieurs instituts, centres et laboratoires de recherche qui développent des activités de recherche dans les MNT. Des réseaux de collaboration scientifique, des projets d'installation d'infrastructures scientifiques et technologiques, entre autres initiatives ont été également identifiés. A partir de l'information recueillie dans cette exploration, la visibilité des acteurs a été le critère central d'une première sélection d'entités de recherche à visiter, où nous avons effectué une première série d'entretiens auprès des acteurs impliqués dans le développement des MNT (chercheurs, étudiants, techniciens, personnels administratifs, responsables de laboratoires et fonctionnaires publics). L'entretien semi-structuré a été notre choix pour mener notre enquête et un guide d'entretien a été appliqué à tous les acteurs lors dès premières rencontres. Ce guide s'est basé sur quatre axes : a) le fonctionnement et la structuration des plateformes technologiques, b) la collaboration scientifique interinstitutionnelle, c) les règles d'accès et d'usage de ces plateformes et d) les dynamiques des thématiques et des activités de recherche. Tous les entretiens ont été enregistrés et certains transcrits pour leur traitement.

Les quatre axes de notre premier guide d'entretien ont été définis en accord, d'une part, aux questions de l'agenda de recherche du groupe de recherche au sein duquel cette thèse s'est déroulée et, d'autre part, aux premiers questionnements et les premières hypothèses issus de notre première exploration du terrain. Ces hypothèses portaient sur la question de la dynamique de la production des MNT au Mexique. Pour étudier cette dynamique, nous avons choisi des cas particuliers à

une 'position contextuelle', qui fait emphase sur le contexte social où la technologie est produite, usée et adaptée. Ici, il ne s'agit pas simplement de l'utilité d'artefacts neutres, mais il s'agit d'un ensemble de relations sociales, des intérêts, des pouvoirs politiques, des valeurs, etc., qui sont tous des artefacts construits socialement.

suivre⁸, et ce choix s'est basé sur des critères concernant les relations entre les secteurs de la société impliqués dans ce processus. Ensuite, pour approfondir et tester nos hypothèses nous sommes donc retournés sur notre terrain avec des nouveaux guides d'entretien, mais cette fois-ci ces guides ont été spécifiques à chaque étude de cas en fonction des nouvelles hypothèses et questions. L'objet de ces études de cas a été de comprendre les stratégies des collaborations scientifiques, les relations entre l'industrie, l'académie et le gouvernement, les enjeux du financement en R&D et les initiatives institutionnelles et gouvernementales au niveau national, régional et local.

D'ailleurs, nos visites aux laboratoires ont duré entre un jour et une semaine pour certains cas. Lors de ce temps, nous avons profité de notre présence dans les laboratoires pour effectuer des observations non participantes dans les couloirs, les coins café, les salles de chercheurs et même nous avons eu l'opportunité d'assister aux séminaires hebdomadaires des écoles doctorales. Dans ces moments d'observation, nous avons écouté des conversations autour des instruments scientifiques, des méthodes employées, des appels à projets, du choix de matériaux à utiliser, des publications et des communications, de la politique scientifique et technologique, etc. Cela représente un matériel que nous pouvons qualifier d'ethnographique. Cependant, nous n'avons pas pu enregistrer toutes ces conversations, mais nous nous sommes limités à la prise des notes.

Parallèlement à la réalisation de notre terrain d'étude, nous avons développé une expertise de certains outils de la scientométrie, de l'analyse lexicale et des contenus de textes et des outils informatiques pour l'analyse de réseaux sociaux. Lors de notre tâche sur la caractérisation de l'émergence des MNT au Mexique, nous nous sommes très rapidement intéressés aux études scientométriques, car celles-ci comprennent deux modèles (Callon *et al.*, 1993). Le premier en s'appuyant sur le comptage d'articles et de brevets, nous apporte des indicateurs sur l'évolution de la dynamique des sciences et technologies et sur la productivité des acteurs engagés.

⁸ Notre choix de cas est hétérogène car nous avons suivi des projets d'installation d'infrastructures scientifiques et technologiques, des réseaux de collaboration scientifique, des projets de transférence de technologie et des acteurs scientifiques en mobilité internationale.

Ces indicateurs nous permettent également identifier les laboratoires, les institutions et les collaborations les plus significatifs.

L'autre modèle compte avec des outils qui cherchent les liens et les interactions entre les chercheurs afin de décrire les contenus des activités et leur évolution. Cette deuxième série d'outils nous permet donc d'identifier les thématiques de recherche et de suivre leurs dynamiques, pour cela nous avons exploré les outils d'analyse lexicale de texte et d'analyse de réseaux sociaux. Il est pertinent de mentionner que les résultats de ces analyses ont servi dans des documents intermédiaires (identification de thématiques développées, caractérisations de réseaux de collaboration, paysages technologiques, etc.) qui ont été utilisés pendant quelques rencontres avec les acteurs interviewés. Ces documents ont été soumis aux interviewés à la fin des entretiens et ils nous ont permis de faire parler les acteurs sur des thèmes ou des sujets qui n'étaient pas évoqués antérieurement lors des entretiens. Par exemple, à la fin d'un entretien sur la création d'un réseau de collaboration dans une université mexicaine, nous avons sorti un de ces documents qui montrait les résultats d'une analyse de contenu basée sur une classification de résumés d'environ 400 articles publiés par des chercheurs de cette université. Le chercheur interviewé a commenté que les quatre grands axes de recherche en NST développés dans cette université, qu'il venait de décrire au cours de l'entretien, se reflétaient dans notre classification. Face au document, une deuxième partie de l'entretien commençait, car le chercheur continuait en approfondissant chacun des quatre axes, en évoquant d'autres acteurs, lignes de recherche et informations. Un autre exemple, dans la même université mais avec un autre chercheur : nous avons élaboré une analyse de réseaux sociaux à partir de co-signatures des articles et nous avons montré à ce chercheur le document qui contenait une représentation du réseau de collaboration internationale du laboratoire. Dès que le chercheur a vu le document, en signalant les nœuds et les clusters du réseau avec le doigt, il évoquait d'autres collaborations maintenues par lui et ses collègues de laboratoire. Face au document, il se voyait lui et ses collègues et il nous a fourni d'autres informations. En fin, ces deux exemples illustrent que l'utilisation de ces documents nous a apporté des informations précieuses qui nous ont permis d'avoir une autre vision de notre objet de recherche (le laboratoire, ses thématiques de recherche, ses collaborations, etc.).

Dans notre analyse quantitative des publications scientifiques, la qualité et la validité de nos bases de données vont déterminer nos résultats. Pour répondre à cette question sur la validité des données nous avons effectué une étude comparative sur les différentes stratégies méthodologiques et nous avons montré certaines limites de ces stratégies (Robles-Belmont et Vinck, 2011). Pour la caractérisation de l'évolution des NST au Mexique, nous avons combiné les résultats des différentes stratégies pour constituer une base de données plus représentative. Néanmoins, il est important de souligner que ces types de données quantitatives ont des limites reconnues dans les sciences sociales car elles nous montrent, comme nous avons déjà dit, les dynamiques de l'évolution des sciences et technologies, mais elles ne nous permettent pas de comprendre les dynamiques en soi. A l'opposé, les données qualitatives issues des études empiriques peuvent nous apporter des éléments pour mieux comprendre ces dynamiques. Au cours de notre recherche, nous avons effectué des allers et retours entre ces deux types de données, ce qui représente une richesse de données recueillies, qui nous a permis d'arriver à la réflexion de l'importance des fonctions des Fondations dans la production scientifique et technologique dans le domaine des micro et nanotechnologies au Mexique.

Concernant l'étude de la FUMEC, nous nous sommes confrontés à une sorte de boîte noire, car le statut de cette fondation, l'information très peu disponible sur celle-ci et la confidentialité des projets qu'elle soutient ont été des obstacles pour obtenir au départ des informations stables et fiables sur cette fondation. Cette contrainte a été dépassée grâce au croisement des récits des différents acteurs des secteurs académique, gouvernemental et industriel qui ont aussi été impliqués dans les initiatives de la FUMEC pour le développement des MEMS au Mexique. Les informations obtenues dans ces diverses sources nous ont permis de constituer le Programme de Microsystèmes de la FUMEC, ainsi que de confirmer les données et les informations pour répondre à nos questions.

Finalement, il est pertinent de souligner qu'un point qui a facilité notre recherche a été la collaboration informelle avec l'Institut de Recherches Sociales de l'Université Autonome Nationale du Mexique. Ce qui nous a permis, lors de nos séjours de recherche au Mexique, d'avoir une présence dans la vie de la recherche en micro et

nanotechnologies, ainsi que de la recherche en sciences sociales. En outre, certains résultats issus de ce terrain de recherche ont été discutés lors de colloques, de conférences internationales et trois articles ont déjà été publiés.

Déroulement de la thèse

Cette thèse est composée de quatre chapitres, au cours desquels nous analysons les fonctions de la FUMEC dans l'installation, le développement et la commercialisation des MEMS au Mexique. Le premier chapitre se centrera sur l'émergence des MEMS au niveau global et ensuite sur le cas particulier du Mexique. Il s'agit d'un panorama construit à partir du comptage d'articles publiés dans ce domaine. Nous allons aussi caractériser dans cette première partie l'émergence de cette nouvelle technologie au Mexique et nous allons analyser le programme qui a été mis en place par la FUMEC pour son développement. Nous allons ensuite qualifier le profit de la FUMEC depuis sa création jusqu'à nos jours et une caractérisation de ce type d'organismes sera également exposée.

Dans le deuxième chapitre, nous allons étudier les initiatives pour l'installation des infrastructures scientifique et technologiques pour le développement des MEMS au Mexique. D'une part, nous analyserons les initiatives lancées par la FUMEC dans le cadre de son Programme des Microsystèmes. D'autre part, nous allons examiner d'autres initiatives qui ne s'inscrivent pas dans ce programme, mais qui ont également été soutenues par la FUMEC. Dans ce chapitre nous soulignons comment les dynamiques locales et régionales ont été déterminantes dans les stratégies de la FUMEC pour l'installation des infrastructures nécessaires pour le développement des MEMS au Mexique et cela dans un contexte d'absence d'une politique nationale.

Le troisième chapitre sera dédié à l'analyse des réseaux de collaboration scientifique et technologique dans le domaine des MEMS au Mexique. A partir des approches de l'analyse des réseaux sociaux et de la théorie de l'acteur-réseau, nous analyserons la création des réseaux scientifiques et technologiques pour le développement des MEMS et la place de la FUMEC dans l'organisation de la recherche dans ce domaine. Dans cette partie de notre étude, nous allons noter différents facteurs qui sont pris en compte par les scientifiques et d'autres parties

prenantes lors de l'établissement de relations de collaboration, dont le manque d'infrastructures scientifiques et la rationalisation des ressources sont des éléments importants dans l'organisation des activités de recherche. Dans la dernière partie de ce chapitre, nous allons qualifier les relations entre les différents secteurs impliqués dans le développement des MEMS en nous appuyant sur la notion du réseau technico-économique et des outils de l'analyse des réseaux sociaux afin de mesurer le degré de centralité de la FUMEC dans ces réseaux hétérogènes.

Dans le dernier chapitre, le quatrième, nous analyserons la formation, l'accumulation et la mobilisation des ressources humaines spécialisées dans le domaine des MEMS dans les initiatives de la FUMEC. Ici, nous allons étudier la stratégie de la FUMEC pour couvrir le besoin des ressources humaines qui a été défini comme un obstacle à franchir depuis le début du Programme de Microsystèmes de la fondation. Nous allons aussi voir que la dissémination de cette nouvelle technologie passe par la propagation des programmes de formation des spécialistes dans ce domaine, où la FUMEC a été engagée dans sa promotion et/ou sa création de manière directe ou indirecte.

Finalement, nous allons présenter les conclusions générales de notre recherche.

Chapitre I. La FUMEC au cœur de l'émergence de la Technologie de Microsystèmes au Mexique

Dans ce premier chapitre, nous allons expliciter comment la technologie de microsystèmes électromécaniques (MEMS) a émergé au Mexique et quelle a été la place de la FUMEC dans ce processus.

Avant d'aborder le cas de la technologie des MEMS au Mexique, nous commencerons par exposer ce que sont les MEMS et nous présenterons brièvement la caractérisation de leur évolution au niveau mondial, en termes de publications scientifiques, et ensuite nous nous centrerons sur le Mexique. Ici, nous allons caractériser l'évolution des publications scientifiques dans ce domaine et les types de publications qui ont aussi été créés pour la diffusion des résultats, ainsi que les éléments économiques et techniques évoqués dans cette littérature pour rendre attractive cette nouvelle technologie. En utilisant certains outils de la scientométrie, nous allons également caractériser les domaines scientifiques et techniques qui convergent vers l'émergence de la technologie des MEMS.

Sur le cas mexicain, nous nous intéressons à l'identification des principaux acteurs engagés dans la production des connaissances dans ce domaine. Pour cela, nous allons utiliser des outils de la scientométrie afin d'identifier ces acteurs via les

publications scientifiques et technologiques, en soulignant des limites rencontrées pour l'identification de la présence des organismes philanthropiques dans les activités de recherche. Nous proposons l'intégration des nouveaux indicateurs de l'indexation des publications scientifiques pour rendre compte de la présence de ce type d'organismes.

Ensuite, nous nous centrerons sur l'émergence des activités de recherche autour des MEMS au Mexique et sur les fonctions accomplies par la FUMEC.

Une troisième partie de ce chapitre présentera la caractérisation de la FUMEC, ses origines, son profit, son organisation, son financement et ses stratégies. Pour finir, nous donnerons également une caractérisation des fondations philanthropiques et nous parlerons de leurs fonctions dans le développement scientifique et technologique dans les pays moins développés.

I.1. L'émergence de la technologie des Systèmes Micro Electromécaniques

I.1.1. Définition et émergence des MEMS

« MEMS » est l'acronyme de « systèmes micro électromécaniques », ce terme est utilisé pour désigner des dispositifs d'une largeur inférieure à 1 mm et supérieure à 1 μ m, qui sont constitués de composants électriques et mécaniques et qui sont fabriqués avec des technologies de procédés de circuits électroniques (Gad-el-Hak, 2001). Dans la littérature spécialisée autour de la définition des MEMS, il existe une ambiguïté sur l'échelle. D'autres définitions situent en effet les MEMS dans une échelle entre les 100nm jusque le range des centimètres (Lyshevski, 2000). Cette définition indique que les dispositifs qui se trouvent en dessous des 100nm ne sont pas des MEMS, car on utilise plutôt l'échelle « nano ». Pour les dispositifs situés entre l'échelle de 0,1 à 100nm, le terme de « systèmes nano-électromécaniques » (NEMS) est mobilisé, terme qui d'ailleurs commence à s'étendre. Cependant, malgré la montée de la popularité de ce dernier terme, quelques scientifiques et technologues sont sceptiques car ils considèrent qu'avec les capacités

technologiques disponibles aujourd'hui, il n'est pas encore possible de fabriquer des NEMS.

Les origines de cette technologie remontent aux années 60, Natahnson *et al.* (1967) ont reporté la construction du premier MEMS dans cette décennie; il s'agit d'un résonateur en or avec une porte MOS (Flores-Herrera, 2007). Cependant, c'est dans les années 70 que le développement de la technologie des MEMS est devenu plus important. En ce qui concerne sa commercialisation, la présence des MEMS sur le marché est arrivée dans les années 80, dans l'industrie de l'automobile où les premiers MEMS ont été commercialisés. Les premiers produits étaient des micro-accéléromètres qui sont des dispositifs électromécaniques utilisés pour activer les « airbags » des voitures lors des collisions.

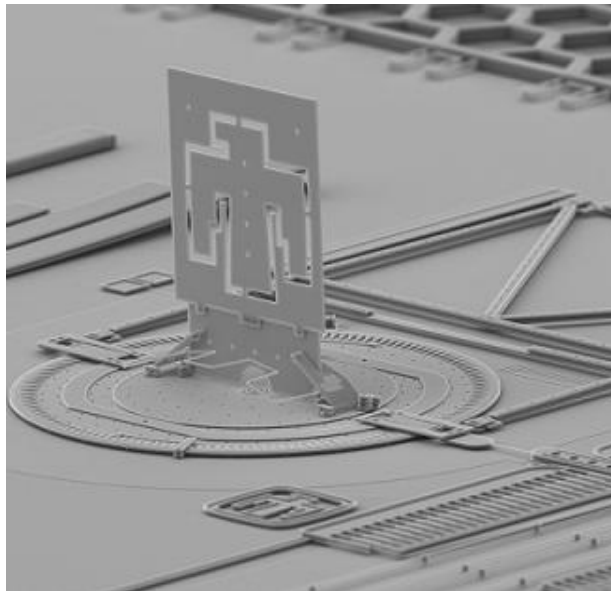


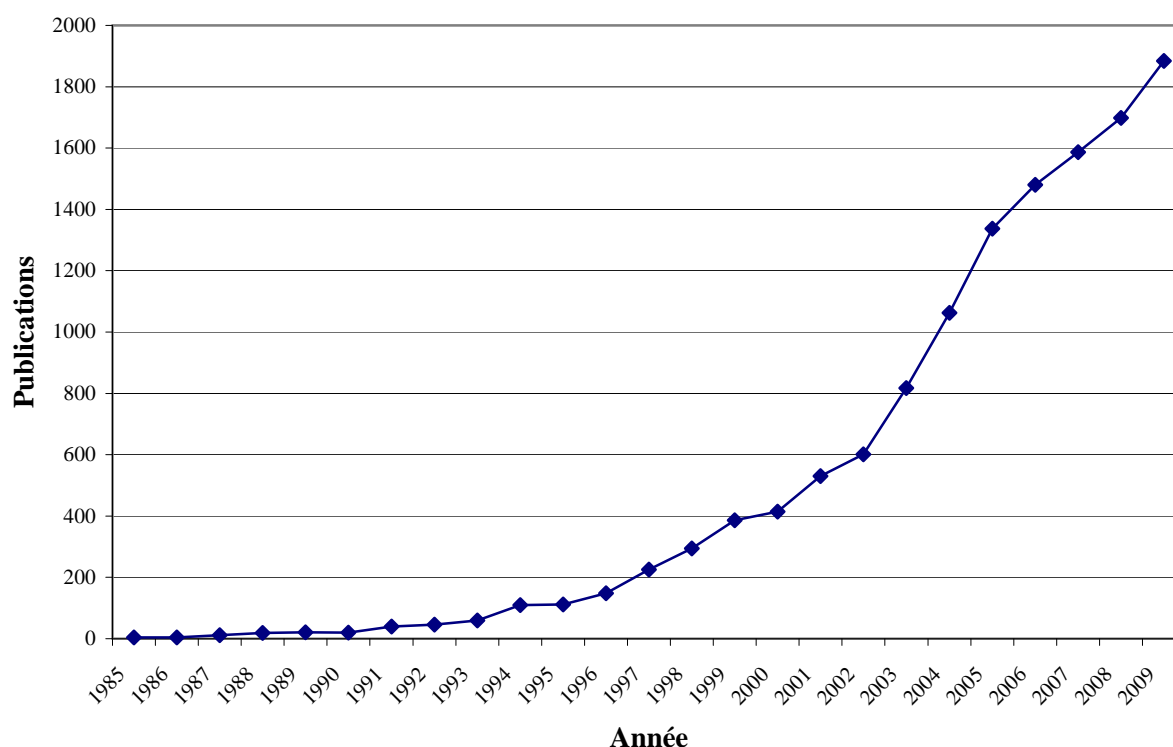
Image 1.1. Micro-accéléromètre fabriqué dans le Laboratoires Sandia, aux Etats-Unis
Source : <http://www.scienceprog.com/what-are-mems/>

L'analyse de la production scientifique dans le domaine des MEMS⁹ à l'échelle globale, si l'on se réfère en termes d'articles publiés, montre que le premier article est paru en 1968 ; cependant la publication d'articles dans ce domaine a été

⁹ Pour caractériser l'évolution de la production scientifique et technologique des MEMS nous avons fait appel au comptage d'articles et de brevets en utilisant une stratégie propre qui est détaillée dans les Annexes.

sporadique jusqu'au milieu de la décennie de 1980. Sur le graphique 1.1 figure l'évolution de la production mondiale d'articles en MEMS. La courbe de ce graphique montre qu'au cours de la première décennie (1985-1995) la publication d'articles a eu une accélération peu significative. C'est à partir de 1995 que la production d'articles a commencé à se noter. En l'an 2000, la production d'articles en MEMS a augmenté de façon exponentielle jusqu'à nos jours.

Production mondiale d'articles en MEMS



Graphique 1.1. Evolution mondiale de la production d'articles dans le domaine de MEMS.

L'émergence des MEMS s'est déroulée principalement en Occident et en Asie, dans les pays où la microélectronique a d'ailleurs connu un essor important. Le pays qui se trouve à la tête des publications est les Etats-Unis. La Chine occupe la deuxième place et le Japon la troisième. Ensuite, dans la liste (cf. annexes) figurent les pays de l'Union Européenne (Allemagne, France, Angleterre, Italie, etc.) et trois

des pays connus comme les Quatre Dragons (Corée du Sud, Taiwan et Singapour). Le Mexique occupe la trente septième place dans la liste, avec 25 articles publiés.

Nous avons identifié un total de 12,919 articles publiés jusqu'à 2009 autour du sujet des MEMS. La liste des revues scientifiques où sont publiés ces articles est très ample. D'une part, il y a des revues spécialisées dans le domaine des MEMS et, d'autre part, de nombreuses revues spécialisées dans d'autres domaines de la science, comme par exemple la chimie analytique. La prolifération de revues scientifiques dans le domaine des MEMS peut également être interprétée comme un indicateur de la progression des activités scientifiques et technologiques dans le développement de cette technologie. Dans le monde académique, plusieurs revues scientifiques ont en effet vu le jour, nous avons identifié 14 revues spécialisées dans le développement des MEMS. La revue où nous trouvons le plus de publications (6,57% du total) est le *Journal of Micromechanics and Microengineering*, journal créé en 1991 et qui couvre tous les aspects concernant les systèmes, dispositifs et structures microélectromécaniques, ainsi que la micromécanique, la microingénierie et la microfabrication. La deuxième revue, qui publie le plus, est le *Journal of Microelectromechanical Systems*; cette revue est publiée, depuis 1992, par le partenariat entre le *Institut of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) et la Société Américaine des Ingénieurs en Mécanique (ASME, pas ses sigles en anglais). D'autres revues spécialisées sont : *Lab on a Chip*, *Microsystems Technologies – Micro and Nanosystems- Information Storage and Processing Systems*, *Journal of Microlithography, Microfabrication and Microsystems*, *Microsystem Technologies*, *Biomedical Microdevices*, entre autres.

Hors le monde académique, le nombre de revues électroniques sur les MEMS a également proliféré. Il s'agit de revues sur les actualités du développement des micro et nanotechnologies, dont la technologie des MEMS. Certaines de ces revues sont un outil de communication des entreprises dédiées à la veille technologique, qui proposent aussi des rapports et des études sur le développement de ces nouvelles technologies. Ce type de revues est diffusé par Internet et leur contenu comprend des aspects sur les investissements, les corporations, le marché, les avancements techniques, ainsi que sur l'équipement pour la fabrication de MEMS. Un des objectifs

communs de toutes ces revues est la dissémination des potentialités techniques et économiques de la technologie des MEMS.

1.1.2 L'attraction des potentialités des MEMS

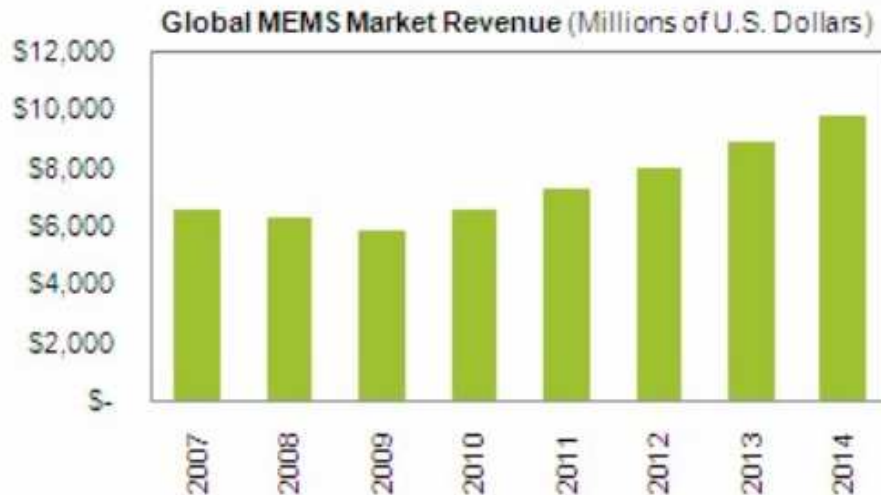
Les applications de la technologie des MEMS ont connu divers champs, actuellement cette technologie est présente dans beaucoup de produits sur le marché et elle est également utilisée dans des procédés industriels. Dans l'électronique, domaine clés pour le développement des MEMS, il est par exemple commun aujourd'hui de trouver des dispositifs MEMS dans les caméras vidéo ou les téléphones portables. Il s'agit de micro-accéléromètres¹⁰ pour stabiliser les images dans le cas des caméras vidéo et pour contrôler certaines fonctionnalités pour les portables, comme faire tourner l'affichage de l'écran ou pour les jeux vidéo.

Dans le monde de la médecine et de la santé, les MEMS sont aussi présents, il suffit de citer l'exemple des « laboratoires sur une puce », connus également comme « lab-on-a-chip » (LOC). Un LOC est la miniaturisation d'un laboratoire d'analyse clinique sur une puce électronique. L'objectif de ces dispositifs est d'effectuer des bio-analyses et des analyses cliniques hors des laboratoires cliniques. Ce qui signifie que le patient n'a pas besoin de se déplacer jusqu'aux installations d'un hôpital et d'attendre quelques heures (par fois quelques jours) pour avoir les résultats d'une analyse clinique, car les résultats sont donnés à l'instant même dans le cas des LOC. Le développement de ce type de MEMS a connu ces dernières années une croissance importante, parce qu'il s'agit du secteur de la santé où les gouvernements sont les premiers investisseurs, et car l'industrie pharmaceutique a aussi des intérêts pour rentrer dans le scénario du développement des laboratoires sur une puce et d'autres MEMS. Dans ce contexte, des équipes de recherche travaillent, par exemple, autour de la conception d'autres dispositifs LOC pour effectuer des analyses cliniques et doser un médicament. En plus, une autre preuve de l'essor de ce domaine est la création de la revue scientifique *Lab on a Chip* lancée en 2001 par la *Royal Society of Chemistry*, en Angleterre.

¹⁰ Un micro-accéléromètre est un système qui permet de mesurer l'accélération subie par un mouvement sur les axes X, Y et Z.

Ces exemples illustrent bien les potentialités techniques des MEMS. Il existe évidemment beaucoup d'autres domaines où les MEMS sont appliqués, comme les télécommunications, l'industrie de l'automobile et de l'agriculture, entre autres. Les applications des MEMS ne concernent pas uniquement l'usage civil de ces dispositifs, il y a également des applications militaires. De fait, un des laboratoires spécialisés dans le développement des MEMS aux Etats-Unis est les Laboratoires Nationaux Sandia (Sandia Labs), laboratoires qui sont connus pour leurs recherches autour du développement de l'armement. Déjà au début de ce siècle, dans le Centre de Microsystèmes de Sandia Labs, un total de 500 chercheurs et ingénieurs travaillaient sur le développement des MEMS dans des applications militaires (Freiburghouse, 2001).

Le développement des MEMS se traduit alors par une niche économique en pleine expansion, il s'agit d'un marché globalisé dans lequel les pays hégémoniques sont à la tête. Le large spectre d'applications de ces nouvelles technologies représente en effet un marché qui touche plusieurs secteurs industriels, dont celui de l'électronique qui est le plus représentatif. Bien qu'il s'agisse d'un marché prometteur, celui-ci n'a pas pu échapper à la dernière crise économique mondiale. Ces dernières années, ce marché a en effet connu un décroissement, cependant, la chute du commerce des MEMS a été inférieure à ce qui était prévu (Bouchaud, 2010). Le graphique 1.2 montre la décroissance du marché global des MEMS, mais il montre aussi que, selon les estimations, une récupération du marché des MEMS est prévue à partir de 2010.



Graphique 1.2. Marché global des MEMS.

Source : www.isuppli.com

D'autre part, concernant l'industrie de l'armement, il est difficile d'obtenir des chiffres précis ou des estimations sur le marché de ces produits. Néanmoins, il est possible d'obtenir quelques données qui peuvent nous donner une idée de la place de l'industrie militaire dans le développement des MEMS. Par exemple, dans la revue *Forbes*, il a été publié qu'au début de ce siècle les Etats-Unis investissait déjà 200 millions de dollars par an pour le développement des MEMS dans l'industrie de l'armement (Freiburghouse, 2001).

1.1.3 Convergence de plusieurs technologies

Depuis la conception et la fabrication du premier MEMS, cette technologie a débouché dans des applications concrètes, qui répondent à des problèmes techniques précis de l'ingénierie. Lors de la conception des MEMS, plusieurs disciplines interviennent pour résoudre des problèmes technologiques, il s'agit donc d'une technologie multidisciplinaire. Déjà dans le terme même de MEMS, deux domaines qui convergent sont évoqués : ceux de l'électricité et de la mécanique. Comme dans les cas de l'émergence d'autres technologies, l'émergence des MEMS peut aussi être interprétée comme le résultat d'une constellation d'innovations issues d'autres technologies (Perez, 2004), telles que la microfluidique, la microélectronique, la micromécanique, entre autres.

L'avancement du domaine de la microélectronique, dans les années 70, a ouvert des possibilités significatives pour le développement des MEMS. Par exemple, avec la microélectronique, le besoin de concevoir des éléments miniaturisés a également émergé (Flores-Herrera, 2007). Les apports de la microélectronique pour le développement des MEMS ont été tellement importants qu'aujourd'hui ces dispositifs sont principalement fabriqués à base de silicium. Mais récemment des recherches ont été orientées sur l'utilisation d'autres matériaux pour la fabrication des MEMS, par exemple les polymères qui sont moins chers que le silicium et qui sont biocompatibles. D'autre part, la progression de la nanotechnologie a également impulsé le développement des MEMS et cela parce que les avancements scientifiques et technologiques dans les études des phénomènes électriques, magnétiques, physiques, chimiques, etc., dans de nouveaux matériaux et dans la manipulation de la matière à l'échelle micro et nanométrique ont permis la miniaturisation des dispositifs de mesure et de contrôle, entre autres applications.

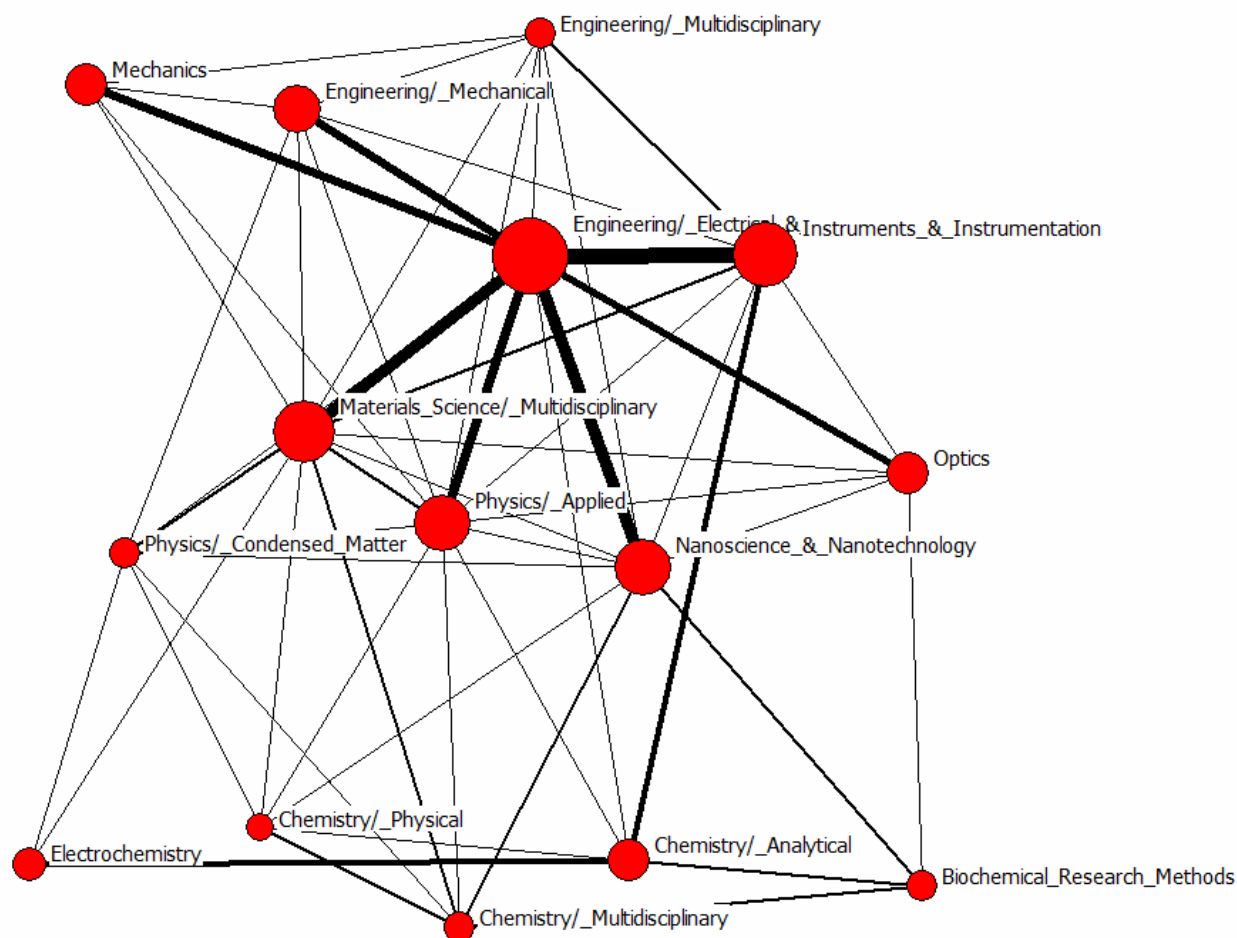
L'analyse des catégories des sujets des revues scientifiques de la *Science Citation Index* constitue un outil pour caractériser l'interdisciplinarité des sciences et technologies (Porter et Youtie, 2009 ; Morillo *et al.*, 2003). A partir des données obtenues lors de la caractérisation de l'évolution de la recherche en MEMS (cf. annexes), une analyse des catégories des sujets des revues scientifiques a été effectuée. Le graphique 1.3 montre les premiers 15 domaines qui convergent, ainsi que leurs relations¹¹. Dans ce graphique, nous pouvons voir que l'ingénierie électrique et électronique est le domaine le plus représentatif (39,36% du total) voisinant avec celui des Instruments et de l'instrumentation, qui est le deuxième domaine le plus représentatif (21,13% du total). Cela nous confirme l'importance de la microélectronique dans le développement des MEMS. Une partie très importante

¹¹ Ce graphique a été effectué à l'aide du logiciel d'analyse de réseaux sociaux NetDraw, les données utilisées ont été obtenues de la SCI (cf. annexes). Seulement ont été pris en compte les quinze premiers domaines afin d'obtenir un graphique lisible. La taille des nœuds est déterminée en fonction du nombre de revues classées dans chaque discipline (un article, qui correspond à une revue, peut être classé dans plusieurs domaines). L'épaisseur des lignes représente la fréquence des interactions entre les domaines.

de ces dispositifs est conçue pour mesurer des paramètres physiques et chimiques pour ensuite être intégrée sur des instruments et instrumentations dans plusieurs domaines : médecine, recherche, télécommunications, procédés industriels, etc.

Ce graphique qui constitue une image de la multidisciplinarité de la recherche autour des MEMS peut être divisé en trois parties. D'abord, dans la zone centrale du graphique, cinq domaines du champ de la physique, ou très liés à ce champ, constituent une des trois parties. Il s'agit de la physique de la matière condensée, de la physique appliquée, de la science des matériaux, de l'optique, des nanosciences et de la nanotechnologie. De ces domaines, quatre maintiennent des relations importantes avec l'ingénierie électrique et électronique, mais les cinq domaines maintiennent peu de relations entre eux. Dans la partie haute du graphique, les domaines de la mécanique, les ingénieries mécanique, multidisciplinaire, électrique et électronique, ainsi que celle des instruments et instrumentations constituent un ensemble des champs de la recherche appliquée. Nous pouvons voir dans le graphique 1.3 que les relations entre ces domaines ne sont pas négligeables, sauf l'ingénierie multidisciplinaire.

La troisième partie se situe en bas du graphique, dans laquelle se trouvent plusieurs domaines qui sont représentatifs de la chimie, où la chimie analytique est la plus représentative. La présence de ces domaines suggère qu'il s'agit de recherches pour le développement des outils miniaturisés pour des systèmes d'analyse totale, connus comme micro-TAS ou μ TAS (acronyme de Micro Total Analysis System), domaine très récent et étroitement lié au développement des laboratoires sur des puces.



Graphique 1.3. Analyse des relations des 15 domaines les plus représentés dans le développement des MEMS jusqu'à 2009.

Le cas particulier de la recherche autour du développement des LOC, lequel a déjà été évoqué, constitue un bon exemple pour illustrer la convergence de plusieurs disciplines dans le développement des MEMS. Cette interdisciplinarité peut être mesurée à partir de la co-signature des articles, mais pas tous les projets pour développer des LOC ne produisent pas des articles co-signés par des chercheurs provenant de disciplines différentes. Rafols (2007) met en évidence cela dans une étude sur les pratiques interdisciplinaires dans la recherche autour des LOC. Dans cette étude, il montre que la fabrication de ces dispositifs a nécessité l'intervention de connaissances et de savoirs faire de plusieurs disciplines et ceci dans le cadre de divers types de collaborations qui n'ont pas forcément débouché sur des articles co-signés. Le développement des LOC, par exemple dans les cas d'étude analysés par Rafols, a involuqué des connaissances de techniques de la microélectronique, de la

fabrication de micropuces, de la chimie analytique, de la microscopie, de la biologie cellulaire et de la biochimie.

D'ailleurs, d'autres disciplines convergent également dans le développement des LOC. Les avancements scientifiques dans la microfluidique ont beaucoup contribué à répondre aux défis bioanalytiques, défis qui peuvent être résolus avec la miniaturisation des outils pour l'analyse : le laboratoire sur une puce (Liu *et al.*, 2010, Lapizco-Encinas, 2008). Dans la revue scientifique spécialisée dans ce domaine, *Lab on a Chip*, des travaux de recherche sur les sciences des matériaux, des surfaces, des membranes, de l'énergie, de la microscopie, des cellules, ainsi que l'ingénierie tissulaire, de dispositifs cliniques, de la fabrication de bio-MEMS, de la physique et de l'électronique, entre autres, ont contribué à l'avancement du développement des laboratoires sur des puces (Minhas, 2010).

I.2. Les fonctions de la FUMEC lors de l'émergence de la recherche en MEMS au Mexique

I.2.1. Panorama de la productivité scientifique des MEMS au Mexique construit à partir des publications scientifiques et technologiques

Au Mexique, l'émergence de la recherche en MEMS est très récente, elle a commencé au début de ce siècle. Le premier article scientifique signé par des chercheurs mexicains a en effet été publié en 2002. La publication d'articles signés (ou co-signés) par des chercheurs localisés au Mexique est très peu significative : jusqu'à 2009, un total de 25 articles ont été identifiés dans la base de données de la *SCI*.

Dans ces 25 articles indexés, un total de 17 institutions mexicaines de recherche ont signé ou cosigné au moins un article. Dans cette liste, l'institution qui a publié le plus d'articles est l'Université Nationale Autonome du Mexique (UNAM) avec 10 articles (soit 40% du total). Ensuite, nous trouvons entre autre sur la liste

l'Institut National d'Astrophysique, Optique et Electronique (INAOE) et l'Université Autonome de Puebla (BUAP) avec 4 articles chacun, et le Centre de Recherches et Etudes Avancés (CINVESTAV) qui a signé 3 articles (voir la liste des 17 entités dans le graphique 1.4).

Les réseaux de collaborations scientifiques en MEMS au Mexique sont représentés dans le graphique 1.4, où les entités mexicaines sont en couleur rouge et les étrangères en bleu. Nous pouvons voir plusieurs clusters qui peuvent être traduits comme des réseaux de collaboration scientifique, car les articles identifiés sont le produit de ces collaborations. En ce qui concerne les collaborations avec l'extérieur, en terme de nombre d'institutions, le pays avec qui le Mexique collabore le plus est les Etats-Unis qui interagisse avec trois groupes différents. L'Espagne et l'Italie sont les suivants, dont le premier est lié avec deux groupes différents et le deuxième avec le même groupe ou réseau.

L'épaisseur des lignes qui lient les nœuds (entités), indique la densité des collaborations entre les entités. En d'autres termes, les lignes les plus épaisses représentent les collaborations les plus productives en termes de nombre d'articles publiés. Dans l'image, nous pouvons donc voir qu'il y a deux groupes (réseaux) qui collaborent le plus à ce niveau : d'une part l'UGto, l'UVer et la BUAP qui forment un groupe dans lequel a également participé le CSIC d'Espagne, et d'autre part, la BUAP, le CINVESTAV et l'UNAM (deuxième groupe où l'UAEH est présente). Enfin, le nombre des différentes entités (17 mexicaines et 15 étrangères) montre que c'est assez hétérogène et que les activités de recherche ne sont pas centralisées dans quelques entités, comme c'est le cas des nanosciences au Mexique (Robles-Belmont et Vinck, 2011).

recherche qui en a le plus est l'ITESM avec 2 brevets et du côté du secteur productif, c'est l'entreprise *Tubos de Acero de México S. A.* Cette entreprise se dédie à la fabrication de matériel pour l'extraction du pétrole et dans l'Etat de Veracruz, où se trouvent ses usines. Elle collabore avec l'Université de Veracruz, qui est un des acteurs dans la carte des réseaux de collaboration scientifique (cf. graphique 1.4). Nous approfondirons ce cas de collaboration plus bas dans un autre chapitre. Les autres brevets ont été produits par le CIATEQ et deux autres ont été obtenus par des personnes à titre individuel.

1.2.2. Les financeurs de la recherche en MEMS au Mexique

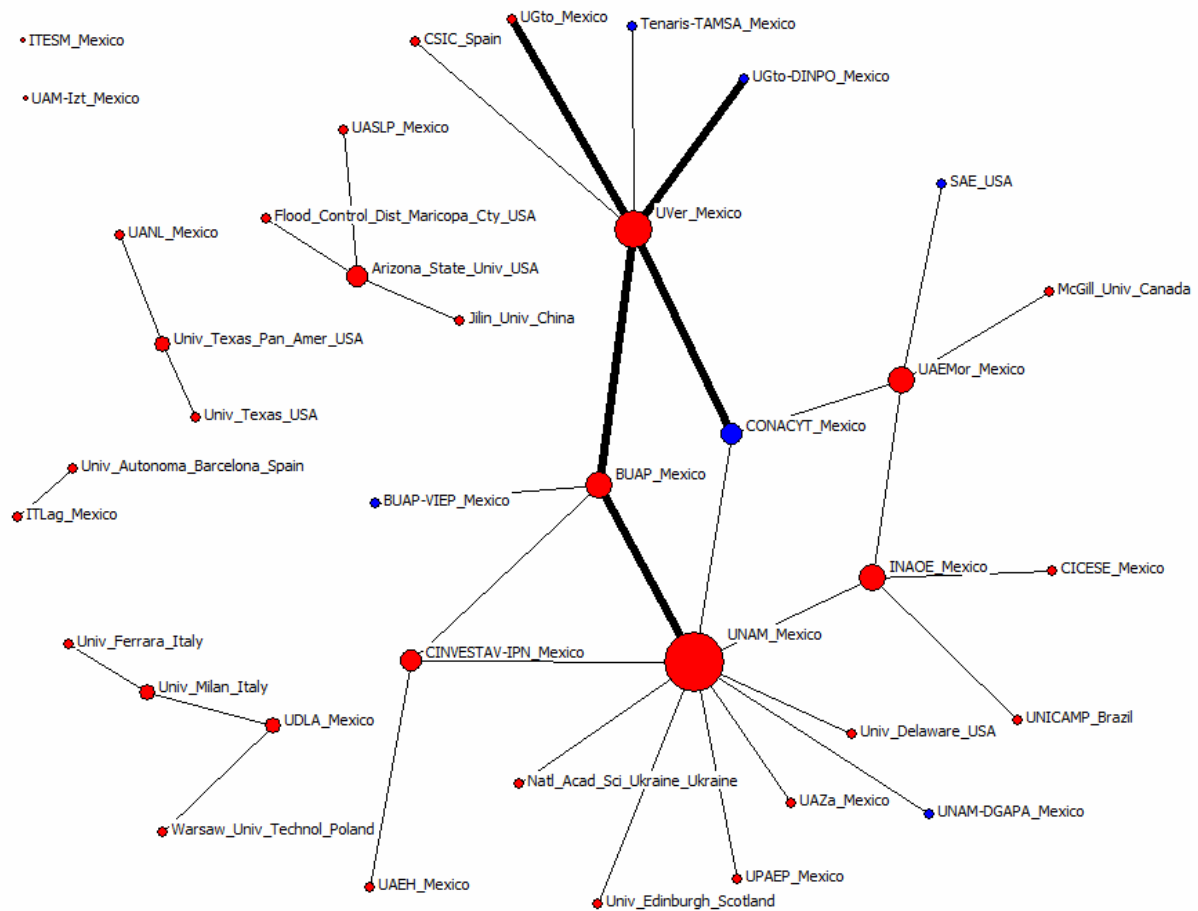
Jusqu'ici nous avons utilisé certains outils de la scientométrie pour caractériser l'évolution des publications scientifiques dans le domaine des MEMS, pour représenter la convergence de divers domaines sur cette technologie, et pour identifier les principales revues de publication, ainsi que les principaux acteurs institutionnels engagés dans le développement de cette nouvelle technologie. Ce type de résultats fait partie des centres d'intérêts de l'utilisation des outils de la scientométrie. Il est pertinent de rappeler que dans la littérature sur les études sociales de la science, les études scientométriques constituent un des axes sur l'émergence des études sur les micro et nanotechnologies (Shapira *et al.*, 2010), dans lesquels le comptage des articles et des brevets occupent une place importante.

Concernant la participation des organismes philanthropiques dans l'émergence des sciences et technologies, les outils scientométriques utilisés antérieurement ne montrent pas leur présence dans l'analyse des co-signatures des publications scientifiques. Cela est dû au fait que ces organismes, tels que la FUMEC, n'effectuent pas de la recherche scientifique et en conséquence, dans les signatures des articles, les noms des organismes philanthropiques ne figurent pas. En effet, comme nous l'avons déjà dit dans la partie introductive de la thèse, nous avons identifié la présence de la FUMEC dans l'émergence de la technologie des MEMS au Mexique lors des entretiens et des observations empiriques sur notre terrain d'étude, et non à partir de l'analyse des articles et des brevets.

Cependant, très récemment la *ISI Thomson* a ajouté un nouveau champ dans l'indexation des publications qui concerne les institutions ou organismes qui ont financé les activités de recherche. Il s'agit du champ nommé « *Funding Agencies* », dans lequel figurent les noms des institutions gouvernementales, privées, académiques, philanthropiques et non gouvernementales qui ont financé partiellement ou complètement les projets de recherche, ainsi que d'autres activités (mobilité des chercheurs, frais d'utilisation des infrastructures scientifiques, achat de matériaux ou de littérature). En plus, un autre champ outil est celui des remerciements où il est commun que les auteurs remercient les agences qui ont financé les projets de recherche.

Des 25 références concernant le Mexique dans le domaine des MEMS, seulement dans 5 articles, des données concernant les sources de financement sont spécifiées. Nous avons pris ces données nous les avons croisées avec celles sur les co-signatures utilisées pour construire le graphique 1.4. Une nouvelle matrice a été constituée avec des données concernant les institutions académiques et les agences ou institutions qui ont financé les recherches autour des MEMS. Le résultat de l'analyse des réseaux sociaux de ces données croisées est montré dans le graphique 1.5, dans lequel nous avons coloré en bleu les nœuds correspondants aux entités qui ont financé les recherches et les nœuds rouges représentent les institutions académiques. L'image de ce graphique montre que la principale source du financement est le CONACYT. Du côté des universités, nous trouvons trois institutions qui ont soutenu des projets de recherche : la Direction de Recherche et de Postgrade de l'Université de Guanajuato (UGto-DINPO), le Vice-rectorat de la Recherche et des Études Supérieures de l'Université Autonome de Puebla (BUAP-VIEP), et la Direction Générale des Affaires du Personnel Académique de l'Université Nationale Autonome du Mexique (UNAM-DGAPA). Du côté du secteur industriel, nous avons identifié que l'entreprise Tenaris TAMSA a participé au financement des activités de recherche (dans le chapitre III, ce projet de recherche est une étude de cas). La dernière entité qui a financé des activités de recherche dans le domaine des MEMS au Mexique, selon ces résultats, est la *Society of Automobile Engineers* (SAE), qui est un organisme international dédié à encourager et soutenir le développement des capacités techniques pour l'industrie automobile. Cet organisme international soutient financièrement la mobilité des étudiants à

plusieurs niveaux à travers la Fondation SAE, ainsi que des activités pour encourager les jeunes à effectuer des études en sciences et technologies¹².



Graphique 1.5. Analyse des réseaux sociaux des co-signatures institutionnelles et des agences de financement.

Dans ces résultats, nous avons pu identifier des sources de financement de la recherche dans le domaine des MEMS au Mexique et représenter leurs relations avec les institutions académiques. Cependant, la FUMEC ne figure pas dans ces résultats et ce, bien que lors de notre étude nous avons observé qu'une des fonctions de la FUMEC est celle de financer certaines activités dans la recherche de MEMS, telles que la mobilité des chercheurs et des étudiants et l'organisation des événements académiques autour des micro et nanotechnologies. Nous expliquons

¹² Pour plus d'information sur SAE International et la Fondation SAE voir : <http://www.sae.org/> et <http://www.saefoundation.org/about/>

cette absence de la FUMEC par le fait que les données utilisées sont très récentes dans les indexations des articles. Cela pose pour l'instant des limites car les références qui contiennent ces informations sont peu nombreuses et les résultats obtenus ne sont pas assez représentatifs.

D'autre part, ce type de résultats ne prend pas en compte toutes les sources de financement, ils constituent seulement une partie de ces sources. La fonction de la FUMEC comme financeur des activités dans le développement des MEMS au Mexique a été noté et caractérisé à partir des observations empiriques, lors des entretiens auprès des chercheurs engagés dans le développement des MEMS : la FUMEC a été évoquée à plusieurs reprises comme organisatrice des événements et comme co-financeur des bourses de mobilité destinées aux chercheurs et étudiants avec l'Académie Mexicaine des Sciences. Ici, nous ne réduisons pas le financement de la recherche à ces activités, car la recherche demande également des financements très importants pour, par exemple, l'installation d'infrastructures scientifiques et technologiques des laboratoires et centres de recherche. Dans ce dernier type de financement, nous avons observé que la FUMEC a eu une place importante dans l'installation des infrastructures pour le développement des MEMS, l'analyse de cette fonction de la fondation sera approfondie dans le deuxième chapitre de la thèse.

1.2.3. Définition du programme national pour le développement de MEMS de la FUMEC

Le panorama antérieur reflète que les capacités scientifiques et technologiques en MEMS au Mexique sont peu significatives. Néanmoins, aujourd'hui dans plus de quatorze centres et instituts de recherche et d'éducation, des activités scientifiques et technologiques se développent autour de projets pour le développement des MEMS. Ces activités se focalisent sur la formation de ressources humaines, l'installation d'infrastructures scientifiques et technologiques, ainsi que sur des projets de dessin, de fabrication et de caractérisation de dispositifs MEMS. Beaucoup de ces activités s'inscrivent dans « le Programme de Microsystèmes » de la FUMEC. Ce programme de la FUMEC est un document interne à la Fondation et sur son site Internet il y a très peu d'informations sur celui-

ci. Cela rend donc difficile l'accès à l'information sur ce programme. Cependant, à travers l'analyse des rapports biannuels d'activités de la FUMEC (qui sont disponibles sur le site Internet de la Fondation), des informations obtenues à partir d'entretiens effectués auprès du personnel de la Fondation même et de chercheurs impliqués dans les initiatives, et de la presse écrite sur la science et la technologie, nous essayons d'esquisser les étapes de ce « Programme de Microsystèmes » afin de donner une image de l'évolution de celui-ci.

Depuis sa création, la FUMEC a acquis un caractère binational entre le Mexique et les Etats-Unis afin de répondre à leurs problèmes communs par le biais de la coopération scientifique. Dans cette dynamique, l'initiative pour développer les MEMS au Mexique commence en 2000 lors de la réalisation d'une série d'ateliers sur la technologie MEMS organisés par le FUMEC, les Laboratoires Sandia et l'Université de Texas campus El Paso (FUMEC, 2002). Ces ateliers ont eu comme objectif d'identifier les capacités scientifiques et technologiques pour développer des MEMS installées tout au long de la zone frontalière. Les conclusions de ces ateliers ont signalé que plusieurs entreprises installées près de la frontière des deux pays sont intéressées par le développement des MEMS, mais les conclusions ont également noté l'existence de très peu de capacités scientifiques du côté mexicain (à l'époque il y avait peu de chercheurs mexicains familiarisés avec la technologie MEMS). Cependant, cette carence de capacités n'a pas représenté un obstacle pour la FUMEC, car cette Fondation, convaincue des potentialités techniques et économiques des MEMS, a défini un programme dédié au développement des MEMS au Mexique. Face à ce contexte d'adversité, la FUMEC a donc eu deux défis immédiats à relever : former des ressources humaines spécialisées et construire des capacités scientifiques et technologiques. Comme nous le verrons après, la FUMEC a mobilisé plusieurs acteurs scientifiques, économiques et politiques afin de mener à bien plusieurs initiatives qui conforment le programme pour le développement des MEMS. Lors de la mobilisation des acteurs et des ressources, la FUMEC a fait appel aux potentialités de la technologie de MEMS qui se caractérisent par sa définition à partir des études de tendances globales du marché, où le Mexique ne figure pas comme un acteur relevant. Cela est notable dans les rapports des activités et les discours de la FUMEC dans des forums scientifiques et professionnels.

Concernant l'évolution du Programme de Microsystèmes de la FUMEC, nous identifions que celui-ci peut être divisé en deux phases. La première phase est constituée de deux initiatives lancées pour répondre aux deux défis déjà évoqués. Il s'agit de la création de deux réseaux de collaboration scientifique et technologique pour le développement des dispositifs MEMS. En 2002, la FUMEC a lancé sa première initiative orientée vers la construction d'infrastructures : le réseau national de Centres de Dessin de MEMS (CD-MEMS). Parallèlement à la constitution de ce réseau, la FUMEC a coordonné l'intégration au Mexique d'un groupe de chercheurs spécialisés en MEMS (FUMEC, 2006), qui a servi d'une part à couvrir la formation de ressources humaines et, d'autre part, à promouvoir le développement de cette technologie.

D'autres objectifs ont été définis plus tard, et en conséquence des nouvelles initiatives ont été mises en place. Les phases suivantes de la conception des dispositifs MEMS, qui ont donc été assurée par le réseau de CD-MEMS, sont la fabrication et la caractérisation de prototypes. La stratégie pour installer les infrastructures nécessaires pour ces deux phases a consisté en la construction de trois laboratoires organisés en réseau, cette initiative gérée par la FUMEC porte le nom de Réseau de Laboratoires d'Innovation de MEMS (LI-MEMS).

La seconde phase que nous distinguons dans le Programme de Microsystèmes est constituée de trois initiatives qui visent l'intégration des divers secteurs et la commercialisation des produits basés sur la technologie MEMS. Pour impulser les partenariats entre les divers acteurs intéressés par le développement et les applications de la technologie des microsystèmes, le Centre d'Articulation Productive en MEMS (CAP-MEMS) a été créé par la FUMEC, en 2004. Un an plus tard, le Consortium Mexicain des Microsystèmes (CMM) a été fondé par la FUMEC en partenariat avec d'autres entités involucrées dans les initiatives précédentes. Ces deux dernières initiatives ont pour but de promouvoir et d'impulser des partenariats entre les secteurs universitaire, productif et gouvernemental pour répondre aux fenêtres d'opportunités des applications commerciales des MEMS. Avec ces initiatives, la FUMEC prétend couvrir toutes les étapes de l'innovation des MEMS, qui vont de la conception jusqu'à la commercialisation. La dernière initiative qui s'inscrit dans le programme de la FUMEC est l'AERI-MEMS, initiative qui fait partie

d'un programme du CONACYT pour constituer des réseaux nationaux d'innovation dans des domaines stratégiques. Le lancement de l'appel à projets pour la création de ses réseaux a représenté l'opportunité pour le Programme de Microsystèmes de la FUMEC d'obtenir des ressources financières pour des nouveaux projets de recherche et pour donner continuité au même programme de la fondation. La FUMEC a donc proposé un réseau spécifique pour les MEMS et deux autres réseaux étroitement liés à la technologie des microsystèmes : technologie FPGA et technologie de Systèmes Imbibés. Actuellement, plusieurs projets d'innovation dans le domaine des MEMS sont développés dans le cadre de ces réseaux par des acteurs académiques et industriels.

Toutes ces initiatives dessinent les étapes de l'émergence du développement des MEMS au Mexique et nous avons noté qu'elles sont liées les unes aux autres. Ces relations sont basées sur les ajustements que le Programme de Microsystèmes a connus sur la marche de la mise en place de chacune de ces initiatives. Par exemple, le CAP-MEMS a été dissolu et ensuite le CMM a été créé sur la base du CAP-MEMS et les réseaux CD-MEMS et LI-MEMS. L'initiative du deuxième réseau a également été lancée sur la base du premier réseau, une fois que les premiers objectifs de formation de ressources humaines ont été couverts. Les autres initiatives ont été pensées pour rassembler des acteurs de différents secteurs afin de commercialiser les MEMS conçus et développés dans des laboratoires installés dans le cadre des deux réseaux (Image 1.2). En plus, d'autres actions ont été menées parallèlement par la FUMEC, telles que l'organisation ou sa participation dans des forums académiques et industriels. Ces actions ont pour but la promotion des initiatives déjà évoquées et la diffusion du développement et de l'utilisation des MEMS, ainsi que l'identification de nouveaux chercheurs et acteurs potentiels pour le développement de cette technologie. Toutes les initiatives qui figurent sur l'image 1.2 seront détaillées et analysées dans les prochains chapitres.

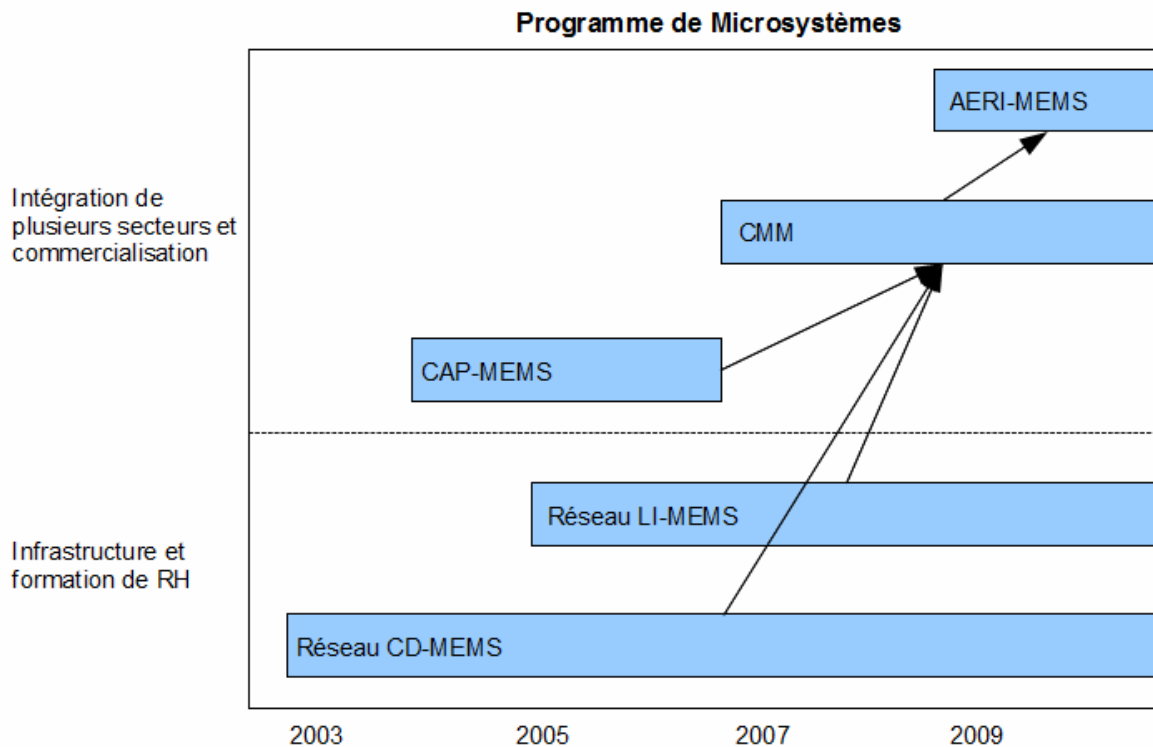


Image 1.2. Initiatives inscrites dans le Programme de MEMS de la FUMEC.

I.3. Origines et profil de la FUMEC

Jusqu'ici, nous avons abordé l'émergence de la technologie des MEMS au Mexique à partir d'une approche quantitative (comptage des articles et des brevets), afin de rendre compte de l'évolution des publications, d'identifier les principaux acteurs scientifiques (institutionnels) et financeurs. D'autre part, nous avons explicité le programme de la FUMEC pour le développement de la technologie des MEMS au Mexique, et cela à partir d'une approche qualitative. Le développement des MEMS au Mexique est devenu un des axes de la FUMEC.

Dans cette troisième partie de ce chapitre, nous allons nous focaliser sur le profil de la FUMEC en tant qu'un organisme philanthropique. Cela afin de donner plus d'éléments pour mieux comprendre la définition et la mise en place des stratégies de cette fondation philanthropique.

1.3.1. Création à partir de principes philanthropiques

La Fondation Mexique - Etats-Unis pour la Science (FUMEC) a été créée en 1992 comme un organisme non gouvernemental. L'initiative de la création de cette Fondation est attribuée au Congressiste étasunien George E. Brown Jr., qui avait fait la proposition de créer une Fondation Amérique latine – Etats-Unis pour la Science, ce qui impliquait l'engagement de plusieurs pays. Cependant les conditions pour une initiative comme celle-ci n'étaient pas favorables. Le seul pays avec qui cela a été possible de donner suite à cette initiative était le Mexique.

Pour la création de la FUMEC, il a été proposé au départ de financer cette initiative sous le modèle de « *debt-for-science swaps* » (Brown et Sarewitz, 1991), modèle qui s'inspire de « *debt-for-nature swaps* ». Ce dernier concept consiste à retirer une partie de la dette externe d'un pays en échange de sa coopération en matière de conservation de son propre environnement (Gonzalez-Fernández et Pérez-Ímigo, 2008). La proposition de Brown et Sarewitz consiste donc à adapter cette notion pour les agendas de science et technologie des pays moins développés et que « les swaps de dette pourraient être utilisés pour financer les Fondations dans l'appui continu de la coopération en R&D » (Brown et Sarewitz, 1991). Finalement, cette proposition n'a pas abouti pour la création de la FUMEC. Les fonds pour sa création proviennent à parts égales des deux pays.

La FUMEC a été créée comme un organisme à but non lucratif, avec le statut de fondation. Même si elle a été fondée par des institutions gouvernementales, la FUMEC est indépendante sur le plan financier et organisationnel. Cette Fondation peut être qualifiée comme une Fondation Philanthropique car les motifs de sa création sont caractéristiques de la philanthropie : « améliorer les conditions de vie et promouvoir le développement économique et social dans la zone frontalière entre le Mexique et les Etats-Unis ». Deux autres éléments qui ont caractérisé la FUMEC lors de sa création sont la coopération et la promotion pour le développement.

1.3.2. Buts, actions et organisation de la FUMEC

Dès la création de la FUMEC, un caractère binational lui a été conféré afin de répondre aux problèmes communs qui peuvent être résolus de manière conjointe.

Cette mission se maintient jusqu'à ce jour, elle figure en effet comme la mission centrale de la Fondation dans tous ses rapports d'activités. Par exemple, dans le premier de ses rapports (FUMEC, 1998) figure que l'objectif de sa création est de donner une réponse aux activités des communautés académiques des États-Unis et du Mexique. Il est bien connu que les organisations changent leurs buts, stratégies et règles en fonction des nouveaux défis rencontrés. La FUMEC n'est pas une exception, parce que nous pouvons voir un changement de ses stratégies et ses actions, dans le temps, à travers ses rapports d'activités.

La comparaison des rapports des activités de la FUMEC montre les ajustements effectués en fonction des fenêtres d'opportunités identifiées. Par exemple, dans le premier rapport, publié en 1998, l'orientation de la Fondation était promouvoir, soutenir et encourager « la coopération binationale dans les domaines de la recherche, de l'éducation et du renforcement institutionnel, liés avec la science, la technologie et la santé publique » (FUMEC, 1998). Dans ce rapport, qui rend compte des activités des premières cinq années, les projets soutenus étaient principalement en science fondamentale dans trois domaines prioritaires : « environnement, santé publique et problèmes socioéconomiques issus de l'intégration de deux sociétés (la mexicaine et l'étasunienne) ».

Aujourd'hui, la FUMEC se veut comme « une organisation qui fonctionne à partir de projets » (FUMEC, 2010). Sa stratégie actuelle se focalise, en effet, sur le développement de projets spécifiques qui répondent aux fenêtres d'opportunité identifiées. L'agenda des projets de la Fondation est divisé en trois domaines stratégiques : a. le développement économique basé sur l'innovation technologique, b. le développement de ressources humaines, et c. l'environnement et la santé. Chacun de ces domaines est constitué de différents programmes, qui sont eux-mêmes composés d'une constellation de projets spécifiques destinés à couvrir les objectifs de chaque programme et basés sur la collaboration aussi institutionnelle que binationale. Le tableau 1.2 montre tous les programmes et les domaines qui forment l'agenda de projets de la FUMEC.

Domaines	Programmes
Développement économique basé sur l'innovation technologique	<ul style="list-style-type: none"> • Industrie Automobile • Accélérateur d'Entreprises Technologiques (TechBA) • Système d'Assistance Technologique Entrepreneurial (SATE) • Microsystèmes
Développement de ressources humaines en science et technologie	<ul style="list-style-type: none"> • Collaboration dans l'Enseignement de la Science • Innovation en Education de la Science, la Technologie, les Ingénieries et les Mathématiques • Collaboration Binationale entre les Académies Nationales d'Ingénierie et Médecine • Séjours d'Eté et Visites de Chercheurs Distingués
Environnement et santé	<ul style="list-style-type: none"> • Changement Climatique • Santé dans la Frontière • Sécurité Sanitaire des Aliments

Tableau 1.2. Domaines et programmes stratégiques de la FUMEC.

D'autre part, alors que la zone géographique des actions se limitait à la frontière et que les domaines d'action concernaient principalement cette zone ; lors des années suivantes, le profil de la FUMEC a changé. D'une part, elle a étendu sa géographie d'action à l'intérieur du Mexique et, d'autre part, elle a identifié et couvert de nouveaux domaines stratégiques pour la collaboration binationale en science et technologie. Sur ce dernier point, il est important de souligner que la Fondation a

changé ses stratégies. Comme par exemple, de la gestion d'eaux résiduelles et de la santé publique (FUMEC, 2008), elle s'est orientée vers l'obtention d'un majeur impact socioéconomique dans la région d'Amérique du Nord, en se centrant sur le développement de MEMS et de l'industrie aérospatiale et automotrice (FUMEC, 2010). Ces nouvelles orientations sont déterminées en fonction de fenêtres d'opportunités et, comme nous l'avons déjà dit plus haut, l'identification de ces opportunités constitue une des activités de la FUMEC.

Lors de notre étude, nous avons repéré que les activités menées par la FUMEC pour atteindre ses buts sont :

- La promotion et l'aide à la coopération scientifique entre le Mexique et les Etats-Unis.
- L'identification d'opportunités et l'élaboration de programmes pour le développement.
- L'articulation de ressources en tant qu'organisme intermédiaire.
- L'élaboration des agendas de recherche et le soutien à des projets scientifiques (financement d'activités de la recherche, par exemple).
- Effectuer des diagnostics et des études de marché et de veille technologique.
- La dissémination des nouvelles sciences et technologies.
- L'organisation d'événements et de forums académiques et professionnels.
- La recherche de l'impact économique et social des programmes par le biais de la commercialisation des technologies impulsées par la FUMEC.
- Le soutien de l'installation de nouvelles infrastructures pour la recherche.

Dans la partie introductive de cette thèse, dans le tableau 1, les fonctions des fondations philanthropiques dans le développement des sciences et technologies que nous avons identifiées dans la littérature sont listées. Les actions menées par la FUMEC que nous avons notées confirment les fonctions des fondations philanthropiques identifiées dans d'autres études sur ce type d'organismes. Les activités et les mécanismes pour mener à bien les initiatives de la FUMEC dans le domaine des MEMS seront expliqués et analysés au cours des chapitres suivants.

Entre autres, l'horizon d'action de la FUMEC ne se limite pas aux territoires des Etats-Unis et du Mexique. Dans certains sub-programmes stratégiques nous trouvons la participation d'agences et d'organismes d'autres pays latino-américains. Tel est le cas des cours virtuels effectués dans le cadre du « réseau de santé environnementale dans la frontière », où des institutions du Brésil, de l'Equateur et du Pérou ont participé. La FUMEC a aussi conduit des initiatives où l'on trouve le Canada. Cela montre que l'une des stratégies de la FUMEC est l'ouverture vers d'autres pays américains.

1.3.3. Le Comité Directeur, un organe indépendant ?

Dans la FUMEC, les décisions sont prises par le Comité Directeur (Junta de Gobierno). Au départ cet organe est constitué par 10 membres, dont 5 de chaque pays. Actuellement 16 personnes forment ce comité, 8 mexicains et 8 étasuniens. Ces membres sont des acteurs provenant de l'académie, des institutions gouvernementales et de l'industrie. Il s'agit donc d'un groupe assez hétérogène qui représente différents intérêts. Ce comité conformé par des personnalités de ces trois secteurs constitue la base d'un réseau des contacts, que nous qualifions plus bas de politique (cf. II.4.3), qui est mobilisé dans le cadre des différents programmes de la fondation pour obtenir des alliances pour mener à bien ses projets.

Bien que l'organe où les décisions sont prises, soit composé par des individus qui proviennent des trois secteurs déjà évoqués, la FUMEC se présente comme un organisme indépendant. Cette « indépendance » confère à la FUMEC plusieurs avantages face aux autres institutions. Un de ces avantages concerne la légitimité vis-à-vis des autres institutions et secteurs. Un agent de la FUMEC s'exprime sur cette légitimité en nous disant :

« Nous sommes un organe qui n'appartient à aucun secteur, et ce caractère de neutralité nous donne beaucoup de valeur vis-à-vis des institutions, parce que nous ne représentons une concurrence pour personne »
(Avendaño, 2008).

Un autre avantage est l'indépendance politique dans la définition et mise en place des programmes, cela dans le sens où les changements de pouvoir politique (changement de partie politique au pouvoir) ont peu d'impact sur les programmes et

stratégies établis par la Fondation, cela parce que, comme nous l'avons déjà évoqué, les programmes de la FUMEC ne sont pas dessinés et déterminés en fonction de politiques nationales en science et technologie. En revanche, comme nous l'avons vu plus haut, la FUMEC a la capacité d'imposer ses programmes pour que ceux-ci soient pris en compte dans la définition des politiques en science et technologie.

Cependant, un point qui est induit par les changements politiques, et qui n'est pas négligeable, est celui du financement des programmes, car les institutions gouvernementales (comme le CONACYT, le Ministère de l'Economie, entre autres) sont les principales sources du financement des activités et des projets soutenus par la FUMEC.

Finalement, le réseau politique des membres du Comité Directeur (cf.II.4.3) nuance cette « indépendance », parce que les relations politiques et interpersonnelles maintenues dans ce réseau sont mobilisées par la FUMEC à travers les membres du Comité (conformé par des personnalités du gouvernement, de l'académie et de l'industrie) afin d'obtenir la continuité du soutien économique des institutions gouvernementales.

1.3.4. Financement et indépendance de la FUMEC

Nous avons déjà dit que le financement pour la création de la FUMEC a été apporté par les gouvernements du Mexique et des Etats-Unis en 1992. Du côté des Etats-Unis, un budget de 2 millions de dollars américains est venu de l'Agence de Développement International (AID), et le Mexique, via le CONACYT, a apporté également 2 millions de dollars. Plus tard, en 1994, l'AID a apporté USD 150 000 de plus. Ce budget a servi à créer un fond propre à la fondation, qui est la base économique pour assurer le fonctionnement de celle-ci. Ce fond initial a été investi dans la banque et les profits des intérêts servent pour financer les activités de la fondation. Ce *modus vivendi* permet à la fondation d'avoir un niveau d'indépendance économique vis-à-vis des institutions publiques et privées. Cela a été noté par un agent de la FUMEC qui nous répond à la question de l'indépendance :

« Il n'y a aucune dépendance, c'est-à-dire, nous sommes une institution totalement indépendante. (La FUMEC) a été établie seulement à partir de ces

ressources et en plus il est curieux que ces ressources apportées nous ne pouvons pas les utiliser. Nous utilisons uniquement les intérêts générés pour pouvoir fonctionner. Bon, c'est ce qui forme un type d'indépendance parce que ces ressources se trouvent dans un fond. Ces ressources réellement n'ont pas été touchées, et donnent la base de la soutenabilité de la Fondation » (Saldaña, 2010).

Ce fond qui représente le patrimoine économique de la FUMEC n'a pas cessé d'augmenter, il est passé de 4 millions de dollars lors de sa création, en 1992, à 13,9 millions de dollars en décembre 2009.

Il est important de souligner que ses ressources économiques servent principalement pour le fonctionnement de la fondation (salaires des agents et frais des installations, par exemple). Dans certains cas, la FUMEC finance avec l'enveloppe issue de ses fonds des bourses pour la mobilité des étudiants et des chercheurs, ainsi que d'autres activités dans le cadre de projets de recherche quand ils sont considérés comme stratégiques (ateliers de formation, organisation des événements académiques, par exemple).

D'autre part, pour le développement des projets qui demandent des investissements plus importants comme l'installation d'infrastructures scientifiques et technologiques, la FUMEC mobilise d'autres ressources économiques, principalement publiques. Rappelons qu'une des fonctions de la fondation consiste à chercher et gérer de fonds venus d'organismes privés et publics, ainsi que d'autres organismes philanthropiques. Par exemple, en 1998 la FUMEC a mis en place, avec le soutien économique de l'Agence de Protection de l'Environnement des Etats-Unis et en coordination avec la Commission Nationale de l'Eau du Mexique, un programme de collaboration scientifique et technologique orienté vers les problèmes de l'eau et de la santé sur la frontière Mexique – Etats-Unis (FUMEC, 2000). D'autre part, en 1999 l'Institut de Technologie du Massachusetts (MIT) et le CONACYT ont financé des projets sur la « qualité de l'air dans des grandes villes » et ce par le biais du Projet Ville de Mexico (de la part du MIT) et d'un réseau scientifique mexicain consacré à la recherche sur la problématique de la pollution de l'environnement (de la part du CONACYT). Concernant la participation d'autres organismes philanthropiques, non gouvernementaux et à but non lucratif, dans ses rapports

d'activités, la participation d'autres fondations et organismes dans les programmes de la FUMEC est évoquée. Par exemple, il a été reporté que la FUMEC a collaboré avec la Fondation Motorola, The Resources Foundation, la MANCEF, The Fondation Hewlett, la Fondation ANETIF, entre autres. Ces collaborations se sont centrées sur des projets spécifiques dans plusieurs domaines (santé, nouvelles technologies, environnement) via la co-organisation des événements, le développement et le co-financement des projets.

Le financement public des projets qui s'inscrivent dans les programmes de la FUMEC est la principale source économique. Dans un rapport sur les fonds PYMES du Ministère de l'Economie au Mexique, López et al. (2007) montrent que la FUMEC a été l'organisme qui a reçu le plus de financement public par le biais de ces fonds publics en 2006. Selon ce rapport, la FUMEC a reçu entre 2004 et 2006 un total de 328.445 millions de pesos (soit environ 29.78 millions de dollars), pour les différents projets gérés par cette Fondation en tant qu'organisme intermédiaire, dont ceux concernant les initiatives en MEMS.

1.3.5. Implication de la FUMEC dans la formulation et l'application des politiques en science et technologie

Dans la première partie de la thèse, nous avons souligné l'implication politique des approches théoriques sur les changements technologiques. Nous avons aussi évoqué que les fondations philanthropiques ont également une implication dans la formulation et l'application des politiques en science et technologie.

En ce qui concerne la FUMEC, dans le rapport des activités publié en 2002 un des principaux objectifs est « étudier, faciliter et promouvoir l'élaboration de politiques publiques en science et technologie avec l'intention d'élargir et de renforcer la coopération binationale entre le Mexique et Etats-Unis » (FUMEC, 2002). La participation dans la formulation des politiques en science et technologie passe par plusieurs mécanismes. Par exemple, en 2005, la FUMEC a participé au projet « Stratégies Environnementales Intégrales pour la Ville de Mexico » qui a pour objectif de produire de l'information technique pour la formulation de la normativité et de la politique publique dans le domaine de l'environnement et de la qualité de l'air

de la Ville de Mexico. Projet dans lequel des entités étasuniennes ont également participé.

Dans le cas du développement de la technologie de microsystèmes, nous avons déjà dit que la FUMEC a convaincu le Ministre de l'Economie et le Département de Développement Economique et Social de l'Etat de Puebla de considérer ces technologies comme stratégiques pour le développement. Dans les deux cas, la FUMEC a mobilisé des informations précises issues de l'analyse et de la comparaison des politiques précédentes et celles d'autres pays, principalement des Etats-Unis et du Canada. D'autres informations ont été aussi obtenues à partir des études de marchés et de prospective technologique effectuées par la FUMEC, ainsi que des contacts de la Fondation avec des acteurs scientifiques et politiques dans ces deux derniers pays.

D'autre part, les mécanismes de la FUMEC pour l'application des politiques formulées sont aussi divers. Par exemple, la FUMEC a organisé plusieurs ateliers et d'autres activités pour la formation de ressources humaines et elle a aussi promu et coordonné la formation des réseaux de dessin et d'innovation de MEMS. D'autres initiatives en accord avec les politiques régionales et institutionnelles ont été mises en place par la FUMEC, tels que le CAP-MEMS, le Réseau AERI-MEMS, entre autres. Au cours des chapitres suivants, nous allons détailler ces initiatives.

Les fonctions des fondations philanthropiques dans la formulation et l'application des politiques ont été aussi observés dans d'autres études sur le changement technologique. Par exemple, dans le développement des biotechnologies au Mexique, la Fondation Rockefeller (FR) a été un acteur central dans l'émergence de cette technologie qui a été inscrite dans la « Révolution Verte ». La participation de cette fondation s'est déroulée en différentes étapes et sur différents niveaux. Le Programme de l'Agriculture Mexicaine de la FR est considéré comme le point de départ de la Révolution Verte dans ce pays (Harwood, 2009). Dans le cadre de ce programme, une commission de la FR a été envoyée au Mexique afin d'identifier les principaux problèmes de l'agriculture et faire ensuite des recommandations (Fitzgerald, 1994). Cette commission a défini que la recherche et la formation de ressources humaines étaient deux problèmes à couvrir et, en collaboration étroite avec le Ministère de l'Agriculture du Mexique, le programme de

la FR s'est centré sur ces deux problèmes. D'ailleurs, dans le développement des pommes de terre génétiquement améliorées, la FR a participé dans une première phase au financement des projets de recherche et postérieurement, dans une deuxième phase, cette fondation a demandé que des producteurs, qui utilisent les nouvelles pommes de terre, soient inclus dans les projets comme une condition pour le financement (Ortega-Ponce, 2008).

I.4. Les Fondations Philanthropiques dans le développement scientifique et technologique

Jusqu'ici nous avons utilisé le terme de « Fondation Philanthropique » en montrant que les origines de la FUMEC sont philanthropiques. Mais plusieurs questions émergent sur ce que nous entendons par Fondation et par Philanthropie, car il y a une ambiguïté dans le terme de Fondation Philanthropique et sur ses fonctions dans le développement. Dans la dernière partie de ce chapitre, nous essayons de clarifier ces questions.

I.4.1. Définition et caractéristiques des Fondations Philanthropiques

« Fondation » est un terme utilisé communément pour faire référence aux fondations philanthropiques, qui sont des organismes à but non lucratif et indépendants aux niveaux économique, politique et organisationnel des autres sphères institutionnelles. Dans la partie introductive de cette thèse nous avons également évoqué la présence des organismes non gouvernementaux (ONG) dans le développement des sciences et des technologies. Dans les études sociales sur la science, la technologie et l'innovation, il est commun de classer les fondations philanthropiques comme des ONG. Cependant tous les organismes nommés « fondation » ne sont pas non gouvernementaux, il y a en effet des organismes gouvernementaux qui portent ce nom, par exemple, la National Science Fondation aux Etats-Unis, qui est l'agence gouvernementale responsable de « promouvoir le progrès de la science ; faire avancer la santé nationale, la prospérité et le bien-être ; assurer la défense nationale ».

Les Fondations Philanthropiques sont définies comme des organismes qui mènent, dans plusieurs domaines, des initiatives et des actions pour le

développement afin d'améliorer les conditions de vie de l'homme. Dans un rapport sur les Fondations Philanthropiques et la coopération pour le développement, l'OCDE (2003) distingue les Fondations Philanthropiques des Organismes Non Gouvernementaux (ONG) sur le point que les premières mènent des actions pour améliorer et cherchent à atteindre des objectifs à long terme ou travaillent sur des causes basiques de situations de manque de ressources. Actuellement, il est commun trouver des fondations philanthropiques publiques ou privés engagées dans les secteurs de la santé, de l'éducation, de l'agriculture, entre autres.

Lors de la qualification de la FUMEC nous avons noté la légitimité et l'indépendance comme deux des caractéristiques des fondations philanthropiques. Porter et Kramer (1999) expliquent que les Fondations Philanthropiques « peuvent et doivent conduire au progrès social », car elles ont le potentiel de rendre plus effectif l'usage du peu de ressources apportées par des donateurs privés ou par le gouvernement. Ces mêmes auteurs notent que « libres de pressions politiques, les fondations peuvent explorer des nouvelles solutions aux problèmes sociaux avec une indépendance que le gouvernement ne peut jamais avoir ». Les fondations doivent conserver une légitimité vis-à-vis de leurs donateurs et les actions sociales sont donc centrales pour cette légitimité. Le but des fondations, selon ces auteurs, consiste à créer de la valeur sociale à partir de ces ressources. Cependant, les fondations donnent seulement 5,5% de leurs capitaux actifs en œuvre caritative, le reste du capital est investi pour créer de retours financiers, plutôt que des retours sociaux.

L'indépendance des Fondations Philanthropiques, dont Porter et Kramer parlent, est aussi évoquée dans le rapport de l'OCDE (2004) : « étant donné que les fondations sont indépendantes des gouvernements, elles ont aussi plus de liberté pour assumer des risques, pour considérer des programmes qui seulement auront des résultats à long terme ou pour expérimenter avec des organisations très décentralisées ».

Plus haut, nous avons déjà parlé de cette indépendance de la FUMEC et comment elle permet en effet à la Fondation d'assurer une continuité dans ces programmes malgré les changements politiques. En plus, nous avons également évoqué que les actions de la FUMEC ont des influences dans la formulation et

l'application des politiques en science et technologie. D'autre part, nous rappelons aussi la fonction de la FR dans la « Révolution Verte » au Mexique, où cette fondation a travaillé étroitement avec le gouvernement pour l'application du Programme de l'Agriculture Mexicaine. Cela montre que l'indépendance des processus politiques n'est pas réciproque, c'est-à-dire que les fondations jouissent d'une indépendance face au gouvernement, mais que les actions des fondations peuvent influencer les politiques en science et technologie, ainsi que leurs applications.

D'ailleurs, le modèle de financement des fondations est aussi un élément à prendre en compte dans cette indépendance. Mais plusieurs critiques ont été avancées à l'encontre des fondations privées qui défendent plus les intérêts de leurs créateurs et donateurs (Parmer, 2002a ; Solorzano, 1994 ; OCDE, 2004) qu'elles n'oeuvrent au développement. Ces critiques mettent donc en question l'indépendance des fondations.

Un autre point important à souligner est celui sur les nouvelles pratiques des fondations, car dans la dynamique de créer la valeur sociale avec l'argent des donateurs, les fondations philanthropiques ont intégré des pratiques du monde du business (managériales et marketing). Edwards (2008) explique qu'un nouveau mouvement philanthropique s'est développé, nommé par lui-même comme « philanthrocapitalisme », où des organismes non gouvernementaux fonctionnent comme des entreprises et créent des nouveaux marchés pour des produits et des services.

1.4.3. Les Fondations Philanthropiques et le développement

La participation des Fondations Philanthropiques dans le développement des nouvelles sciences et technologies n'est pas nouvelle. Cette présence date en effet, d'au moins, depuis le début du dernier siècle avec la création de la Commission Sanitaire de la FR en 1909, qui a effectué des activités de recherche et d'application pour vaincre plusieurs maladies, dont l'ankylostomiase, la malaria, la fièvre jaune, entre autres (Solorzano, 1994 ; Williams, 1994 ; OCDE, 2004).

Le rapport de l'OCDE sur la philanthropie et le développement souligne qu'en connaissant les caractéristiques des fondations (déjà citées dans ce texte) il n'est

pas surprenant qu'elles soient liées aux phases initiales de l'implantation de nouvelles techniques et technologies. Antérieurement, nous avons déjà évoqué la présence des fondations dans le développement de la Révolution Verte, le combat des maladies et l'émergence de la technologie de microsystèmes au Mexique, ces exemples confirment la relation entre les fondations philanthropiques et l'implantation de technologies.

Sur ces relations dans des pays non hégémoniques, Cueto (1994) argumente que l'implication des fondations philanthropiques dans la science a été basée sur « une vision élitiste de l'histoire de la science et de la société étasunienne ». En conséquence, selon Cueto, les agents des fondations philanthropiques étasuniennes, qui sont impliquées dans le développement des pays moins développés, partent de cette vision pour définir leurs programmes d'action. Dans le cas de la FR en Amérique latine, Cueto souligne deux principes qui ont guidé les programmes de cette fondation. Le premier est que les sociétés et institutions latino-américaines les plus avancées peuvent reproduire le même développement que celui de leurs homologues aux Etats-Unis, et le deuxième principe consiste dans le fait que le progrès dans les pays moins développés passe par le stimulus externe. Dans le domaine de la recherche, comme dans d'autres domaines, les fondations philanthropiques définissent leurs stratégies en fonction de ces principes. Ici, la question de modèle de développement est centrale, car les fondations prennent les expériences des pays développés comme des modèles pour le développement dans les pays moins développés (Fitzgerald, 1994 ; Harwood, 2009).

Des critiques ont été adressées contre ces pratiques des fondations internationales, par exemple, celle de l'échec du Programme Mexicain d'Agriculture de la FR (Harwood, 2009). Ces critiques notent le fait que les contextes où sont reproduits ces modèles sont très divergents des contextes des Etats-Unis, qui ont servi à définir les programmes pour le développement. Cueto (1997) qualifie ces conditions de la science dans les contextes des pays non hégémoniques comme « contexte d'adversité », car les conditions pour la recherche sont peu favorables sur le plan politique (manque de politiques concrètes et de stratégies) et sur le plan matériel (peu d'infrastructures et de financements pour la science et la technologie). Dans ces contextes, on observe l'absence du gouvernement ou la reformulation des

fonctions de celui-ci dans plusieurs espaces des divers secteurs (santé, éducation, agriculture, entre autres), et les fondations philanthropiques occupent une place importante dans le développement économique et social ces espaces.

I.5. Conclusion : du global au local dans la définition du Programme de Microsystèmes de la FUMEC

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté un panorama de l'émergence de la technologie de MEMS au niveau global et ensuite nous nous sommes centrés sur le cas mexicain à partir d'une approche quantitative. Les résultats obtenus nous ont permis de caractériser la progression de cette nouvelle technologie en termes de l'évolution des publications, de l'identification des acteurs scientifiques et de leurs relations, de la qualification de la convergence des domaines scientifiques et technologiques. Avec une approche qualitative, nous avons identifié d'un côté les potentialités techniques, économiques et sociales de la technologie des microsystèmes. Nous avons également qualifié d'un autre côté les actions et initiatives que la FUMEC a mis en place pour le développement de la technologie des MEMS dans différentes dimensions et différents niveaux.

Un premier point que nous trouvons intéressant à souligner concerne les limites des outils scientométriques pour identifier la présence de certains organismes philanthropiques dans la production scientifique. Dans les résultats de la caractérisation de l'émergence de la technologie des microsystèmes, nous avons montré que des organismes philanthropiques et non gouvernementaux dans ce domaine ne sont pas identifiables avec les outils de la scientométrie qui sont fréquemment utilisés. Nous avons noté que cette absence ne concerne pas tous les domaines, cela dépend des activités des fondations. Il y a en effet des fondations qui effectuent des activités de recherche et il y en a d'autres qui financent la recherche et diffusent les résultats. La FUMEC s'inscrit dans ce dernier type de fondation. Cependant, les nouvelles données introduites dans l'indexation des articles qui touchent les sources des financements de la recherche constituent des indicateurs

qui peuvent être intégrés dans les analyse scientométriques et qui peuvent nous permettre de rendre compte de la présence des organismes philanthropiques et non gouvernementaux dans l'émergence des nouvelles sciences et technologies.

Un deuxième point, est la place centrale de la FUMEC dans l'émergence de la technologie des MEMS au Mexique. En effet, les initiatives qui forment le Programme de Microsystèmes de la Fondation montrent que celle-ci a eu une place importante, voir centrale, dans l'émergence de cette technologie dans ce pays. Dans notre analyse, nous avons noté que deux phases se distinguent dans ce programme. La première est constituée par des initiatives qui ont visé l'installation d'infrastructures et la formation de ressource humaines, cela afin de créer des conditions favorables pour le développement des MEMS au Mexique. Les autres initiatives, qui forment la deuxième phase, ont été orientées vers l'intégration de plusieurs secteurs et la commercialisation des produits basés sur cette technologie. Toutes ces initiatives esquissent les fonctions de la FUMEC dans l'émergence des MEMS dans ce pays, dans les chapitres suivants nous allons approfondir ces fonctions et essayer de rendre compte comment celles-ci s'insèrent dans les dynamiques du développement de cette nouvelle technologie.

Un autre point que nous considérons comme intéressant à souligner est celui sur la manière dont la FUMEC a articulé le global avec le local dans la définition de son programme pour les MEMS. Pour mener à bien les initiatives, il a fallu des investissements onéreux, principalement pour l'installation d'infrastructures, et pour cela, la FUMEC a eu le soutien des institutions gouvernementales dans les différents niveaux. Afin d'attirer l'attention des décideurs gouvernementaux, la FUMEC a mobilisé dans son discours pour la promotion du développement des MEMS au Mexique les potentialités techniques, économiques et sociales de cette technologie. Toutes ces potentialités et informations ont été définies dans des études de prospective au niveau global, dans lesquelles n'apparaissait pas le Mexique. La FUMEC en connaissant le contexte local a donc mobilisé son réseau politique et ses contacts économiques afin de faire que la technologie de microsystèmes soit reconnue comme un domaine stratégique et qu'elle devienne le paradigme technologique pour certaines institutions.

Enfin, dans la qualification de la FUMEC, nous avons relevé deux caractéristiques de cette fondation que nous considérons importantes dans l'installation de la technologie de MEMS au Mexique. D'abord, son caractère à but non lucratif, que nous qualifions de « philanthropique » lui confère une légitimation, vis-à-vis d'autres organismes publics ou privés, dans les négociations avec des institutions gouvernementales dans le cadre de ses divers programmes. Cette légitimation lui donne des degrés d'autonomie dans la mobilisation de ressources et dans son intervention dans la vie politique en science et technologie du pays. Cependant, les organismes comme la FUMEC ne sont pas régulés, même s'ils mobilisent des ressources publiques assez importantes et leurs actions ont des influences non négligeables sur certains secteurs. La deuxième caractéristique importante concerne l'indépendance de la FUMEC. Bien qu'elle ait été créée avec un financement public provenant des Etats-Unis et du Mexique, la FUMEC est complètement indépendante au niveau financier et organisationnel. Cette « indépendance », comme nous l'avons montré, permet à la Fondation de ne pas dépendre des changements politiques et de donner ainsi continuité à ses programmes.

Chapitre II. L'installation d'infrastructures scientifiques et technologiques pour le développement de MEMS dans le Programme de Microsystèmes de la FUMEC

Le développement des Micro et Nanotechnologies, dont la Technologie des Microsystèmes, requiert des moyens techniques très spécialisés. L'infrastructure scientifique et technologique nécessaire à cela se traduit par des investissements onéreux. Le financement de l'installation de cette infrastructure est traditionnellement assuré par l'État, financeur traditionnel de la recherche. En effet, le financement de telles infrastructures coûteuses est possible grâce aux politiques orientées vers le développement des sciences et technologies nouvelles, qui ont été définies comme stratégiques pour le développement social et économique. Un des exemples les plus récents est la course pour le développement des nanotechnologies qui a été lancée par des politiques nationales et régionales, telles que l'Initiative Nationale pour les Nanotechnologies des États-Unis, lancée en 2001, dont un des buts a été le développement d'infrastructures pour la recherche dans ce domaine.

Dans les pays les moins développés, la rareté de l'infrastructure scientifique et technologique est un des facteurs qui fait que les conditions de la science sont caractérisées comme adverses (Cueto, 1997). Au Mexique, pays non hégémonique, les capacités scientifiques pour le développement des MEMS, en termes de ressources humaines et matérielles, étaient nulles au début de ce siècle. Dans le chapitre précédent, nous avons évoqué l'absence d'une politique nationale pour le développement des MEMS au Mexique. Malgré cela, sept ans après, lors d'une première enquête exploratoire dans le cadre de notre recherche autour des micro et nanotechnologies, nous avons observé l'existence de plusieurs laboratoires pour la conception de MEMS et des projets de construction de nouveaux laboratoires pour la fabrication et la caractérisation de ces dispositifs. Lors de la qualification de l'installation de cette infrastructure, la présence de la FUMEC dans différents projets est ressortie à plusieurs reprises. En effet, au moment d'identifier les acteurs dans les projets de construction des plateformes, la FUMEC apparaît dans des actions clés tout au long du déroulement.

Dans ce chapitre, nous allons essayer de rendre compte de la manière dont a été abordée la problématique de l'installation d'infrastructures scientifiques et technologiques pour le développement des MEMS au Mexique, en expliquant les fonctions de la FUMEC dans ces processus. D'abord dans la première partie, nous allons expliciter la stratégie que la FUMEC a menée pour couvrir la phase d'installation des infrastructures scientifiques et technologiques pour le développement de MEMS. Ensuite, nous allons étudier les contextes dans lesquels l'installation d'infrastructures a eu lieu et ce, en insistant sur les facteurs locaux qui ont été pris en compte. Dans un troisième sous-chapitre, nous allons analyser l'importance de la proximité géographique, les facilités des plateformes et les dynamiques politiques et économiques locales et régionales dans la formation d'un cluster pour le développement des MEMS au Mexique. Ce dernier se base en effet sur l'agglomération de capacités scientifiques déjà disponibles. Finalement, nous allons expliciter comment l'installation d'infrastructures a été effectuée sans compter avec une politique publique.

II.1. Quelle stratégie de la FUMEC face au manque d'infrastructures scientifiques et technologiques ?

Dès que la FUMEC a défini la technologie des microsystèmes comme une fenêtre d'opportunité pour le Mexique, une de ses premières tâches a été celle d'effectuer un panorama de l'état des capacités scientifiques et technologiques disponibles dans ce pays. La FUMEC a donc réalisé, en 2002, une exploration des capacités scientifiques et technologiques disponibles dans ce domaine. Les capacités identifiées par la Fondation étaient presque inexistantes à l'époque, voire nulles ; seulement trois experts en MEMS au Mexique ont été identifiés. Bien sûr d'autres institutions d'éducation et de recherche comptaient déjà avec des capacités humaines et des infrastructures, et effectuaient des recherches en micro technologies, telles que la microélectronique et la microfluidique, mais elles n'étaient pas forcément orientées vers le développement des dispositifs MEMS. Par exemple, l'INAOE comptait déjà avec un laboratoire de microélectronique créé dans les années 70. En plus, autour de Guadalajara, plusieurs institutions de recherche effectuent des activités scientifiques et technologiques dans le domaine de la microélectronique.

À partir des résultats de l'étude effectuée par la FUMEC, la construction de l'infrastructure a été un des deux premiers défis à franchir. Cependant, comme nous l'avons évoqué dans le chapitre précédent, l'infrastructure pour le développement des MEMS est constituée d'équipements et de locaux spéciaux, ce qui demande des investissements très élevés. Dans un pays comme le Mexique, l'industrie qui est supposée être intéressée par effectuer des investissements dans ce domaine est une industrie transnationale basée sur le modèle de la « *maquiladora* »¹³. Cette industrie, qui appartient principalement aux secteurs de l'électrodomestique et de l'automobile, effectue seulement des activités d'assemblage dans ses sites situés au

¹³ Le terme *maquiladora* désigne les usines qui bénéficient d'une exonération des droits de douane pour pouvoir produire à un moindre coût des marchandises assemblées, transformées, réparées ou élaborées à partir de composants importés. Dans ces sites de production les activités de conception, d'innovation et de recherche sont absentes. Ces activités sont effectuées principalement dans les maisons mères.

Mexique, alors que les activités de conception des nouveaux produits sont effectuées à l'étranger. Certes, il y a des exceptions, mais les entreprises qui comptent avec des bureaux d'innovation au Mexique sont peu nombreuses, et ce serait une erreur de généraliser.

Dans ce contexte, le secteur public est le seul capable d'apporter les investissements nécessaires pour l'installation d'infrastructures pour le développement des MEMS. Ces financements sont effectués par des institutions gouvernementales, et ce, par le biais de politiques dictées ou de programmes gouvernementaux (sectoriels ou régionaux). Bien que les nanotechnologies aient été reconnues comme stratégiques en 2002 dans le Plan National du Développement (PECYT, 2002), actuellement le Mexique ne compte pas avec une politique explicite pour le développement de ces technologies, dans laquelle les MEMS pourraient être inscrits. Cependant, l'infrastructure existante aujourd'hui dans le pays a été financée par le capital public et ce sans compter avec une politique nationale, et ce par le biais du programme PYMES du SE. L'obtention de ce financement a été possible grâce au fait que la FUMEC a réussi à convaincre le Ministre de l'Économie d'investir dans le développement des MEMS (cf. 1.2.3.).

Face à la problématique de l'installation d'infrastructures pour le développement des MEMS, la stratégie de la FUMEC a consisté en couvrir la première étape pour le développement de cette technologie : le dessin et la simulation. Après plusieurs réunions et rencontres avec des fonctionnaires du SE, en 2003, la FUMEC constitue le projet de créer un réseau national de centres de dessin de MEMS, nommé réseau CD-MEMS. L'appel à projets pour constituer ces centres a été lancé la même année et un total de douze entités mexicaines d'éducation et de recherche ont répondu à l'appel, mais seulement dix centres de dessin ont pu être concrétisés et installés.

Deux ans plus tard, en 2005, une fois que le réseau CD-MEMS a commencé à prendre forme, la stratégie s'est étendue sur les autres étapes du développement des MEMS : la fabrication et la caractérisation. Avec le soutien économique du SE, la FUMEC a lancé une deuxième initiative pour la création d'un autre réseau de collaboration technologique. Ce nouveau réseau a été nommé réseau de Laboratoires d'Innovation en MEMS (LI-MEMS). Dans le troisième chapitre, nous

présenterons une analyse plus approfondie sur la configuration de ces deux réseaux (cf. III.2 et III.4.2).

Au-delà de la fabrication de prototypes, pour la commercialisation des dispositifs MEMS, la production en masse est nécessaire, cela a été également envisagé par la FUMEC. Néanmoins, aucun des laboratoires installés n'est équipé pour la production en masse des MEMS. Le plus grand laboratoire qui est en cours de construction est celui de l'INAOE, nous verrons plus bas que ce laboratoire compte avec des lignes de fabrication de circuits intégrés et de dispositifs MEMS, mais ses capacités restent pour une fabrication à petite échelle. Du côté du secteur productif, les industries qui ont montré leur intérêt pour le développement des MEMS sont des PME technologiques (petites et moyennes entreprises) et leur taille et capital ne sont pas assez élevés pour entreprendre l'installation d'un laboratoire de fabrication des MEMS. Les dispositifs conçus par ces PME sont fabriqués aux Etats-Unis dans des usines privées pour les cas des MEMS commercialisés.

Enfin, dans le cadre du Programme des Microsystèmes de la FUMEC, l'ensemble des infrastructures des centres de dessin et des laboratoires d'innovation constitue la plateforme nécessaire pour la fabrication de prototypes de dispositifs MEMS au Mexique. Certains des laboratoires que nous suivons dans notre recherche sont encore en train d'être installés, ce qui peut représenter un désavantage, mais également un avantage car nous pouvons suivre la construction des plateformes scientifiques de près et obtenir des données que nous n'aurions pas pu obtenir si notre enquête avait eu lieu plus tard.

II.2. Du global au local dans l'installation des infrastructures

La promotion du développement des MEMS au Mexique est justifiée à partir des arguments globaux, tels que l'existence d'un marché en plein essor basé sur des capacités techniques très prometteuses. Ces arguments ont été mobilisés par la FUMEC afin de convaincre les décideurs et les institutions publiques au niveau national d'investir dans le domaine des MEMS, ce qui a permis la création des initiatives évoquées antérieurement pour l'installation d'infrastructures. Par exemple, dans un exposé effectué en novembre 2011, afin de présenter le projet de l'AERI-

MEMS lors d'une réunion organisée par le CONACYT, le responsable de cette initiative sur les MEMS a mobilisé des informations et des graphiques concernant des perspectives sur les marchés internationaux dans le domaine des MEMS. Les analyses des études de prospective technologique effectuées par la FUMEC autour des MEMS se sont en effet basées sur des informations globales des marchés et de l'émergence de cette technologie dans d'autres pays. Les contenus de ces études ont compris les tendances globales des MEMS et l'état de l'art dans le monde, entre autres thèmes (SE, 2010a). C'est à partir de ces informations globales que la FUMEC a défini cinq domaines stratégiques pour le développement des MEMS au Mexique : automotrice, alimentation, santé, énergie et télécommunications.

D'autre part, dans l'analyse des dix CD-MEMS et des trois LI-MEMS, nous avons observé que le local a aussi eu une influence importante dans l'installation de nouvelles infrastructures. Tous les centres de dessin et les laboratoires ont été installés dans des lieux avec des caractéristiques particulières qui ont facilité l'installation de ces infrastructures. Ces observations nous ont amené à avancer l'hypothèse que l'infrastructure scientifique et technologique est cohérente à partir des facteurs locaux. Des trajectoires scientifiques des chercheurs, des profits des institutions de recherche et académiques, des dynamiques industrielles locales et régionales, des politiques locales, ainsi que la proximité avec d'autres acteurs clés dans le domaine des MEMS, ont été des éléments propres au local qui déterminent des contextes qui ont rendu possible l'installation des infrastructures. Cela nous renvoie à prendre l'installation des nouvelles infrastructures pour le développement des MEMS sous une approche régionale. Pour essayer de prouver dans quelle mesure le contexte local crée des conditions pour l'installation des infrastructures scientifiques et technologiques, nous allons expliciter les dynamiques locales dans lesquelles les institutions qui ont accueilli les CD-MEMS et les LI-MEMS. Pour cela, nous allons présenter chacun des centres et laboratoires en soulignant les dynamiques déjà existantes dans les régions.

II.2.1. Les dynamiques régionales et locales dans les dix CD-MEMS et les trois LI-MEMS

La construction des dix CD-MEMS et des trois LI-MEMS a eu lieu dans des régions où des dynamiques économiques et sociales particulières ont rendu possible l'installation des infrastructures. Ces dix centres ont été installés dans dix états du Mexique, ces centres se concentrent sur trois régions : le Nord, le Bajío et le Centre (voir image 2.1). Cette différenciation est faite à partir des particularités économiques politiques et sociales de chaque région qui ont des influences sur les dynamiques dans la production et l'usage des nouvelles connaissances. Cela a déjà été signalé par une série de travaux publiés dans un ouvrage sous la coordination de Rosalba Casas (2001), qui se sont basés sur l'analyse des réseaux de connaissances dans plusieurs domaines à partir d'une approche régionale. Ces travaux académiques remarquent l'existence de différentes cultures de collaboration entre le Nord du pays, région caractérisée par ses relations industrie – académie étroites et solides, la région du Bajío, où ces relations sont moins importantes et la région Centre-Sud, où les relations de ce type sont très peu développées.

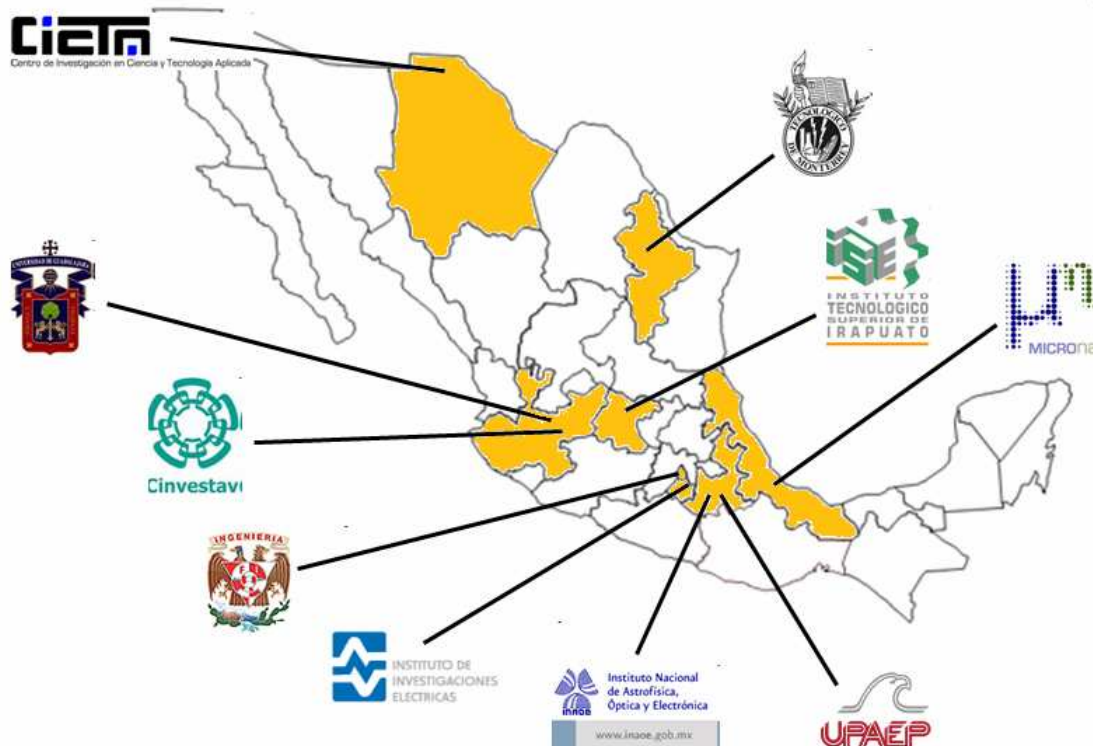


Image 2.1. Localisation des 10 CD-MEMS au Mexique.

Dans un de leurs travaux, Casas et Luna (2001) notent que le développement régional n'est pas homogène, car des villes et leurs agglomérations, des institutions académiques et des zones rurales spécifiques se distinguent plus que d'autres. Ces auteurs expliquent cela par des « circonstances historiques spécifiques où les institutions académiques au niveau régional développent des fonctions diverses dans les économies locales et nationales ». Pour le cas des CD-MEMS, nous observons l'importance de ces dynamiques locales lors de la constitution et justification de ces centres. Ensuite, nous allons expliciter chacun des CD-MEMS et LI-MEMS installés sur ces trois régions au Mexique.

II.2.1.1. La région Centre-Sud

Dans la région du Centre-Sud, seulement un centre de dessin a été installé dans la ville de Mexico, il s'agit du Centre de Dessin et de Modelé UNAMems, inauguré en 2005. En fait, ce CD-MEMS est le précédent de l'actuel laboratoire de MEMS de l'Université Nationale Autonome du Mexique qui est un projet plus ample de cette institution. Ce projet nommé UNAMems se compose de trois étapes, dont l'installation du CD-MEMS est la première. Les installations de ce centre se trouvent physiquement dans le Département d'Ingénierie Electronique de la Faculté d'Ingénierie de cette université. Actuellement, les activités de recherche dans le centre UNAMems s'organisent autour de quatre lignes : antenne RFID, senseur sur base en fibre optique, MEMS pour des système de résonance magnétique et BioMEMS pour des applications dans la médecine. Les deux premières lignes de recherche du centre UNAMems existaient déjà lors de l'arrivée du centre de dessin, elles se sont de ce fait intégrées au projet UNAMems. Les deux autres étapes du projet UNAMems s'inscrivent dans l'initiative du réseau des Laboratoires d'Innovation en MEMS de la FUMEC, et elles consistent en l'installation d'un espace pour la caractérisation et test de MEMS et un autre espace est dédié à la fabrication MEMS basés sur des polymères. Ce LI-MEMS compte avec deux salles blanches de classe 1000 et 100 sur une surface de 65m². Ces deux laboratoires constituent la plateforme du centre UNAMems pour la conception et fabrication de prototypes MEMS. La surface qui accueille ce centre est petite, environ 140m² sont destinés aux équipements de trois laboratoires : conception et simulation, fabrication et caractérisation. Les activités actuelles de l'UNAMems se concentrent à effectuer des

recherches sur la fabrication de dispositifs MEMS avec des matériaux biocompatibles et moins coûteux que d'autres matériaux tels que le silicium. Bien que les chercheurs de ce centre cherchent à diminuer les coûts de la fabrication en masse des MEMS, aucun projet de recherche n'est effectué en collaboration avec l'industrie.

Au Sud de la ville de Mexico, dans l'Etat de Morelos, un autre centre de dessin a été installé dans l'Institut de Recherches Electriques (IIE, pour ses sigles en espagnol). L'IIE est un centre de recherche du secteur de l'énergie, qui dépend du Ministère de l'Energie. Ce centre effectue des activités de recherche appliquée et de développement technologique, de formation de ressources humaines et de services dans le secteur électrique et de l'énergie. Ces activités sont organisées en six lignes : a. algorithmes de contrôle, b. électronique, c. communications, d. automatisation, systèmes de contrôle et de protection, e. intelligence artificielle, et f. laboratoire de contrôle et d'électronique. C'est dans le cadre de ce dernier que le centre de dessin de MEMS a été installé dans l'IIE.

À l'Est de Mexico se trouve l'État de Puebla, où deux CD-MEMS ont été construits. Dans la région de Puebla se localise le seul site de construction d'automobiles de la marque Volkswagen au Mexique, et ce site emploie 12,800 personnes. De plus, un total de 210 entreprises locales fournit près de 50% des pièces automobiles pour ce site de l'entreprise Allemande¹⁴. Ces quelques chiffres montrent l'importance de cette entreprise pour l'économie locale, importance qui se reflète également dans le fait que le développement des MEMS pour des applications dans l'industrie de l'automobile a été adopté par les pouvoirs locaux comme un des domaines stratégiques pour le développement local. C'est donc dans ce contexte qu'un CD-MEMS a été installé dans les locaux de l'INAOE, institut de recherche qui comptait déjà avec un laboratoire de microélectronique construit dans les années 70 pour répondre au besoin de circuits électroniques pour la construction de télescopes. Le CD-MEMS installé dans l'INAOE s'est inséré dans un projet de cet institut qui consiste en la construction du Laboratoire National de Nanoélectronique (LNN), dont une partie est financé par le Département du Développement

¹⁴ Source : <http://mx.volkswagen.com/>.

Economique de l'Etat de Puebla. Ce projet du LNN comprend deux étapes ; le CD-MEMS et le LI-MEMS de l'INAOE font partie de la première étape, qui consiste en la construction d'un laboratoire pour la fabrication de plaquettes de circuits intégrés en silicium pour des applications en MEMS entre autres. Ce laboratoire pour la fabrication de MEMS basés sur le silicium constitue le deuxième laboratoire du réseau LI-MEMS impulsé par la FUMEC.



Image 2.2. Couloir central des salles blanches du LI-MEMS de l'INAOE.
Source : <http://www-elec.inaoep.mx/Inn/estructura/LIMEMS.php>.

Le deuxième CD-MEMS se trouve dans l'UPAEP, qui est une université privée située dans la ville de Puebla. Cette université compte avec une politique qui cherche à favoriser le rapprochement avec l'industrie. Le CD-MEMS a été installé dans le Département d'Ingénierie et Technologies de l'Information, où réside la faculté d'électronique qui propose les cours d'ingénierie électronique, bionique et mécatronique. Le centre de dessin fait donc partie de la plateforme pour la formation des étudiants en ingénierie, mais aussi pour la formation de professionnels par le biais de séminaires proposés par l'UPAEP en coordination avec la FUMEC (voir chapitre IV). Le CD-MEMS de l'UPAEP fait aussi partie de la plateforme technologique du Centre de Services d'Haute Technologie de cette université, où des prototypes de MEMS pour des applications dans l'industrie automobile ont été

conçus. Les capacités installées dans l'UPAEP pour le développement de MEMS se limitent à la conception et la simulation par ordinateur des dispositifs, la fabrication des prototypes est effectuée ailleurs.

Sur la côte du Golfe du Mexique, un centre de dessin de MEMS a été installé dans la Faculté d'Ingénierie de l'Université de Veracruz. Dans la région où se trouve cette université, l'économie est basée sur les activités portuaires, la pêche, l'agriculture et l'extraction du pétrole. Avant l'arrivée du CD-MEMS dans l'Université de Veracruz, les activités de recherche dans la microélectronique et les MEMS étaient absentes dans cette région. L'évolution de ce CD-MEMS est intéressante car il est devenu le Centre de Micro et Nanotechnologie (Microna), centre qui actuellement est assez dynamique dans ces relations avec l'industrie. Le passage du CD-MEMS à Microna a été possible grâce aux collaborations avec l'industrie locale du pétrole. Ces collaborations ont donné jour à deux projets importants de développement de MEMS (cf. III.4.3.2). Ce passage a aussi été possible grâce au soutien de l'université et des pouvoirs locaux, qui convaincus des potentialités techniques et économiques des MEMS, ont investi dans l'expansion du jeune centre de recherche. Jusqu'en 2010, le centre Microna a obtenu le financement de vingt-quatre projets de recherche et développement technologique, dont six pour des applications industrielles spécifiques.

II.2.1.2. L'électronique et l'agriculture dans le Bajío

Au Nord de la ville de Mexico se localise la région connue comme le « Bajío »¹⁵, dans laquelle se trouve l'État de Jalisco. Dans l'agglomération de Guadalajara plusieurs entreprises spécialisées dans l'électronique se sont situées dans les années 70 grâce à un programme pour attirer les « maquiladoras » (Partida, 1996). Les activités productives dans l'électronique dans cette ville sont passées de l'assemblage de produits électroniques finis à la conception et fabrication des éléments électroniques, jusqu'à la fabrication de produits électroniques d'avant-garde, tels que les téléphones portables et les ordinateurs. Aujourd'hui, dans l'État

¹⁵ Le « Bajío » est une région géographique et culturelle du centre du Mexique qui comprend les états de Guanajuato, Michoacán, Querétaro et Jalisco.

de Jalisco nous pouvons observer une concentration des entreprises de l'électronique. Ce cluster compte avec huit entreprises du top 100 de l'industrie électronique mondiale, tels que Flextronics, Sanmina SCI, Solectron, entre autres. Et il compte également avec des centres de développement des entreprises comme Motorola, IBM, Intel, ST Microelectronics et Siemens VDO (Ham, 2007). En effet, au Mexique la région de Guadalajara est connue sous le nom du « Silicon Valley Mexicaine ». Même à la sortie de l'aéroport de Guadalajara, nous pouvons lire sur un panneau « bienvenus dans la Silicon Valley Mexicaine ». C'est donc dans ce contexte que deux centres de dessin de MEMS ont été installés dans cette région. Le premier dans le Centre de Recherche et d'Études Avancées (CINVESTAV) campus Guadalajara, centre de recherche qui se caractérise par ses relations et ses projets de recherche avec l'industrie électronique de la région. Il compte avec cinq groupes de recherche et de développement liés au développement de MEMS, dont un groupe de dessin électronique et un autre de télécommunications.

L'autre CD-MEMS a été installé dans l'Université de Guadalajara campus Ciénega. Les activités de recherche dans le campus Ciénega de l'Université de Guadalajara sont organisées en groupes de recherche, dont un groupe travaille autour des MEMS qui est nommé « développement microtechnologique ». Il s'agit d'un petit groupe créé en 2008 et formé par trois chercheurs, leurs activités de recherche se font principalement dans la conception et la simulation des dispositifs MEMS, et la fabrication de prototypes se fait par le biais des collaborations, comme par exemple avec les Laboratoires Sandia, le Centre National de Métrologie, ainsi qu'avec d'autres instituts du réseau CD-MEMS. Le même groupe de recherche en MEMS est impliqué dans des projets sur la technologie de systèmes embarqués qui est une technologie très proche de la technologie des MEMS. Ce CD-MEMS sert aussi comme plateforme à la formation de ressources humaines. Par exemple, dans le programme de Science de Matériaux de cette université le cours intitulé « Dessin de MEMS assisté par ordinateur » est proposé au niveau du Master et du Doctorat.

Un autre centre de dessin de MEMS a été installé dans l'Institut Technologique d'Etudes Supérieures d'Irapuato, dans l'Etat de Michoacán. Ce centre, qui a été créé en 2003, porte le nom de Centre de Recherche en Micro et Nano Technologies (CIDEMYNT) et ses activités s'organisent autour du développement

technologique, de la formation de ressources humaines et de la recherche scientifique. Ce centre se trouve également dans la région du « Bajío », qui se caractérise aussi par sa productivité agricole. Les projets en MEMS dans le CIDEMYNT sont orientés vers ce secteur. Actuellement, par exemple, ce centre développe des projets de recherche sur l'utilisation de la technologie MEMS pour la production du poivron.

II.2.1.3. Les dynamiques industrielles du Nord et la proximité avec les États-Unis

Dans le Nord du Mexique deux des CD-MEMS ont été installés sur la zone frontalière avec les États-Unis. La région du Nord est réputée pour la présence des *maquiladoras* de l'industrie de l'électronique, des télécommunications, de l'aérospatiale, du militaire, de l'électroménager, du biomédicale et de l'automobile, entre autres, le secteur le plus mature du côté mexicain est celui de l'automobile. Toutes ces industries sont des demandeurs potentiels de dispositifs MEMS et de ressources humaines très qualifiées dans ce domaine. Un autre facteur qui rend cette région importante pour le développement de MEMS est la proximité avec plusieurs laboratoires, universités et centres de recherche, tels que l'Université du Texas, l'Université du Nouveau-Mexique et les Laboratoires Sandia.

Dans ce contexte, un des deux CD-MEMS a été installé en 2003 à Monterrey, ville réputée par son haut niveau d'industrialisation, et ce dans l'Institut Technologique d'Etudes Supérieures de Monterrey (ITESM). Ce laboratoire se trouve dans le Département d'Ingénierie Electrique du campus de Monterrey qui est une institution d'éducation privée. Depuis le début de l'initiative du réseau de Centres de Dessin de MEMS au Mexique, l'ITESM s'est penché sur le développement de BioMEMS. Néanmoins, la stratégie de recherche de l'ITESM dans ce domaine se base sur le développement de BioMEMS et de MEMS pour l'industrie automotrice. Le laboratoire de Dessin de MEMS compte avec 42 postes informatiques et plusieurs logiciels pour l'analyse, la conception et la simulation des dispositifs MEMS. Ce laboratoire de dessin de MEMS fait partie de l'infrastructure de la cathèdre de BioMEMS de l'ITESM et les projets effectués se centrent sur des applications dans la biologie, le diagnostic médical (lab-on-chip) et les dispositifs pour l'automobile.

L'autre centre de dessin de MEMS qui est situé au Nord du Mexique se trouve dans l'Université Autonome de la Ville de Juarez (UACJ, pour ses sigles en espagnol). La Ville de Juarez est une ville frontalière aussi réputée pour accueillir un nombre important de *maquiladoras* et d'entreprises dans les domaines de l'électronique, de l'automobile, de l'aéronautique, entre autres. Certaines de ces entreprises comptent avec des centres de R&D et maintien des relations de collaboration dans la recherche et la formation de ressources humaines avec l'UACJ et d'autres institutions académiques et de recherche localisées de l'autre côté de la frontière, dans le Texas et le Nouveau Mexique. Le CD-MEMS installé dans l'UACJ comptait au moment de l'inauguration sept postes d'informatique équipés des logiciels spécialisés pour la conception et la simulation des MEMS. Ensuite, en 2006, dans le cadre de l'initiative de la construction des laboratoires d'innovation en MEMS, l'UACJ a lancé la construction d'un des trois LI-MEMS sous la direction du chercheur Dr. Mireles, un jeune chercheur spécialisé dans le développement des MEMS et qui actuellement est enseignant dans l'UACJ, l'Université de Texas en Arlington et l'Université de Texas en Le Paso. Les infrastructures des CD-MEMS et le LI-MEMS sont devenues la base pour la création en 2006 du Centre de Recherche en Science et Technologie (CICTA, pour ses sigles en espagnol). Le CICTA a été inauguré avec « l'objectif de permettre le développement, l'innovation et la transfert d'haute technologie de Microsystèmes à l'industrie ». Actuellement le CICTA compte avec une infrastructure technologique pour encapsuler, caractériser et tester des dispositifs MEMS. Cette infrastructure s'inscrit dans la suite du programme national pour le développement de MEMS impulsé par la FUMEC : CMM, cluster de MEMS du Paso del Norte. D'autre part, les activités du CICTA autour de MEMS concernent aussi la formation de ressources humaines spécialisées dans ce domaine.

Nous venons d'explicitier la création des dix CD-MEMS et des trois LI-MEMS qui constituent l'infrastructure pour le développement des dispositifs MEMS. La création de ces centres et laboratoires a été lancée par la FUMEC et cet organisme a eu plusieurs fonctions dans ces processus. Une fonction a été la promotion du développement des MEMS, où la FUMEC a mobilisé des informations sur les potentialités techniques et économiques de ces nouvelles technologies afin d'attirer les investissements pour l'installation d'infrastructures. La gestion des projets des CD-MEMS et LI-MEMS a été une autre fonction de la FUMEC, cela dans

l'administration des ressources économiques obtenues et dans le suivi des étapes de la construction des installations et la mise en place des instruments scientifiques. Une autre fonction clé dans ces processus qui a été accomplie par la FUMEC a été celle d'articuler les différentes parties prenantes dans les projets : décideurs politiques, chercheurs, fournisseurs des instruments, décideurs industriels, etc.

Jusqu'ici nous avons explicité la construction des infrastructures pour le développement des MEMS dans le cadre du Programme des Microsystèmes de la FUMEC. Il s'agit des infrastructures qui ont été organisées sous la forme de réseaux de collaboration. Cependant, les infrastructures disponibles pour le développement des MEMS dans le cadre du programme de la FUMEC ne concernent pas seulement les CD-MEMS et les LI-MEMS installés au Mexique. D'autres infrastructures déjà existantes de l'autre côté de la frontière ont été mise à disponibilité pour les activités de recherche dans le domaines des MEMS développées au Mexique, mais sous la forme d'un cluster. Dans le sous-chapitre suivant nous allons aborder la formation du cluster de MEMS du Paso del Norte, qui est formé par des infrastructures localisées près de la frontière des deux côtés de celle-ci.

II.3. Du réseau à l'agglomération scientifique

L'émergence des réseaux scientifiques n'est pas le seul phénomène dans l'organisation de la recherche que nous observons dans une économie globalisée. La concentration et l'agglomération de ressources scientifiques autour de domaines précis et sur des zones ou des régions spécifiques relèvent des questions sur les dynamiques sociales dans la science (Vinck, 2007). Dans l'émergence des nanotechnologies, Robinson *et al.* (2007) signalent la tendance à former deux types d'agglomération de plateformes technologiques : l'agglomération centralisée et l'agglomération distribuée. Cette dernière se distingue de l'agglomération centralisée car ses infrastructures sont installées sur toute une région déterminée et elle possède des caractéristiques typiques des réseaux scientifiques, telles que les facilités d'accès et d'usage, les convergences des intérêts scientifiques, ainsi que des références culturelles et sociales. Un autre facteur important dans les agglomérations distribuées est la proximité géographique entre les différents acteurs impliqués.

Avec la progression des micro et nanotechnologies au Mexique, le phénomène de l'émergence de ces deux types d'agglomérations est aussi présent ; cela principalement au Nord du pays, où par exemple, à Monterrey, près de la frontière avec le Texas, nous trouvons le Parc de Recherche et d'Innovation Technologique (PIIT, pour ses sigles en espagnol). Le PIIT peut être qualifié comme une agglomération centralisée, car il s'agit d'une concentration de divers centres et instituts publics et privés de recherche, ainsi que d'organismes intermédiaires et de locaux destinés aux rencontres des acteurs de l'industrie et de l'académie et à l'incubation de PME technologiques. Les cinq domaines « prioritaires, mais pas exclusifs », de la connaissance à développer dans le PIIT sont la biotechnologie, la nanotechnologie, la mécanique, les TIC et la santé. Il est intéressant de remarquer que le PIIT fait partie d'un programme impulsé par les pouvoirs locaux nommé « Monterrey ville internationale de la connaissance ».

Concernant les agglomérations distribuées, des initiatives de ce type dans le domaine des micro et nanotechnologies ont vu le jour au Mexique, telles que le Centre International pour la Nanotechnologie et les Matériaux Avancés et le cluster de MEMS du Paso Norte. Ce dernier est un exemple d'agglomération distribuée intéressant à présenter car il concerne directement le développement de MEMS.

II.3.1. Le cluster de MEMS du Paso del Norte

Le cluster de MEMS du Paso del Norte s'inscrit dans le cadre du Laboratoire Binational de Sustentabilité (BNSL). Avant d'aborder le point sur le cluster de MEMS, il est pertinent d'explicitier le BNSL, qui est une initiative issue d'un programme de la FUMEC formulé au début de ce siècle. Ce programme vise la « collaboration transfrontalière pour la promotion de centres de recherche et entreprises d'haute technologie » (FUMEC, 2002). La proposition de la création du BNSL a été rédigée par le Comité Directeur de la FUMEC, le texte a été envoyé aux institutions des Etats-Unis et du Mexique afin d'avoir le financement pour la construction du BNSL. Donc, en mobilisant son réseau de contacts, la Fondation a réussi à obtenir des ressources économiques de l'Agence du Développement Économique des Etats-Unis et du CONACYT (du côté mexicain) pour financer le projet du laboratoire. La gestion et le déroulement du projet ont été assurés par la Fondation même. L'objectif

principal du Laboratoire Binational est de « promouvoir le développement économique soutenable à long terme, basé sur la technologie, sur la zone de la frontière entre le Mexique et les Etats-Unis » (FUMEC, 2006). Ce laboratoire se trouve physiquement à Santa Teresa, au Nouveau-Mexique, où ses locaux ont été inaugurés en 2005 ; cependant les activités du BNLS ont commencé avant cette date. Actuellement, le BNLS travaille autour de trois domaines définis comme stratégiques, dont fait partie celui du développement de MEMS qui se centre sur la constitution du cluster d'emballage de MEMS du Paso del Norte (*Paso del Norte Regional MEMS Packaging Cluster*). L'objectif de ce cluster de MEMS est de créer un corridor technologique entre les villes d'Albuquerque, Nouveau-Mexique et de Chihuahua. Au milieu de ce corridor se trouve la région Ciudad Juárez – El Paso, où l'Université Autonome de Ciudad Juárez et l'Université de Texas à El Paso ont des fonctions importantes (Foladori et Záyago, 2008).

Le cluster de MEMS du Paso del Norte est constitué par des institutions académiques, des laboratoires publics de recherche et des entreprises situés sur la zone frontalière. Les institutions qui forment ce cluster sont l'Université de Texas à El Paso, l'Université de l'État du Nouveau-Mexique, l'Université Autonome de Ciudad Juárez (UACJ), l'Institut Technologique d'Etudes Supérieures de Monterrey campus Ciudad Juarez (ITESM), l'Institut de Technologie du Nouveau-Mexique, le Collège de la Communauté de Nouveau-Mexique, le Collège TVI, les Laboratoires Nationaux Sandia, le Centre de Recherche de Matériaux Avancés (CIMAV), le *White Sands Missile Range*, Delphi, Team Technologies et le BNSL (BNSL, 2006). De cette liste d'instituts et centres de recherches, les intérêts de l'industrie de l'armement se distinguent. Mais il est aussi important de souligner la présence d'entreprises technologiques dans le cluster.

II.3.1.1. Les facilités des infrastructures au centre du cluster de MEMS

L'objectif de ce cluster se focalise sur la recherche, le développement des produits et la commercialisation de dispositifs MEMS. Rappelons-nous que le développement de ces technologies demande des ressources matérielles scientifiques et techniques très spécialisées, dont la disponibilité est restreinte. La formation du cluster de MEMS du Paso del Norte est fondée sur une série d'accords institutionnels autour de la mise à disposition, dans les institutions qui forment ce

cluster, des différentes infrastructures scientifiques et techniques déjà disponibles et en construction. Pour les institutions du côté mexicain, ce cluster est central dans le développement des dispositifs MEMS ; cela parce que les infrastructures scientifiques et techniques installées du côté des Etats-Unis représentent une solution pour pallier le manque d'infrastructures disponibles au Sud de la frontière. Dans le chapitre III, nous allons approfondir la problématique de l'accès aux plateformes scientifiques. Ici, nous signalons seulement que le cluster de MEMS, qui est considéré comme une partie de l'infrastructure disponible pour le développement des MEMS au Mexique, est fondé sur des facilités scientifiques et techniques.

Lors des négociations de ces accords qui ont pu rendre possible la conformation de ce cluster, la FUMEC a été un organisme intermédiaire entre les divers acteurs scientifiques, politiques et économiques. Cela grâce au bureau de la FUMEC à El Paso, Texas, bureau qui se focalise sur les affaires et les projets de la zone frontalière, dans lesquels la FUMEC est impliquée. Le Directeur de ce bureau est Michael Acosta, qui est un acteur clé dans la constitution et la promotion du cluster et du BNSL. Par exemple, une de ces dernières activités dans le cadre du BNSL a été sa participation à la conférence COMS 2010¹⁶ pour promouvoir et exposer les avancements du cluster de MEMS du Paso del Norte. Cet agent de la FUMEC a une trajectoire professionnelle qui s'est déroulée au milieu d'institutions académiques, d'institutions de recherche et d'entreprises au Texas, ce que lui a permis d'avoir une position importante pour les créations du cluster et du BNSL.

II.3.1.2. La proximité géographique entre les infrastructures

Un des objectifs de concentrer les capacités scientifiques et technologiques est de mettre face à face les différentes parties impliquées dans les processus d'innovation technologique, afin de stimuler les collaborations. Dans la littérature de l'économie de l'innovation, la proximité géographique (ou la distance spatiale) est reconnue comme un des facteurs pour faciliter les collaborations (Luukkonen *et al.*,

¹⁶ COMS est une conférence annuelle organisée par la MANCEF. L'objectif de ce meeting est de réunir des acteurs scientifiques, gouvernementaux et industriels autour d'activités de commercialisation des micro et nanotechnologies.

2006, Robinson *et al.*, 2007). Cependant, des études sur les collaborations européennes dans le domaine des micro et nanotechnologies ont constaté l'importance de la distance sociale (Autant-Bernard *et al.*, 2007). Cela reflète la question de distance spatiale versus distance sociale dans les dynamiques des collaborations en R&D. Dans le chapitre suivant, nous allons analyser certains facteurs qui ont été pris en compte lors des choix pour établir les collaborations scientifiques autour du développement des MEMS au Mexique.

Concernant la proximité géographique, dans notre travail nous avons confirmé que la position géographique est importante dans les collaborations dans la région du cluster de MEMS du Paso del Norte. Cette importance est liée aux infrastructures disponibles dans les institutions étasuniennes qui font partie du cluster, telle que les Laboratoires Nationaux Sandia. En fait, il est connu que ces laboratoires comptent avec des installations scientifiques et techniques très avancées pour le développement des MEMS et que les ressources destinées à la recherche dans ce domaine sont très importantes en termes de financement et de ressources humaines (Freiburghouse, 2001). L'accès à ces infrastructures scientifiques et technologiques n'est pas négligeable pour les scientifiques mexicains.

La création du cluster de MEMS du Paso del Norte a eu lieu parallèlement à la création des CD-MEMS impulsée aussi par la FUMEC. Cependant, malgré la construction, sur le territoire mexicain, des laboratoires pour le dessin et, plus tard en 2005, pour la fabrication et le test des dispositifs MEMS dans le territoire mexicain, l'accès aux infrastructures des institutions étasuniennes continue à avoir une place importante. En effet, les infrastructures installées au Mexique ne sont pas suffisantes pour assurer la fabrication de certains types de dispositifs MEMS. Cela pose le problème d'une dépendance technologique avec des capacités installées aux Etats-Unis.

Les relations maintenues entre l'UACJ et les Laboratoires Nationaux Sandia et l'Université du Texas en Austin confirment l'importance de la proximité géographique dans les collaborations. De toutes les institutions mexicaines de recherche qui font partie du cluster de MEMS et des réseaux CD-MEMS et LI-MEMS, c'est le CICTA de l'UACJ qui collabore le plus avec les institutions étasuniennes du cluster de MEMS.

L'importance de la proximité géographique est confirmée par le Directeur de l'entreprise technologique Team Technologies, une start-up mexicaine en MEMS située à Ciudad Juárez. Quand nous lui posons la question sur l'infrastructure technique de l'entreprise, l'interviewé nous répond :

« Au départ on n'a pas besoin d'avoir nos propres laboratoires, ce dont nous avons besoin est avoir l'accès aux installations et capacités, et surtout quand on travaille sur des dessins. Maintenant, ce qu'on fait c'est développer la propriété intellectuelle dans l'entreprise et les procédés de fabrication en ayant accès directement aux infrastructures pour fabriquer les MEMS. On travaille avec les installations d'autres personnes, celles des universités » (Rodríguez, 2011).

Ensuite dans la conversation, l'entrepreneur de Team Technologies affirme que la région de Ciudad Juárez (El Paso del Norte) est intéressante pour le développement de MEMS, car il s'agit d'une région où il y a des capacités en ressources humaines hautement qualifiées, la présence de l'industrie de base technologique dans la zone frontalière (principalement l'automotrice du côté du Mexique et celle de l'armement du côté des États-Unis) et des installations scientifiques pour les MEMS dans les institutions de recherche des États du Nouveau-Mexique et du Texas aux États-Unis.

II.3.1.3. La place du secteur privé dans le cluster de MEMS

L'existence et la formation de nouvelles entreprises (par exemple, des *start-ups*) contribuent également à la reconnaissance d'opportunités pour la formation d'agglomérations technologiques (Robinson *et al.*, 2007). Dans le cas des MEMS au Mexique, la présence des entreprises technologiques tout au long de la frontière a constitué un des principaux arguments pour justifier l'installation des infrastructures pour le développement des MEMS. Rappelons que l'étude de prospective pour les MEMS effectuée au début par la FUMEC a montré l'existence d'entreprises intéressées par le développement des MEMS (cf. I.2.2). En plus, nous pouvons retrouver ces arguments dans les rapports d'activités (FUMEC, 2002, 2004 et 2006) et sur le site Web du programme TechBA de la FUMEC.

Dans le cluster de MEMS du Paso del Norte, l'industrie a une place importante. Nous avons déjà évoqué la présence de la *start-up* Team Technologies, qui est considérée comme la première entreprise mexicaine spécialisée dans la conception des MEMS. La création de cette entreprise a été suivie et soutenue par la FUMEC et a eu le soutien financier du SE. Les principales activités de Team Technologies sont la conception et la fabrication de prototypes de MEMS et, comme nous l'avons dit antérieurement, elle utilise les infrastructures techniques disponibles dans les diverses institutions de recherche et d'éducation qui font partie du cluster de MEMS. Cette entreprise a travaillé sur des projets pour l'application des MEMS avec d'autres entreprises mexicaines localisées au centre du pays. En plus, une deuxième entreprise avec un capital mexicain a été créée avec des bureaux dans la ville El Paso aux États-Unis. Il s'agit de Senda Micro Technologies, entreprise fondée par les mêmes entrepreneurs de Team Technologies. L'objectif de cette deuxième entreprise est la commercialisation, aux États-Unis, des dispositifs MEMS conçus du côté mexicain (Rodríguez, 2011).

D'autre part, les entreprises localisées dans la région frontalière du côté mexicain sont principalement des *maquiladoras*, dont certaines comptent avec des centres du développement de produits. Une de ces entreprises est Delphi, entreprise du secteur équipementier qui compte avec un centre de R&D à Ciudad Juarez, nommé *Mexican Technical Center* (MTC). Ce centre a été installé en 1995 avec l'objectif d'apporter un soutien technique et de développer des activités de R&D pour les 57 sites de fabrication localisés au Mexique. Actuellement, ce centre compte avec entre autres des laboratoires de chimie, de physique, d'électronique, de mécanique (Cruz, 2007). Depuis sa création, le MTC a produit plus de 200 brevets sur les airbags et divers types de senseurs pour l'automobile. En 2002, il employait 2 129 ingénieurs et techniciens autour d'activités autres que le R&D, telles que la coordination d'autres centres de R&D et la fabrication de l'entreprise Delphi, ce qui a fait que Delphi soit caractérisée comme *maquiladora* de quatrième génération (Carrillo et Lara, 2004). Enfin, Delphi fait aussi partie du cluster de MEMS d'El Paso, et cette entreprise maintient des relations de collaboration étroites avec l'ITESM (campus Ciudad Juárez) et l'UACJ, qui passent par le biais d'étudiants en formation. En plus, l'entrepreneur qui a créé Team Technologies a été employé comme ingénieur dans le MTC de Delphi. Dans le cadre du cluster de MEMS d'El Paso, le

MTC de Delphi ne fait pas seulement partie de l'infrastructure, mais cette entreprise est aussi considérée comme un client potentiel pour la commercialisation des dispositifs MEMS pour l'automobile.

II.3.1.5. La place de l'industrie de l'armement dans le cluster de MEMS

La présence des entreprises comme Delphi et autres de divers secteurs, dont celui de l'électronique, font que la région Ciudad Juárez – El Paso est attractive pour le développement et la commercialisation de la technologie des microsystèmes. Du côté des Etats-Unis, le profil de l'industrie est très différent de celui du côté Sud de la frontière. Dans le corridor technologique du cluster de MEMS d'El Paso, le secteur militaire a une présence remarquable du côté des Etats-Unis. D'une part, les Laboratoires Sandia, qui font partie du cluster de MEMS et sont associés du BNSL, sont connus pour leurs activités de recherche militaire aux Etats-Unis. Ces laboratoires, créés en 1949, se trouvent à Albuquerque, au Nouveau-Mexique, et leurs activités de recherche et développement sont organisées autour de six domaines, dont celui des technologies de la microélectronique et des microsystèmes.

Un autre acteur du secteur militaire dans le cluster de MEMS d'El Paso est le *White Sands Missile Range (WSMR)*, qui est le site militaire le plus grand aux Etats-Unis, réputé pour être le lieu de fabrication et de test de la première bombe atomique du monde en juillet 1945. Le WSMR se localise au Nouveau-Mexique (environ 70km au nord d'El Paso (Texas). Il compte avec des plateformes scientifiques et technologiques dans lesquelles des services d'expérimentation, de test, de recherche, d'évaluation, de développement et de formation de ressources humaines sont effectués autour du domaine de l'armée¹⁷. En plus, dans le premier chapitre nous avons déjà évoqué le poids de l'industrie de l'armement dans le développement des MEMS (cf. I.1.2).

Enfin, l'intérêt de faire partie du cluster de MEMS d'El Paso est des deux côtés. Ces acteurs du secteur de l'armement ne constituent pas seulement une

¹⁷ Information obtenue dans le site Web du WSMR : <http://www.wsmr.army.mil/Pages/Home.aspx>

infrastructure et les facilités d'accès pour les chercheurs mexicains, mais les capacités scientifiques en ressources humaines localisées au Mexique sont aussi intéressantes pour les acteurs de la recherche militaire des Etats-Unis. En effet, les projets de recherche effectués en collaboration entre les Laboratoires Sandia et les institutions de recherche mexicaines impliquées dans le développement de MEMS constituent une preuve de ces intérêts. Dans ce contexte, la FUMEC a eu des fonctions importantes dans ces relations avec les Etats-Unis qualifiées, par Foladori et Záyago (2008), comme scientifico-militaires, ceci pour sa participation à la création du BNSL et du cluster de MEMS d'El Paso.

II.4. L'installation des infrastructures scientifiques et technologiques pour les MEMS sans une politique nationale

L'arrivée de nouvelles sciences et technologies requiert l'installation des plateformes scientifiques et technologiques pour développer des activités de R&D, pour la formation de ressources humaines et pour le transfert des nouvelles connaissances. Lors des premières étapes de l'installation des nouvelles technologies, le financement pour les infrastructures nécessaires provient traditionnellement de l'État (Pérez, 2004). Cette fonction de financer la science et la technologie de la part de l'État est amplement reconnue (Pérez, 2004 ; OCDE, 1997 et 2003b). Cette fonction, ainsi que d'autres comme celle sur la régulation dans la gouvernance de la recherche, passe par le biais de politiques en science et technologie et leurs mécanismes pour les appliquer. Divers travaux académiques ont déjà signalé l'importance de ces politiques et leur relation étroite avec les politiques industrielles et économiques qui font partie des stratégies pour le développement d'un pays ou d'une région (Sabato, 1997 ; Lesemann, 2008 ; Casas *et al.*, 2000).

Un des exemples les plus récents des politiques et du financement public des infrastructures pour la recherche est le *National Nanotechnology Initiative* (NNI) aux Etats-Unis, qui est une initiative développée par le *National Science Foundation*, et par d'autres agences gouvernementales et qui a été lancée en 2001. Un des quatre buts de la NNI est le développement et le maintien d'infrastructures de recherche. En 2007, cette initiative impliquait 25 agences gouvernementales et, en coordination

avec ces agences, elle a permis l'installation d'infrastructures dans tout le pays (NSTC, 2007). Actuellement c'est le *National Science and Technology Council*, l'organisme chargé de coordonner la politique en science et technologique aux Etats-Unis, qui définit le plan stratégique de la NNI. Cette initiative fait donc partie de la politique étasunienne en science et technologie. En plus, elle est accompagnée chaque année d'un budget pour atteindre ses objectifs et c'est dans les contextes locaux des agences gouvernementales que les activités de recherche (dont l'installation d'infrastructures) s'inscrivent et la politique du développement des nanotechnologies est appliquée par le biais des mécanismes propres aux agences coordonnées dans la NNI. Par exemple, le *Department of Energy* a construit cinq centres de recherche en nanotechnologies (les *Nanoscale Science Research Centers*) avec le soutien du budget obtenu dans le cadre de la NNI (de Lassus, 2009).

Suite au lancement de la NNI, les politiques ou programmes nationaux pour le développement des micro et nanotechnologies ont proliféré dans le monde. En Amérique Latine, par exemple, le Brésil a lancé en 2004 le Programme de Nanoscience et Nanotechnologie dans le cadre du plan de développement du pays. Autre pays latino-américain qui compte avec une initiative nationale est l'Argentine, il s'agit de la Fondation Argentine de Nanotechnologie créée en 2005 (Andrini et Figueroa, 2008). L'installation des nouvelles infrastructures pour le développement des MNT, dont les dispositifs MEMS, est compris dans les cadres de ces initiatives. Ces exemples suggèrent que les politiques ou plans stratégiques sur les MNT sont un facteur central pour l'installation des infrastructures de recherche.

Dans les deux premières parties de ce chapitre, nous avons évoqué la construction des laboratoires pour le dessin, la fabrication et le test des dispositifs MEMS, ces laboratoires constituent l'infrastructure pour le développement des MEMS qui s'inscrit dans le Programme de Microsystèmes de la FUMEC. En plus, d'autres laboratoires pour le développement des MNT ont été installés au Mexique cette dernière décennie. Une différence marquée entre l'installation de ces infrastructures de recherche au Mexique et celles au Brésil et en Argentine réside dans l'absence d'une politique ou d'un programme national spécifique pour le développement de ces sciences et technologies émergentes. Néanmoins, le

financement de l'infrastructure installée au Mexique provient du secteur public. Ici, la question qui se pose est alors la suivante : comment, sans avoir une politique nationale ou un programme stratégique sur les MNT, l'installation d'infrastructures de R&D, pour ces technologies, a lieu au Mexique ? Pour aborder cette question, dans cette partie du chapitre, nous allons analyser les relations de la FUMEC avec les pouvoirs publics qui lui permettent d'obtenir leur soutien économique pour financer l'infrastructure pour le développement des MEMS. Nous nous intéressons également aux mécanismes que la FUMEC a mobilisé pour l'installation d'infrastructures.

II.4.1. L'implication du Ministère de l'Économie et la reconnaissance de la technologie de MEMS comme un domaine stratégique

L'infrastructure scientifique et technologique pour la recherche en MEMS est constituée de laboratoires équipés d'instruments et d'équipements coûteux pour effectuer la conception, la synthèse et la caractérisation des dispositifs MEMS. L'installation et le fonctionnement de certains de ces instruments requièrent des locaux avec des environnements très particuliers ; où par exemple l'air doit être libre de particules de poussière. Ces espaces sont connus comme « salles blanches » et les dépenses pour les construire peuvent excéder celles des instruments scientifiques installés à l'intérieur. Dans un pays comme le Mexique, le seul secteur qui peut assumer un tel investissement est le secteur public.

La FUMEC est consciente de cela, et en 2003 elle a eu l'opportunité de présenter son programme et d'attirer l'attention du Gouvernement Fédéral sur le développement des MEMS. Cela s'est fait lors d'un événement organisé par la FUMEC même, le CONACYT et l'entreprise transnationale AMD, pour promouvoir la collaboration entre des entreprises hispaniques basées sur des innovations technologiques situées aux États-Unis et des entreprises, des universités et des centres de recherche mexicains. Lors de cet événement le Président du Mexique et le Ministre de l'Économie ont assisté à l'exposition du « Programme de Microsystèmes » de la FUMEC et le Président a exprimé un vif intérêt.

Après ce premier contact, la Fondation a réussi à convaincre le Ministre de l'Économie de considérer le développement des microtechnologies comme une

opportunité de développement du pays. Pour cela, une série d'arguments sur les potentialités, principalement économiques, des MEMS a été mobilisée. Le résultat a été que la technologie de microsystèmes a été définie comme un domaine stratégique pour le pays. L'impact économique et social des technologies a donc du être au centre de l'argumentation pour justifier un investissement public. Lorsque nous demandons à la responsable du programme si les initiatives de la FUMEC pour le développement des microsystèmes répondent aux besoins et problématiques locales, elle nous répond:

« (...) dans le cas des microsystèmes, pendant la période présidentielle antérieure nous avons réussi à faire que le Ministre de l'Économie l'établisse comme un secteur stratégique et cela nous a beaucoup aidé pour donner une impulsion aux activités qui ont eu lieu. Cette année (2008), le focus est plus axé vers la nanotechnologie et donc nous avons besoin d'apprendre à avoir un langage où la technologie peut être expliquée de telle façon que le gouvernement la traduise en termes de bénéfices pour les entreprises, les emplois et les opportunités »
(Avendaño, 2008)

C'est de cette manière que le développement de la technologie de microsystèmes a été considéré comme une opportunité stratégique pour le Mexique. Au cours du Programme de Microsystèmes de la FUMEC, le Ministère de l'Économie a donc été la principale source économique dans la mise en place des initiatives. Le tableau 2.1 montre les projets en MEMS financés (et co-financés) par le Ministère de l'Economie entre 2004 et 2006, le total des investissements confirme l'importance de cet acteur car il a investi un peu plus du 63% du total. Tous ces financements se sont inscrits dans le cadre des Fonds PYMES de ce Ministère.

Projet	Nom du projet	Organismes intermédiaires	Montant, miles de pesos mexicains (fonds apportés par d'autres organismes)
FP2006-1237	Laboratoire d'innovation pour la fabrication à petite échelle de MEMS à Puebla.	FUMEC	\$ 13,459.8
FP2006-86	Transfert de technologie du memscap à l'entreprise mexicaine Team Technologies pour la fabrication de MEMS.	FUMEC	\$ 6,000.0
FP2006-1233	Programme de renforcement des capacités et création d'un cluster de MEMS dans l'état de Puebla	FUMEC	\$ 3,750.0
FP2006-2179	Renforcement du cap-mems pour faciliter l'usage et les applications de MEMS par des entreprises mexicaines et l'intégration de clusters.	FUMEC	\$ 1,500.0
FP2005-1618	Soutien au projet "Développement d'un prototype technique d'un micro-doseur de médicaments basé sur la technologie MEMS de la micro-fluidique"	FUMEC, SEDECO Puebla, UPAEP	\$ 368,000.00 (\$ 552,000.00)
FP2005-142	Soutien au projet "Développement d'un Laboratoire d'Innovation Technologiques de MEMS"	SE, FUMEC	\$ 36,000,000.00 (\$ 21,990,072.00)
FP2005-171	Établir les bases et procédés de collaborations pour le projet intitulé « Renforcement des capacités du CAPMEMS qui envisagent l'Intégration et l'Articulation Productive avec les MIPYMES	SE, FUMEC	\$ 4,675,000.00 (\$ 2,972,852.00)
FP2005-60	Établir les bases et procédés de collaborations et coopération, pour le soutien et le déroulement du projet intitulé « Projet intégral d'innovation et de développement technologique de MEMS »	SE, FUMEC	\$ 2,600,000.00 (\$ 1,850,000.00)
FP2004-399	Soutien au projet: équipement, intégration et développement d'un centre d'articulation productive de technologies MEMS	FUMEC	\$ 4,553,300.00
Total			\$ 48 221 009.80 (\$ 27 364 924.00)

Tableau 2.1. Projets financés et co-financés entre 2004 et 2006 par le Ministère de l'Economie dans le cadre du Programme de Microsystèmes de la FUMEC (SE, 2010b).

Ici, il est important de souligner que la reconnaissance de la technologie des microsystèmes comme stratégique est restée à l'intérieur du Ministère de l'Économie. Le développement des MEMS n'a jamais figuré dans le Programme National du Développement, ni dans les Programmes Spéciaux de Science et Technologie (PECYT, 2002; PECYT, 2008) comme un domaine stratégique. Cependant, d'autres technologies liées aux MEMS ont été reconnues dans ces programmes, par exemple, les matériaux avancés, la nanotechnologie et l'électronique, mais ces reconnaissances sont limitées car les programmes de science et technologie manquent de mécanismes explicites pour appliquer les politiques formulées.

II.4.2. Les pouvoirs locaux

Une autre source importante du financement des infrastructures a été apportée par des organismes locaux du secteur public. Des programmes et des politiques locales en science et technologie favorisent le développement de certaines technologies dans les États et les régions. En fait, des travaux en sciences sociales ont montré, avec une approche régionale, l'existence de différentes façons d'orienter la recherche en fonction des relations entre les divers secteurs (Casas, 2001). D'un côté, des institutions gouvernementales et locales définissent les stratégies sectorielles avec des mécanismes pour les appliquer, et d'un autre côté, les autres secteurs (académiques et productifs, entre autres) répondent en adhérant à ces stratégies. En plus, il est assez fréquent que ces stratégies locales soient définies entre des acteurs provenant de différents secteurs. Une des activités de la FUMEC consiste à identifier les secteurs et les régions où ses programmes peuvent être appliqués. Ces activités sont la plupart du temps des études de marché et des *roadmaps* technologiques. Pour le cas du développement des MEMS, ces études ont permis à la FUMEC d'identifier les secteurs et les régions clés. Cela est confirmé dans un des projets du Programme de Microsystèmes, dans lequel nous pouvons lire:

« (...) comme résultat des actions en MEMS au Mexique, on a détecté trois régions où des groupes et des réseaux d'institutions sont intéressés pour participer et soutenir une stratégie régionale de MEMS. Ces États sont Puebla, Jalisco et Nuevo León. Dans les cas de Puebla et

Monterrey, le secteur d'opportunités pour réaliser une incursion est BioMEMS, et dans les deux cas, les institutions de leurs Départements de Développement et Conseils de Science et Technologie sont intéressés pour soutenir un programme régional en MEMS. A Jalisco, les niches d'opportunités sont les Télécommunications et les BioMEMS, et les institutions qui participeraient sont le COECYT-Jalisco et possiblement un groupe d'entreprises du domaine pharmaceutique » (SE, 2010a).

Une fois que des régions et des secteurs ont été identifiés, la Fondation s'approche des décideurs des pouvoirs locaux et des secteurs afin de positionner ses programmes. En fait, pour le Programme de Microsystèmes la participation des pouvoirs locaux a également été importante dans certaines initiatives.

Ensuite, nous allons présenter le cas du Laboratoire de Nanoélectronique de l'INAOE, dans l'État de Puebla, pour illustrer la participation des pouvoirs locaux dans le financement des infrastructures pour le développement des MEMS et qu'elle a été la place des études de prospective technologique effectuées par la FUMEC.

II.4.2.1. Le Laboratoire National de Nanoélectronique dans le Plan Stratégique de l'État de Puebla

Le développement du projet du Laboratoire National de Nanoélectronique à l'INAOE, dans l'État de Puebla, illustre bien la participation des pouvoirs locaux dans l'installation d'infrastructures scientifiques et technologiques pour le développement de MEMS. Le projet du LNN a été annoncé à l'intérieur de l'INAOE au début de ce siècle ; à ce moment là l'objectif principal du projet était de renouveler l'infrastructure existante du laboratoire de microélectronique de cet institut public de recherche. La donation d'une ligne de fabrication de plaquettes de circuits intégrés de Motorola, dans le cadre du programme *LatinChip*, a été le véritable déclencheur pour lancer le projet du LNN. Ensuite, l'installation du CD-MEMS et LI-MEMS, initiative de la FUMEC, s'est inscrite dans le projet du LNN.

Ce projet comprend la construction de deux bâtiments ; dans le premier, destiné aux activités de recherche, il est prévu une salle blanche de 800m² (classe 10, 100 et 1000) et une salle de caractérisation de 225m², entre autres espaces, on arrive au final à un total de 1600m² destinés aux locaux à usages divers. Dans le

deuxième bâtiment (2000m²), destiné aux activités de transfert de technologie vers l'industrie, une ligne de production de dispositifs et circuits intégrés en Silicium sera installée et mis à disposition pour l'industrie et la formation des ressources humaines. Un des objectifs du LNN est celui de former des techniciens et ingénieurs dans les nouvelles technologies de fabrication de la microélectronique pour répondre à la demande de l'industrie installée au Mexique et d'autres centres de recherche et universités.

Vue l'envergure du LNN, le projet a été divisé en deux phases (une phase correspond à chaque bâtiment). La première phase comprend le LI-MEMS, dont nous avons déjà parlé dans ce chapitre (cf. II.2.1.1.). La deuxième phase du LNN est constituée par l'installation du Laboratoire de Manufacture de MEMS à Petite Échelle (LMMPE, pour ses sigles en espagnol), qui comprend un bâtiment destiné à accueillir la plateforme scientifique et technologique pour la fabrication des circuits intégrés, des systèmes sur puces (*system on chip*, SOC), des MEMS, entre autres produits de la microélectronique. Dans ce laboratoire, il est prévu une aire de 2000 m² équipée de salles blanches de classe 10 et 100, ainsi que 200 m² pour un laboratoire de caractérisation. A part la fabrication des petits lots de composants électroniques, des circuits intégrés et des MEMS, l'infrastructure du LMMP est prévue pour effectuer de la recherche et des activités pour la formation de ressources humaines spécialisées dans le domaine de la microélectronique et des MEMS.

Le financement pour l'infrastructure de LNN provient du secteur public. Trois quarts du laboratoire LI-MEMS, première phase du LNN, a été financé par le Ministère de l'Économie et le reste par l'État de Puebla, via le Secrétariat du Développement Économique de cet État (SEDECO). Pour la construction du LMMPE, deuxième phase du LNN, le SEDECO a apporté le budget pour l'achat du terrain sur lequel le laboratoire est en train d'être construit. La construction du bâtiment est financée par la SEDECO et le SE. Jusqu'au milieu de 2010, l'investissement pour ce laboratoire montait à environ 1 820 000 euros, dont 44% ont été apportés par le SE, le SEDECO a financé environ 44% et le reste a été fourni par l'INAOE.

Finalement, la participation du gouvernement de l'État de Puebla est assez importante dans la construction du LNN. Ce soutien a été possible parce que l'institution gouvernementale de l'État de Puebla, chargée d'appliquer le Plan Stratégique pour le développement de cet État (le SEDECO), a considéré le développement de MEMS comme une fenêtre d'opportunité pour la région. Rappelons qu'un des piliers des activités industrielles de la région est l'industrie de l'automobile, qui requiert un nombre considérable de dispositifs MEMS. En plus, il est aussi important de noter que les décisions d'investir dans le domaine de MEMS de la part du SEDECO, se basent sur les capacités scientifiques et la formation de ressources humaines déjà existantes dans l'INAOE et d'autres institutions de recherche et d'éducation localisées dans la région de Puebla (UPAEP, BUAP, UDLAP, ITESM et l'UTP). Ces potentialités du marché pour les MEMS et ces capacités pour le développement de ces technologies à Puebla ont été identifiées dans une étude de prospective intitulée « *Strategic Plan for MEMS based Technological, Scientific and Economic Development for Puebla, 2006-2015* », effectuée par le *SRI International*¹⁸ et financée par la FUMEC.

II.4.3. Décideurs et institutions politiques, des alliés stratégiques: le réseau politique de la FUMEC

Les exemples évoqués antérieurement montrent comment la FUMEC a réussi à attirer le financement pour l'installation des infrastructures de recherche nécessaires pour le développement de MEMS au Mexique. Tout au long de son parcours, la FUMEC a constitué une liste de contacts des décideurs clés dans les secteurs public, académique et privé. Ces contacts sont mobilisés s'il est nécessaire,

¹⁸ Le SRI (*Stanford Research Institut*) International est un institut de recherche à but non lucratif, créé en 1964 à l'Université de Stanford, aux États-Unis, et indépendant de cette université en 1970. Cet institut effectue des services de recherche et développement pour des agences gouvernementales, des entreprises privées, des fondations, et autres organismes, et il est organisé en cinq divisions : systèmes et ingénierie, politique, science de l'informatique et de l'information, biosciences, sciences physiques. Le SRI International compte avec plusieurs laboratoires de R&D, dont le *MicroSystems Engineering Center*, et avec des consultants spécialisés dans les études de prospective de nouvelles technologies et innovations.

donc toutes ces relations forment un réseau que nous qualifions ici de « réseau politique », dans le sens que ces acteurs ont un poids important dans les prises de décisions au gouvernement et aussi dans d'autres organismes où la présence des acteurs du secteur privé n'est pas négligeable ; par exemple les Conseils des États (locaux) de Science et Technologie, dont les membres proviennent de l'Académie, de l'Industrie et du Gouvernement.

La FUMEC fait alors des efforts pour rentrer en contact avec des acteurs bien placés au niveau local et national, et cela passe par le biais du Conseil d'Administration, qui est formé par des fonctionnaires d'haut niveau de deux pays, tels que Michael Clegg, actuel Président de la FUMEC et Secrétaire des Affaires Internationales de l'Académie des Sciences des États-Unis et Guillermo Fernández, actuel Directeur Exécutif de la FUMEC et ex-Directeur Adjoint du CONACYT.

Ce réseau politique est donc mobilisé lors de la définition des stratégies des divers programmes de la FUMEC, afin d'obtenir des informations et d'avoir une influence sur les décideurs politiques en faveur des programmes de la FUMEC, si cela est nécessaire. Les activités autour de la mobilisation du réseau politique de la FUMEC peuvent être qualifiées de *lobbying*, un exemple de cela est la manière dont la FUMEC arrive à assurer la continuité du soutien des institutions gouvernementales pour ses programmes dans un contexte d'instabilité des politiques au Mexique. Sur ce dernier point, nous allons expliciter de quelle manière la FUMEC continue à avoir le soutien pour son Programme de Microsystèmes, dans un contexte d'instabilité politique.

II.4.4. Continuité du Programme de Microsystèmes

Notre analyse s'étend sur la période qui débute en 2001 jusqu'à 2010, où il y a eu deux périodes présidentielles. Pendant cette période, deux Programmes Nationaux pour le Développement ont été définis, et en analysant ces textes nous constatons un manque de continuité entre les politiques de science et de technologie. Ces décalages empêchent la définition d'un paradigme consistant dans la politique nationale en science et technologie et empêchent également que ces politiques soient inscrites « dans le cadre d'un projet de développement national orienté à la satisfaction des besoins sociaux » (Casas et Dettmer, 2007). En effet, le

système politique au Mexique se caractérise par le manque de mécanismes politiques pour assurer la continuité des programmes nationaux et locaux dans plusieurs domaines issus des politiques en éducation, développement économique et social, santé, et science et technologie. Cela reflète un degré d'instabilité politique et c'est un élément à prendre en compte lors de la qualification des contextes d'adversité et d'incertitudes dans le développement scientifique et technologique.

Dans le contexte de cette problématique, la FUMEC a cependant réussi à donner continuité à son Programme de Microsystèmes, ainsi que d'autres programmes. Ici, nous posons donc la question : comment a-t-elle pu faire pour que le Ministère de l'Économie et les autres organismes de l'État aient maintenu leur soutien à ses programmes entre deux périodes de gouvernance ?

Afin de compter avec le soutien, principalement économique, des institutions gouvernementales, la mobilisation du réseau politique de la FUMEC a été déterminante pour dépasser ce problème de non continuité des engagements dans la gouvernance des politiques en science et technologie. Ce réseau est présent principalement au niveau national dans le gouvernement fédéral, car le financement des programmes et des projets provient des institutions gouvernementales au niveau fédéral. Ce réseau de relations politiques constitue un capital important pour la FUMEC. Le Président du Conseil d'Administration s'exprime sur l'importance des relations avec les décideurs gouvernementaux dans une lettre pour le rapport des activités de 2006 et 2007 de la Fondation:

« Autre effort stratégique majeur dans cette période a été de renouveler et renforcer notre réseau de relations avec les deux Agences Fédérales clés pour notre Mission, le Ministère de l'Économie (SE) et le Conseil National de Science et technologie (CONACYT), une fois effectué le changement d'Administration Publique Fédérale au Mexique, en décembre 2006. Ces deux Agences sont à la fois les contributeurs mexicains à notre Fond Patrimonial, ainsi que les principaux clients et sponsors de nos programmes. Une relation très étroite et effective a été consolidée avec les fonctionnaires clés de ces Agences » (FUMEC, 2008).

De cette manière, à travers les relations politiques qui sont par fois fondées sur des relations interpersonnelles des membres du Comité d'Administration de la Fondation, la continuité du Programme de Microsystèmes est possible. Donc, l'installation des infrastructures pour le développement des MEMS au Mexique a été possible grâce à l'articulation de ces acteurs en fonction des enjeux locaux, où les initiatives de la FUMEC ont eu un poids assez important.

II.5. Conclusions : les enjeux locaux dans l'installation d'une technologie émergente sans un paradigme national de politique scientifique et technologique

Dans ce chapitre, nous avons abordé la problématique de l'installation des infrastructures scientifiques et technologiques pour le développement des MEMS au Mexique et cela en montrant la participation de la FUMEC dans ce processus. Nous avons tracé l'installation de nouveaux laboratoires de recherche, et montré comment l'installation de ces infrastructures s'est insérée dans le Programme de Microsystèmes de la FUMEC. Les fonctions que la FUMEC a accomplies lors de cette première phase de l'émergence des microtechnologies au Mexique concernent principalement l'obtention de ressources économiques et la gestion des projets. Sur la première fonction, nous avons explicité comment la FUMEC a réussi à obtenir le soutien économique des institutions à différents niveaux. Il est intéressant de noter que ce soutien économique est venu du secteur public et cela sans compter avec un paradigme de la politique de la science et de la technologie¹⁹ autour de la technologie des microsystèmes, comme ce fut le cas dans d'autres pays où ces nouvelles technologies ont aussi connu un essor croissant. Dans les institutions

¹⁹ La notion de « paradigme de la politique de la science et de la technologie » que nous mobilisons ici est celle proposée par Ruivo (1994, cité en Casas et Dettmer, 2007) qui indique les manières selon lesquelles le système de recherche publique est régulé et utilisé. Sur cette notion, Casas et Dettmer (2007) signalent que dans l'analyse de l'évolution des politiques de la science Ruivo explique en s'inspirant de Kunt, que la notion de paradigme comprend des aspects contextuels et conceptuels, types de recherche, topiques, instruments de politique scientifique, et institutions et mécanismes pour l'exploitation des résultats de la recherche.

impliquées, ce soutien a eu lieu grâce à la reconnaissance de ces technologies comme une fenêtre d'opportunités, et pour avoir cette reconnaissance la FUMEC a dû convaincre les décideurs politiques. Pour cela, nous avons constaté, d'une part, que la Fondation a mobilisé des informations sur les potentialités de la technologie des MEMS, et elle a également eu la fonction de traduire ces informations afin de rendre attractive cette technologie. D'autre part, la FUMEC a aussi mobilisé son réseau politique non seulement pour avoir le soutien économique des institutions gouvernementales, mais également pour assurer la continuité de son programme sur les MEMS, entre autres.

Une autre conclusion qui peut être tirée est l'importance des aspects locaux lors de l'installation des infrastructures pour les MEMS au Mexique. Bien que dans le chapitre antérieure, nous ayons relevé que la promotion du développement des MEMS au Mexique s'est faite à partir d'éléments globaux (ce qui pose la question de la dépendance technologique) dans cette partie nous avons prouvé l'hypothèse que l'installation des infrastructures pour les nouvelles technologies est cohérente à partir des facteurs locaux. Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous avons en effet décrit les dynamiques dans lesquelles s'inscrit l'installation des CD-MEMS et des LI-MEMS. L'étude de cas des MEMS au Mexique montre que l'installation des infrastructures a été possible grâce à l'articulation de ces facteurs et d'éléments locaux. Articulation dans laquelle la FUMEC a eu non seulement des fonctions intermédiaires, mais elle a également eu une fonction non négligeable dans la définition de la direction du développement des MEMS au Mexique dans la mesure où les domaines stratégiques identifiés par celle-ci s'inscrivent dans les dynamiques locales : MEMS pour l'automobile, pour les télécommunications, pour l'électronique et BioMEMS. Dans ces dynamiques locales, la FUMEC a mobilisé ses réseaux politiques locaux afin d'obtenir le soutien des pouvoirs politiques et économiques locaux, ce qui a été nécessaire pour réussir l'installation des infrastructures. Dans ces processus, nous pouvons noter l'articulation des acteurs scientifiques, politiques et économiques par la FUMEC dans différents contextes en fonction d'enjeux locaux et non nationaux. D'autre part, actuellement le développement des MEMS fait partie des paradigmes de politiques scientifique et technologique de certaines institutions. Cependant ces paradigmes ont été définis et articulés localement et non au niveau

national, et ce malgré la participation importante sur le plan financier du SE, qui est une institution fédérale et nationale.

Nous avons aussi constaté que les plateformes scientifiques et technologiques ne se forment pas seulement grâce à la concentration et la proximité des capacités scientifiques et technologiques disponibles dans une zone ou une région déterminée. Les facilités des infrastructures, les contextes économiques, politiques et même culturelles sont aussi présentes lors de leur formation. Par exemple, les accords sur l'ouverture des installations scientifiques et technologiques des Etats-Unis aux chercheurs mexicains, pour qu'ils puissent effectuer leurs fabrications et caractérisations des dispositifs MEMS, font partie des facilités des infrastructures. De plus, dans l'étude de cas du Cluster de MEMS d'El Paso, nous avons observé que les dynamiques industrielles et économiques du Nord du pays et du côté des Etats-Unis sont également des caractéristiques qui sont prises en compte dans la formation des plateformes scientifiques et technologiques.

Chapitre III. La FUMEC dans la création de réseaux socio-technico- économiques pour le développement de MEMS au Mexique

L'émergence des nouvelles sciences et technologies demande des ressources techniques très importantes. Par exemple, la recherche en matériaux avancés requière d'une infrastructure très spécialisée et elle dépend de la disponibilité d'instruments scientifiques pour la synthèse et la caractérisation des nouveaux matériaux. Aujourd'hui, il est difficile d'imaginer un laboratoire ou un centre de recherche en matériaux avancés sans qu'il soit équipé d'au moins un microscope pour observer la matière à l'échelle nanométrique. L'installation de ce type d'infrastructure demande des investissements onéreux et la gestion de son usage est donc centrale dans l'organisation de la recherche.

Dans le chapitre antérieur, nous avons abordé la question sur la place de la FUMEC dans l'installation des capacités scientifiques et technologiques pour le développement de MEMS au Mexique. Dans ce troisième chapitre, notre analyse se centre sur la place de la FUMEC dans l'organisation de la recherche autour des MEMS. La question centrale est la suivante : Quelle est la place de la FUMEC dans

l'organisation de la recherche en MEMS au Mexique ? Pour traiter cette question nous allons analyser la formation des réseaux de collaboration autour du développement de MEMS, car le travail en réseau de collaboration est une forme d'organisation du travail scientifique. L'objectif de cette analyse, à partir de l'approche du réseau, est de comprendre dans quelle mesure la FUMEC est un acteur dans l'organisation de la recherche dans ce domaine.

Dans la littérature des études sociales de la science, lorsque nous étudions l'organisation de la recherche, la notion de « réseau » occupe une place importante. Pour commencer ce chapitre, une révision de cette notion sera présentée dans la première partie. Ensuite, dans la deuxième partie nous allons aborder la création des réseaux en MEMS, en confirmant l'hypothèse que l'organisation des activités scientifiques sous la forme de réseau répond au manque d'infrastructures. Dans la troisième partie, nous caractériserons plusieurs facteurs qui ont une incidence dans la constitution des réseaux de collaboration. Dans la dernière partie du chapitre, nous terminerons par une analyse de plusieurs initiatives de la FUMEC à partir de l'approche du réseau technico-économique.

III.1. Cadre théorique sur l'analyse de réseaux scientifiques

III.1.1. Approches théoriques sur l'analyse des réseaux scientifiques

Le travail en réseau est une forme d'organisation des activités scientifiques et technologiques. Cette forme de travail n'est pas nouvelle, depuis longtemps des réseaux de collaboration scientifique existent surtout dans le cadre de la recherche internationale (Vinck, 2007). Dans la sociologie des sciences et des techniques, il existe une ample littérature sur les réseaux scientifiques. Grossetti (2007) distingue deux conceptions qui utilisent le mot réseau et il fait la proposition d'établir un cadre qui comprenne les deux conceptions. La première de ces conceptions est connue comme « analyse de réseaux sociaux » (ARS), approche qui se centre sur « les

relations entre les acteurs et les réseaux qui constituent l'agrégation de ces relations en associant des apports qui proviennent de l'anthropologie, de la psychologie sociale et de la sociologie interactionniste » (Grossetti, 2007). Dans la sociologie des sciences, Mullins (1972) a été le premier à effectuer l'ARS dans une étude sur l'émergence de la biologie moléculaire. Selon cette approche, plusieurs études des sciences analysent les réseaux scientifiques à partir de données sur les co-signatures d'articles scientifiques (Courtial, 1994 ; Callon *et al.*, 1993). Les citations et co-citations des documents scientifiques constituent aussi une base pour des études sur la structure des domaines scientifiques et les relations de ceux-ci avec d'autres domaines, une représentation graphique des champs scientifiques peut alors s'effectuer par le biais de l'ARS (Miguel *et al.*, 2007 ; Porter et Youtie, 2009).

La seconde conception signalée par Grossetti est la théorie de l'acteur-réseau (ANT, par ses sigles en anglais). Cette théorie émerge avec les travaux de Latour (1989) et Callon (1986), ces auteurs proposent de considérer les « non-humains » en tant qu'acteurs dans la construction de faits scientifiques. Callon (1989) fait une différence entre les éléments que nous trouvons dans un laboratoire ; il précise qu'il y a des éléments humains et non humains. Il dit que les travaux des sociologues et des anthropologues nous ont montré « l'extrême diversité et hétérogénéité des éléments qui s'y trouvent mobilisés par les scientifiques dans l'accomplissement de leurs tâches ». Ses éléments sont, d'un côté, les chercheurs, les techniciens et les gestionnaires qui forment la force de travail du laboratoire, qui se caractérise par les *savoir-faire* et les *compétences* qu'elle incorpore. De l'autre côté, il y a l'infrastructure du laboratoire, laquelle se compose des instruments (microscopes, ordinateurs, manip, ...) qui servent aux chercheurs à effectuer leurs expériences. Les documents que le chercheur utilise, soit pour faire connaître son travail ou pour connaître celui de ses collègues, font aussi partie des éléments qui se mobilisent dans le laboratoire. En dernière place, Callon situe les crédits obtenus par les laboratoires auprès des partenaires de projets de recherche (administrations, industriels, fondations, ...) comme l'élément le plus nécessaire : « grâce aux crédits dont il dispose, le laboratoire peut recruter, acheter de nouveaux équipements et obtenir les documents qu'il estime essentiels à son activité ».

Un laboratoire (ou un réseau) peut donc avoir pour origine une demande précise de production de connaissances formelles (techniques) et/ou de biens matériels (économiques) ; pour y répondre des réseaux sociotechniques se créent et se mobilisent (Callon, 1989). Cette dernière notion du réseau est assez ample en considérant tous les artefacts qui ont une action dans la production scientifique.

Actuellement, les deux approches constituent des outils théoriques intéressants pour l'étude des sciences et des techniques et également pour l'évaluation de celles-ci. Dans notre analyse nous mobilisons les deux conceptions. D'une part, nous avons déjà utilisé les outils de l'analyse de réseaux sociaux dans le chapitre I pour caractériser et illustrer les réseaux scientifiques dans le domaine de la technologie de Microsystèmes au Mexique, et également pour représenter la multidisciplinarité de cette technologie. Dans la dernière partie de ce troisième chapitre, nous allons à nouveau faire appel aux outils de l'analyse de réseaux sociaux afin de représenter graphiquement les réseaux technico-économiques caractérisés dans notre étude. La théorie de l'acteur-réseau sera, d'autre part, mobilisée pour identifier tous les acteurs (humains et non-humains) présents dans le développement des MEMS au Mexique, ainsi que pour analyser leurs fonctions dans cette entreprise et essayer de comprendre les dynamiques de ces réseaux.

III.1.2. Le réseau de collaboration comme forme d'organisation et de travail dans la recherche en MEMS

Avant de continuer, il est pertinent de réviser la notion du réseau de collaboration. Vinck (2007) définit le réseau de collaboration scientifique comme des « rassemblements circonstanciels de laboratoires et de chercheurs autour d'un thème, d'un problème ou d'un projet ». Une autre notion très proche de cette dernière est celle de « collectif scientifique » de Callon (2003), qui dit que « le collectif scientifique met en relation un ensemble de personnes (...) qui interagissent fréquemment les unes avec les autres. Elles partagent des problèmes à résoudre, mettent en commun leurs savoirs et leurs compétences et organisent des coopérations ouvertes ».

Le réseau de collaboration constitue donc une forme d'organiser le travail scientifique. Dans la technologie de MEMS plusieurs domaines interviennent pour résoudre des problèmes techniques dans le développement des dispositifs (cf. Chapitre I) ainsi les premières initiatives de la FUMEC ont déterminé le réseau de collaboration comme forme d'organisation des activités de la recherche. Nous verrons plus bas que cette façon d'organiser la recherche existe principalement pour répondre aux adversités des conditions du travail. Mais nous ne pouvons pas négliger d'autres éléments qui interviennent également dans le choix de créer des réseaux de collaboration ou d'établir des relations : visibilité internationale, connaissances tacites, préférences scientifiques, etc.

D'autre part, une autre notion est celle du « réseau technico-économique » proposée par Callon, Laredo et Rabeharisoa (1991). Ces auteurs définissent le réseau technico-économique comme « un ensemble coordonné des acteurs hétérogènes : laboratoires, centres de recherche technique, entreprises, organismes financiers, usagers et pouvoirs publics qui participent collectivement à l'élaboration et à la diffusion des innovations et qui, à travers de nombreuses interactions, organisent les rapports entre la recherche sciento-technique et le marché (...) un réseau ne se limite pas aux seuls acteurs (hétérogènes) qui le constituent. Entre ceux-ci circule tout un ensemble d'intermédiaires qui donne un contenu matériel aux liens qui les unissent ». Cette notion nous semble également pertinente dans notre étude car elle nous permet de prendre en compte dans l'analyse non seulement les acteurs sociaux et techniques, mais également les acteurs économiques, tels que les financements et les produits commercialisés issus des activités d'innovation.

III.2. Le travail en réseau face à l'insuffisance d'infrastructures

Lors de notre recherche autour du développement des MNT au Mexique, nous avons constaté qu'il y avait très peu de ressources financières pour créer et

maintenir des plateformes scientifiques. Cependant, nous avons également observé l'existence de plusieurs projets de recherche en MNT. Dans ce contexte, la question a été : comment les chercheurs mexicains arrivent à effectuer la recherche dans une telle situation ? Pour répondre nous avons avancé l'hypothèse que les chercheurs mexicains construisent des réseaux locaux et internationaux pour pallier l'insuffisance de l'infrastructure scientifique et technologique (Robles-Belmont, 2009). Dans les définitions de réseau de collaboration scientifique de Vinck (2007) et du collectif scientifique de Callon (2003), la recherche s'organise autour de sujets et de problématiques de recherche communs entre les acteurs scientifiques. Néanmoins, partant de nos observations, il semble que, de nos jours, dans les réseaux de collaboration scientifique, l'accès aux plateformes commence à partager une place décisive dans les stratégies des chercheurs avec les sujets et les problématiques de recherche. La complexité des thèmes de recherche qui demande l'intervention de spécialistes hétérogènes, la concurrence croissante produit de la globalisation et la diminution des ressources économiques pour la recherche qui crée une dépendance aux ressources²⁰ peuvent nous apporter des éléments pour comprendre pourquoi la problématique de l'accès aux plateformes est de plus en plus présente dans l'organisation de la recherche.

En plus, cette problématique n'est pas exclusive à ce domaine, ni aux pays les moins développés. Dans une étude sur les réseaux scientifiques en nanosciences au Mexique, nous avons en effet montré que la création de réseaux de collaboration, dans ce domaine émergent, fait partie des stratégies des acteurs scientifiques pour pallier le manque d'instruments scientifiques (Robles-Belmont, 2009). Cette stratégie nous la trouvons même dans les pays qui se trouvent à la tête de la production de sciences et technologies de frontière. L'agglomération des activités de la recherche qui constitue les clusters, d'une part, et la mise à disposition des plateformes dans

²⁰ Dans l'approche du Capitalisme Académique, Slaughter et Leslie (1997) proposent la théorie de la « dépendance aux ressources » pour comprendre les changements observés dans la nature du travail académique. A partir d'une lecture organisationnelle, ces auteurs expliquent que la théorie de « la dépendance aux ressources soutient que ceux qui fournissent des ressources aux organisations, telles que les universités, ont la capacité d'exercer un grand pouvoir sur les organisations ».

les communautés scientifiques via les réseaux de collaboration, d'autre part, reflètent que cette problématique concerne d'autres pays que les non-hégémoniques dans la science. Par exemple, en France la création du Consortium des Moyens Technologiques Communs au sein de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, en 1997, a pour objet de mettre à disposition des chercheurs et des écoles, ainsi que des entités de recherche, une série d'instruments scientifiques installés sur plusieurs sites de recherche dans le domaine des matériaux avancés.

La problématique de l'accès aux instruments a un poids tellement important, qu'elle constitue un facteur non négligeable dans la définition des stratégies pour organiser la recherche de la part des chercheurs, ainsi que des organisations de recherche. Par exemple, pendant une visite à un centre de recherche en nanosciences au Mexique, nous avons observé que, lors de la présentation de l'avancement d'une thèse doctorale, un doctorant a brièvement présenté dans une première partie son objet de recherche et il a ensuite consacré le reste de l'exposé aux instruments scientifiques (diffractomètres, microscopes, entre autres) nécessaires pour mener à bien son projet de recherche, ainsi que les contacts scientifiques qui possèdent ces instruments. Cela montre bien et renforce le fait que l'accès aux instruments est une préoccupation centrale dans les activités de la recherche, les chercheurs vont donc définir des collaborations et mêmes des objets et des orientations de recherche en fonction de la disponibilité de l'accès aux instruments.

Au niveau organisationnel, l'accès aux instruments peut également faire objet de politiques scientifiques. Le manque d'infrastructures et le peu de ressources pour le cas du développement des MEMS au Mexique rendent cette préoccupation si centrale, que la FUMEC ne peut pas laisser de côté cette problématique. Cela parce que la disponibilité des instruments scientifiques dépendent de certaines conditions concrètes du travail scientifique (Vinck, 2006b). Ensuite, nous allons voir comment la FUMEC a abordé cette question autour des instruments et de la conformation de réseaux de collaboration scientifique.

III.2.1. La création de réseaux scientifiques comme stratégie de la FUMEC pour rationaliser les ressources

La problématique sur l'accès aux instruments pour le développement de MEMS est également une préoccupation centrale dans l'organisation de la recherche, et par conséquent dans les stratégies des acteurs scientifiques. La conception, la fabrication et la caractérisation des microsystèmes requièrent en effet la disponibilité de moyens techniques très spécialisés et coûteux. Dès le début du développement des MEMS au Mexique, deux réseaux de collaboration scientifique ont été formellement créés dans le cadre du Programme de Microsystèmes de la FUMEC, ainsi que d'autres réseaux ont vu aussi le jour hors de ce programme. À partir de nos observations, il paraît que la création de ces réseaux est aussi une réponse à la rare disponibilité des instruments scientifiques.

Dans le chapitre antérieur, nous avons abordé la question de l'installation d'infrastructures spécialisées pour le développement des MEMS. Nous avons évoqué que la FUMEC avait identifié l'inexistence d'infrastructures technologiques pour le développement des MEMS au Mexique. Ce manque d'infrastructures a représenté un des premiers obstacles à franchir et plusieurs initiatives de cette Fondation ont été (et sont) orientées à soutenir l'installation des plateformes scientifiques nécessaires. Une fois que les plateformes scientifiques ont commencé à être installées, la question de l'organisation de celles-ci a émergé. La rationalisation de ce peu de ressources disponibles et la non duplication d'infrastructures (qui a été une condition du Ministère de l'Economie pour le financement) ont constitué deux facteurs clés à prendre en compte. En conséquence, le réseau de collaboration comme stratégie pour organiser la recherche a été le choix de la FUMEC.

Actuellement, deux réseaux de collaboration s'inscrivent dans le cadre du Programme de Microsystèmes de la FUMEC. Avec le soutien économique du Ministère de l'Economie (SE, pour ses sigles en espagnol), la FUMEC a lancé en 2002 un appel à projets avec l'objectif de créer le réseau national de Centres de Dessin de MEMS (CD-MEMS). Ce réseau est le précédent d'un autre réseau qui a pour but de couvrir les étapes de fabrication et de caractérisation. Ce dernier réseau

porte le nom de « Réseau d'Innovation en MEMS » et il est constitué de trois laboratoires, nommés « Laboratoires d'Innovation en MEMS » (LI-MEMS). Dans cette stratégie du travail en réseau, dès la conception de ces réseaux, la question de l'accès aux ressources technologiques a eu un poids important et cela passe par la mise en commun de l'infrastructure entre les membres des réseaux. Le responsable du Programme de Microsystèmes de la FUMEC s'exprime ainsi sur la problématique des actions pour le développement des MEMS :

« (...) Nous soutenons aussi la création de laboratoires et d'infrastructures. Dans ce sens, ce que fait la Fondation c'est justement identifier les programmes du gouvernement dont la fonction est de créer des infrastructures et c'est ainsi, qu'à travers la Fondation, dix centres d'innovation en MEMS ont été créés dans dix universités du pays, et nous avons également aidé à la création d'un réseau de [trois] laboratoires (...) chacun dans une spécialité différente. (...) il s'agit de laboratoires très coûteux, et donc ce que nous faisons est de définir la création d'un laboratoire et ces laboratoires offrent des services à tous les membres du réseau. Nous essayons d'être beaucoup plus efficaces lors de l'application des ressources et en plus [cela] crée aussi la culture de travailler en réseau. »
(Avendaño, 2009)

Ici, nous pouvons noter que la question sur la rationalisation des ressources a une place non négligeable dans l'organisation de la recherche. Depuis la conception jusqu'à la mise en place des réseaux scientifiques, la problématique sur l'accès aux plateformes scientifiques et technologiques a un poids de plus en plus important, principalement dans les sciences et les technologies qui demandent des infrastructures très spécialisées et coûteuses.

Ensuite nous allons présenter la création et la formation des deux réseaux créés et impulsés par la FUMEC dans le contexte du développement de MEMS. L'analyse de ces deux études de cas renforce notre hypothèse concernant la création de réseaux de collaboration pour répondre à l'insuffisance d'infrastructures technologiques.

III.2.1.1. Le réseau de Centres de Dessin de MEMS au Mexique

Pour couvrir la partie de l'infrastructure, la Fondation a opté pour commencer avec la création des Centres de Dessin de MEMS (CD-MEMS). En 2002, la FUMEC lança donc un appel à projets pour la création de ces centres. À la fin de 2002, les responsables des projets retenus se sont réunis avec la FUMEC et, au début de 2003, une série de rencontres avec des spécialistes en MEMS provenant des Etats-Unis a eu lieu afin de former les chercheurs mexicains dans ce domaine²¹.

L'objectif principal de la création de ces centres de dessin et leur organisation en réseau, est d'offrir l'infrastructure nécessaire pour la conception et la simulation de MEMS au Mexique. L'infrastructure est constituée principalement d'ordinateurs et de logiciels pour le dessin et la simulation des dispositifs. Rappelons qu'au départ, l'initiative du développement de MEMS contemplait les états frontaliers avec les Etats-Unis, cependant la FUMEC et le Ministère de l'Economie ont décidé d'élargir la zone d'action sur tout le territoire mexicain. En conséquence, de nombreuses universités et centres de recherche de tout le pays ont répondu à l'appel pour la création des Centres de Dessin ; mais pour concrétiser l'installation des centres, il fallait l'engagement institutionnel et tous les candidats n'ont pas eu ce soutien. Finalement, le réseau est constitué de dix centres de dessin de MEMS situés dans diverses institutions d'éducation supérieure et de recherche dans huit états du Mexique.

Lors de la création de ce réseau, une des conditions de la FUMEC a été que toute l'infrastructure de ce réseau soit mise à la disposition des membres du réseau. Cette infrastructure constitue la première étape de la plateforme technologique que la FUMEC prétend installer au Mexique afin d'avoir les capacités technologiques (en termes matériels) pour le développement et applications des MEMS. Les activités effectuées dans le réseau CD-MEMS concernent le dessin de dispositifs MEMS, pour le déroulement des projets sur des applications industrielles et pour le

²¹ La formation de ressources humaines a également été définie comme un obstacle à franchir lors du départ du Programme de Microsystèmes de la FUMEC. Dans le chapitre IV, cet aspect sera abordé.

renforcement de programmes académiques spécialisés dans ce domaine (FUMEC, 2006).

Ici, nous n'allons pas expliquer les caractéristiques de ces centres de dessin et les contextes dans lesquels ils ont été créés, car cela a été déjà fait dans le chapitre antérieur (cf. II.2.1). Cependant, nous rappelons l'hétérogénéité des orientations de la recherche de ces CD-MEMS, ce qui couvre les différents secteurs d'applications des MEMS qui ont été définis comme stratégiques dans le programme de la FUMEC. Par exemple, dans le CD-MEMS de l'UNAM des recherches sont développées autour de la conception des Bio-MEMS, et dans le CD-MEMS de l'UPAEP les activités se font autour des MEMS pour l'industrie automotrice.

III.2.1.2. Le réseau d'innovation en MEMS au Mexique

Le réseau de CD-MEMS est le précédent d'un deuxième réseau créé dans le cadre du Programme de Microsystèmes de la FUMEC. Ce deuxième réseau se concentre sur les autres étapes du développement des MEMS : la fabrication et le test de prototypes. L'initiative de la création de ce deuxième réseau a été créée en 2005 par la FUMEC. Trois laboratoires nommés « laboratoires d'innovation en MEMS » (LI-MEMS) forment ce réseau et leur l'objectif est de fermer le cycle pour l'obtention des MEMS, en mettant à disposition l'infrastructure nécessaire pour la fabrication avec des applications spécifiques dans trois niches d'opportunité : BioMEMS, MEMS pour l'industrie automotrice et MEMS pour les télécommunications. Ces trois domaines pour les applications de MEMS ont été identifiés par la FUMEC à partir des études de marché et de veilles technologiques effectuées par d'autres organismes, dont le plus important est la Fondation d'Éducation et Commercialisation de la Micro et Nanotechnologie (MANCEF, pour ses sigles en anglais).

Le premier LI-MEMS a été construit dans les installations de l'INAOE, dans l'État de Puebla. Nous avons déjà dit que ce laboratoire fait partie d'un projet plus ample de l'INAOE, il s'agit du LNN (cf. II.4.2.1), projet soutenu également par la FUMEC. Le deuxième laboratoire d'innovation en MEMS a été installé à l'UNAM, dans les locaux de la Faculté d'Ingénierie, et il fait également partie d'une initiative plus ample de cette université pour le développement de MEMS connue comme

UNAMems. Le troisième laboratoire est situé au Nord du Mexique, dans l'Institut d'Ingénierie et de Technologie de l'UACJ. L'infrastructure de ces trois laboratoires forme donc la plateforme nécessaire pour passer des étapes du dessin et de la simulation aux étapes de la fabrication et du test (caractérisation) de prototypes.

Nous venons de montrer que ces deux réseaux sont basés sur des plateformes scientifiques et technologiques qui ont été installées dans le cadre des initiatives du Programme de Microsystèmes de la FUMEC. Rappelons-nous que le manque de disponibilité des ressources est une des caractéristiques de l'adversité de la science. Dans ce contexte, la création des réseaux de collaboration constitue donc une alternative pour pallier ces contraintes pour la recherche. Cependant, il est important de souligner que la formation de ces réseaux ne passe pas seulement par la construction des infrastructures, la question de la mise à disposition et du partage des infrastructures a été centrale dans ce processus. Cela pose des questions aux acteurs scientifiques sur l'organisation du travail scientifique. Dans le sous-chapitre suivant, nous allons aborder ce point en analysant les facteurs que prennent en compte les acteurs scientifiques lors de la gestion de l'accès aux plateformes scientifiques et technologiques.

III.3. La gestion de l'accès et de l'usage des plateformes scientifiques

Nous venons de voir que la stratégie pour pallier le manque d'infrastructures pour le développement de MEMS a été la création de réseaux de coopération scientifique. La mise en commun des instruments scientifiques a un impact sur l'organisation des activités de recherche dans les laboratoires. Dans le contexte où les laboratoires doivent ouvrir leurs portes pour partager leurs instruments scientifiques, il est évident que des questions sur la manière de gérer l'accès et l'usage des instruments, et d'autres ressources, vont se poser. Le problème que pose l'accès aux instruments paraît plus évident dans le cas où les instruments sont

très coûteux et rares, comme par exemple dans les cas de la génomique (Peerbaye, 2004) et des micro et nanotechnologies (Vinck, 2006b ; Hubert, 2009).

Dans notre analyse, nous centrons notre attention sur les processus pour établir des règles pour l'accès et l'usage des instruments, car nous considérons qu'ils sont étroitement liés à l'organisation de la recherche dans le réseau et que ces processus font partie de la constitution des réseaux de collaboration scientifique. Nous nous sommes posés la question sur la place de la FUMEC dans l'établissement de ces règles. Dans nos observations, nous avons constaté l'existence de plusieurs éléments endogènes et exogènes qui ont des influences dans ces processus. C'est pour quoi nous nous penchons sur la caractérisation de ces éléments ou de ces facteurs que les acteurs scientifiques prennent en considération lors de l'établissement des collaborations.

Lors de notre enquête sur notre terrain d'étude, plusieurs laboratoires étaient encore dans la phase de construction des locaux et/ou de l'installation des instruments. D'autres laboratoires étaient déjà installés et en fonctionnement. Il est important de noter que tous les centres de dessin et les laboratoires d'innovation en MEMS ont été installés dans des entités de recherche et d'éducation déjà existantes. Pour ce terrain d'étude, la question empirique sur l'accès aux instruments a été un des quatre thèmes abordés lors des premiers entretiens effectués. Cela dans l'optique d'essayer de comprendre les dynamiques de l'organisation de la recherche face à un changement si important qu'est la mise en commun des instruments. Tout de suite, nous avons observé qu'il n'y avait pas un patron commun pour les règles d'accès aux instruments entre les laboratoires membres des réseaux que nous avons visités. Ces observations confirment les résultats des travaux de Hubert (2009). Dans le cas des nouvelles plates-formes pour le développement MNT dans le pôle MINATEC, Matthieu Hubert explique que « le fonctionnement de ces plates-formes technologiques ne fait apparaître aucun consensus sur la « bonne manière » de réguler les accès et les modalités d'usage des instruments de recherche » (Hubert, 2009). Il ajoute également que les acteurs scientifiques, avant d'adopter un modèle pour la gestion de l'accès et de l'usage des instruments scientifiques, préfèrent « conserver un éventail de possibilités ». Ce même auteur montre qu'un

ensemble d'incertitudes globales et locales, ainsi que de certitudes politiques constituent les plates-formes technologiques.

III.3.1. La flexibilité face aux incertitudes

Ces incertitudes et d'autres facteurs locaux font que la gestion de l'accès aux plates-formes technologiques soit complexe dans le cas d'une plate-forme décentralisée, comme c'est le cas des réseaux en MEMS que nous analysons. Ici, il paraît que la FUMEC est consciente de la complexité et de l'hétérogénéité des facteurs à prendre en compte dans la gestion des plates-formes technologiques. La flexibilité dans l'établissement des règles d'accès et d'usage des plates-formes scientifiques est une caractéristique choisie par la FUMEC dans l'organisation des deux réseaux. Même si la Fondation souhaite avoir une place plus importante dans ces processus, car les activités de recherche et les produits issus constituent la réussite du Programme de Microsystèmes, elle a en effet opté pour laisser les entités membres des réseaux définir les règles d'accès et d'usage des laboratoires. A la question sur l'établissement des règles d'accès et d'usage, l'agent responsable du Programme de Microsystèmes nous répond le suivant :

« Il y a peu de temps que les laboratoires ont commencé réellement à travailler. Ils sont en train de définir leur dynamique de travail, dont un des points est de s'intégrer par une ouverture aux membres du réseau, et un autre consiste que si une institution établit une méthodologie de travail, nous, en tant que Fondation, ne pouvons pas interférer » (Avendaño, 2009).

Dans les laboratoires visités, les scientifiques interviewés ont confirmé cette distance de la FUMEC dans les processus de l'établissement des règles. Ceci a permis que les entités participantes dans les réseaux puissent conserver des degrés d'autonomie et puissent définir les règles en fonction des facteurs endogènes aux laboratoires. Sur ce point, Hubert (2009) signale que « les formes de régulation varient selon les jeux d'acteurs locaux et leur degré de prise en compte de pratiques scientifiques préexistantes ».

III.3.2. Les facteurs locaux et endogènes aux laboratoires dans l'établissement des règles pour l'accès et l'usage des nouvelles plateformes

Face à cette problématique des règles d'accès et d'usage des nouvelles plateformes, qui pose des contraintes à la FUMEC, cette dernière a choisi de conserver ses distances avec les processus d'établissement des règles. Pourquoi la FUMEC a pris cette décision? Pour répondre, nous proposons l'hypothèse que des pratiques scientifiques préexistantes et des incertitudes locales sont déterminées par des facteurs locaux et endogènes, qui sont hors du champ d'action de la FUMEC. La question suivante se pose alors : Quels sont ces facteurs locaux et endogènes ?

Pour répondre à cette dernière question, à partir de l'analyse des données qualitatives issues des entretiens effectués aux chercheurs et responsables des laboratoires visités, nous avons identifié certains facteurs présents dans la détermination des formes de régulation de l'accès et de l'usage des plateformes scientifiques. Ces facteurs sont les règles préexistantes et leur ajustement pour répondre aux nouvelles contraintes, la disponibilité de ressources pour le fonctionnement des laboratoires, les capacités des instruments scientifiques et les orientations et préférences scientifiques des laboratoires. Ici, il est important de noter que nous avons observé que ces facteurs sont également considérables dans les stratégies des chercheurs lors de la création des réseaux de collaboration scientifique ou de leur adhésion à l'un d'eux. Maintenant, nous allons détailler chacun de ces facteurs observés dans la constitution des réseaux en MEMS au Mexique.

III.3.2.1. Les règles préexistantes et leur ajustement

Les premiers facteurs caractérisés sont endogènes aux laboratoires et concernent les modalités de gestion de l'accès aux instruments dans les laboratoires. Il s'agit des règles préexistantes et leur ajustement. L'installation des laboratoires en MEMS a eu lieu dans des locaux d'institutions de recherche et d'éducation déjà existantes. Ces nouveaux laboratoires s'insèrent donc dans des espaces où il y a des structures organisationnelles antérieures, dans lesquelles les

règles et les mécanismes pour accéder aux installations sont déjà établis. Ces règles et mécanismes sont le reflet de la politique de sécurité des entités ; par exemple, pour l'accès au Centre UNAMems il n'y a aucun contrôle pour pouvoir arriver jusqu'à la porte de ce laboratoire situé dans la Faculté d'Ingénierie de l'UNAM. Dans cette université, les facultés, les instituts et les centres de recherche ont différentes formes et mécanismes pour gérer l'accès aux installations. Dans certains lieux l'accès est libre, sans aucun contrôle et dans d'autres lieux, il suffit d'enregistrer son entrée et sa sortie sur un cahier. Les modalités d'accès dépendent des statuts des institutions, un centre de recherche va plus contrôler qu'une faculté, par exemple. D'autre part, pour accéder au LNN de l'INAOE, il faut décliner son identité à l'entrée de l'institut et laisser une pièce d'identité, et il peut arriver que le vigileur téléphone au responsable du laboratoire pour vérifier la permission de l'accès aux installations. Dans d'autres cas, pour se rendre aux laboratoires, il faut traverser plusieurs portes et couloirs dans les bâtiments, dont certains sont contrôlés et d'autres pas. Il existe donc une diversité assez large de formes de gérer l'accès aux espaces de recherche.

Les nouveaux instruments scientifiques rares et coûteux rencontrent ces règles et ces mécanismes qui sont déjà établis, mais ceux-ci ne sont pas interchangeables. L'usage des nouveaux instruments peut requérir des règles d'accès plus ou moins strictes que celles qui existaient. Pour réguler l'accès aux nouveaux instruments, des discussions et des négociations tendues peuvent avoir lieu au cœur des organisations. Les nouvelles règles, s'il y a lieu, vont être définies en fonction des contraintes rencontrées avec l'arrivée de nouveaux instruments et des nouveaux mécanismes peuvent être créés afin d'assurer la nouvelle régulation de l'accès. Ici, la théorie de la régulation sociale de Reynaud (1997) peut nous aider à comprendre ces processus, car elle propose de distinguer trois types de régulations : la régulation contrôle, la régulation autonome et la régulation conjointe. Nous classons les règles préexistantes issues de la hiérarchie des entités comme la régulation de contrôle. Dans les laboratoires, les chercheurs ont des pratiques propres à eux-mêmes qui constituent une régulation autonome et qui peuvent entrer en conflit avec la régulation de contrôle. Dès qu'un conflit émerge des négociations vont avoir lieu. La régulation conjointe est issue de ces négociations pour assurer l'organisation du travail scientifique, dans ce cas elle définit les règles d'accès et d'usage des nouveaux instruments.

III.3.2.2. La disponibilité de ressources

La disponibilité de ressources constitue le deuxième facteur que nous avons identifié. Pour mener à bien les activités de recherche, la disponibilité et la mobilisation des ressources sont centrales dans la gestion et l'organisation de la coopération entre laboratoires (Louvel, 2007). Ces ressources sont d'ordre financier et elles sont nécessaires principalement pour l'acquisition des matériaux, l'appui de techniciens et le déplacement des chercheurs et des étudiants.

La fabrication des dispositifs à l'échelle micro requière des matières premières avec des caractéristiques particulières. Par exemple, dans la microélectronique, la fabrication des couches ou des films minces (qui servent d'isolants ou de conducteurs) s'effectue principalement selon deux méthodes : l'épitaxie par jets de molécules et la pulvérisation cathodique (ou *sputtering*). Dans les deux cas, des matériaux purs ou avec des caractéristiques particulières sont nécessaires. Ces caractéristiques sont importantes, car une variation ou un matériel contaminé va changer les fonctionnalités des dispositifs finaux. D'autre part, malgré l'installation d'infrastructures pour la fabrication de MEMS au Mexique, il est encore nécessaire d'envoyer fabriquer des micro-puces à l'étranger. Cela est le cas pour plusieurs laboratoires visités ; « *nous n'avons pas encore les capacités pour fabriquer les MEMS, nous les faisons fabriquer par les laboratoires Sandia* », nous dit un chercheur lors d'une visite. Les caractéristiques de ces matériaux font qu'ils ont des coûts assez élevés. La disponibilité de ressources pour l'achat des matières premières et la fabrication des matériaux et des dispositifs constitue un des facteurs qui détermine les bonnes conditions concrètes du travail. Dans certains réseaux scientifiques, les financements accordés comprennent des enveloppes pour couvrir ces dépenses. Le financement de projets dans le cadre des réseaux de collaboration peut donc constituer un facteur d'attraction pour les chercheurs.

Pour le cas des deux réseaux en MEMS créés par la FUMEC, ce type de dépenses ne est pas couvert. Les projets de recherche, qui ont réussi à se constituer, sont couverts par d'autres financements apportés principalement par le CONACYT et le SE. Nous avons identifié que la FUMEC a été présente en tant qu'organisme intermédiaire entre le SE et le centre Microna pour l'obtention du financement pour un projet de recherche. Ce projet consistait en la conception et

l'implémentation d'un micro-senseur pour mesurer le champ magnétique lors de la fabrication des tubes sans soudure pour l'extraction du pétrole, ainsi que le système pour l'obtention des données produites par le senseur. Ici, la fonction de la FUMEC a été de mettre en contact les chercheurs de Microna avec les décideurs du SE, ainsi que d'aider les chercheurs à constituer le projet et le traduire afin d'attirer l'attention des décideurs du SE et les convaincre de financer le projet.

Concernant le déplacement des chercheurs, cela demande des ressources économiques importantes. Dans une étude préalable sur deux réseaux de collaboration en nanosciences au Mexique (Robles-Belmont, 2009), la mobilité des chercheurs a été identifiée comme une activité fréquente et par conséquent le financement de la mobilité est capital dans le cadre d'un réseau de collaboration. Les activités effectuées au cœur du Programme de Microsystèmes de la FUMEC demandent aussi la mobilité des chercheurs pour participer à des conférences, des réunions, des ateliers ou des séminaires organisés par la Fondation. Cependant, le budget de la FUMEC ne comprend pas les frais des déplacements des chercheurs participants dans les réseaux. Les déplacements sont donc couverts par les institutions de recherche, auxquelles les chercheurs sont rattachés. Cela implique que l'institution où a été installé un laboratoire doit être engagée dans le projet et assurer la disponibilité des ressources pour le fonctionnement des nouveaux laboratoires.

III.3.2.3. Capacités des instruments scientifiques

Les capacités des instruments scientifiques constituent un autre facteur qui est présent dans les stratégies des chercheurs pour adhérer aux réseaux scientifiques. Avoir accès à un microscope, par exemple, ne suffit pas. Certes, le microscope est l'outil qui permet d'observer la matière à l'échelle micro et nanométrique, mais sans l'emploi d'autres instruments, l'utilisation de celui-ci se limite rapidement. Cela nous l'avons observé dans un laboratoire de microscopie dans le domaine du pétrole, où il y a deux microscopes électroniques en transmission apparemment identiques. Cependant dès que nous posons des questions aux techniciens sur les capacités scientifiques de chaque appareil, des différences importantes émergent. Chaque microscope est en effet équipé d'autres

instruments tels que des caméras, des porte-objets, des nano-manipulateurs, des logiciels pour la tomographie et des dispositifs pour l'analyse chimique des échantillons (spectrométrie d'absorption de rayons X, par exemple), ainsi que des accessoires pour l'usage à distance des microscopes. Tous ces instruments et pièces jointes donnent une configuration particulière à chaque instrument, ce sont donc les éléments qui font l'importance de l'instrument et qui vont déterminer ses capacités scientifiques. En plus, cette importance de la configuration et de l'usage des instruments scientifiques a déjà été observée à la fin des années 70 par Latour et Woolgar (1996), lors de leurs observations ethnographiques dans un laboratoire de neuroendocrinologie.

De plus, l'importance de la configuration des instruments scientifiques se montre aujourd'hui dans les sites Web des laboratoires, où il est commun de trouver des pages dédiées aux spécifications techniques et configurations des instruments qui forment les laboratoires. Les chercheurs vont se rapprocher des groupes et des laboratoires de recherche qui possèdent les instruments et accessoires dont ils ont besoin.

Les capacités scientifiques des instruments sont également importantes dans l'établissement des règles d'accès et d'usage des laboratoires. Pour le cas des nouveaux laboratoires de MEMS, avant d'ouvrir leurs portes, il est nécessaire qu'ils établissent une série de règles de dessin. Pour fabriquer les plaquettes de circuits intégrés, il y a des spécifications de fabrication qui sont déterminées à partir des capacités techniques des instruments. Ces règles de dessin concernent des paramètres tels que les épaisseurs fiables et la résistivité des couches déposées, ainsi que la séparation minimale et maximale entre les niveaux des couches. Ces paramètres vont déterminer le bon fonctionnement des dispositifs MEMS, et lors de la conception et de la simulation des MEMS par ordinateur, ces paramètres doivent être pris en compte. Dans l'étape de fabrication du prototype MEMS, le choix des laboratoires à utiliser pour fabriquer le MEMS, qui sont connus comme *Fonderies*, se fera en fonction de ses capacités. Par exemple, il y a des laboratoires équipés pour le polissage des plaquettes de silicium et il y en a d'autres équipés pour le polissage des métaux, à cela il faut ajouter d'autres paramètres que nous avons déjà évoqués. Ces caractéristiques des instruments vont alors déterminer les règles de dessin des

laboratoires pour la fabrication de MEMS. Ces règles sont fréquemment publiées sur les sites Web des laboratoires, ou sont également présentées lors des exposées des projets de recherche lors des forums académiques. Si une demande sort des spécifications marquées dans les règles de dessin, il n'est pas surprenant que le laboratoire refuse la fabrication du dispositif MEMS. Les chercheurs vont donc cibler les laboratoires qui peuvent répondre à leurs besoins, et la recherche en collaboration avec ces laboratoires fait évidemment partie des stratégies des programmes de recherche. Dans le cas des trois LI-MEMS, l'établissement de ces règles de dessin reste à l'intérieur des groupes de recherche, la FUMEC ne participe pas à ce processus.

III.3.2.4. Orientations et préférences scientifiques des laboratoires

Un autre facteur identifié lors de notre enquête concerne les orientations et les préférences scientifiques des laboratoires. Les laboratoires qui forment les réseaux en MEMS au Mexique travaillent dans des domaines très divers. Nous avons constaté que les membres des réseaux travaillent sur des applications de MEMS dans 5 domaines : biomédecine, télécommunications, automobile, agroalimentaire et microélectronique. Dans le tableau 3.1 sont montrées les différentes thématiques ou lignes des applications développées dans les laboratoires membres des réseaux en MEMS, ce qui constitue l'organisation de la recherche dans les réseaux en MEMS. Ici, les lignes de recherche des laboratoires sont importantes dans l'établissement des relations de collaboration scientifique, car elles sont aussi prises en compte dans les stratégies des chercheurs pour collaborer. En effet, dans les nouvelles dynamiques de la production du savoir, les chercheurs sont confrontés à des problèmes de plus en plus complexes qui demandent l'intervention de spécialistes de plusieurs disciplines (Gibbons *et al.*, 1994). Dans le contexte d'un projet de recherche qui demande des connaissances d'autres disciplines, l'accès à ces connaissances peut se faire par le biais des collaborations scientifiques.

Entité de recherche / Domaine d'application	Bioméd.	Télécom.	Automob.	Agroalim.	Microelect.
MICRONA, Veracruz	X	X	X		X
ITESI, Michoacán		X	X	X	
INAOE, Puebla	X	X	X		X
UACJ, Chihuahua	X	X	X		X
CINVESTAV, Guadalajara		X			X
IEE, Morelos		X			X
ITESM, Monterrey	X		X		
UNAM, Mexico	X	X			X
Université de Guadalajara					
UPAEP, Puebla	X	X	X	X	X

Tableau 3.1. Domaines des applications des MEMS développées dans les réseaux MEMS.

L'organisation des activités de recherche dans les laboratoires est constituée par les thématiques et les lignes de recherche. Lors de notre enquête, nous avons observé que l'organisation du travail dans certains laboratoires n'a pas vu de changements remarquables, le développement des MEMS s'est en effet inséré dans des lignes préexistences. En fait, des laboratoires travaillaient sur leurs thématiques avant les initiatives de la FUMEC pour développer les MEMS, et l'ajustement et l'adoption des thématiques paraissent répondre à une évolution naturelle de la science et de la technologie dans ces laboratoires. Pour illustrer cela, nous citons l'exemple de l'INAOE, institut de recherche qui travaille depuis les années 70 dans la microélectronique. Le département de microélectronique de cet institut a été créé pour répondre à la demande de circuits intégrés pour la fabrication de télescopes du même institut de recherche. Au milieu de cette décennie, il a été installé un laboratoire de microélectronique équipé pour la fabrication de circuits MOS et un programme d'études avancées dans ce domaine a aussi vu le jour. Depuis ces années, l'INAOE a développé de véritables projets de recherches scientifiques et technologiques en collaboration avec des entreprises transnationales comme Intel et

Motorola. D'autres laboratoires ont été installés, actuellement la division de microélectronique compte avec l'infrastructure nécessaire pour fabriquer des circuits MOS et CMOS, des MEMS, et des dispositifs pour les télécommunications. Rappelons que le CD-MEMS et le LI-MEMS qui ont été installés dans l'INAOE font partie du Laboratoire National de Nanoélectronique, ce dernier laboratoire constitue en fait la modernisation de l'infrastructure scientifique de l'institut. Les cas du CINVESTAV, de l'UAJC, et de l'IEE, dont nous avons évoqué leurs contextes dans le chapitre antérieur, sont d'autres exemples.

D'autre part, l'arrivée du développement des MEMS a amené des nouvelles thématiques dans les lignes de recherche de certains laboratoires. Dans le Programme de Microsystèmes de la FUMEC, les secteurs identifiés comme stratégiques ont été la Biomédecine, l'industrie automotrice et les télécommunications. Certains des laboratoires que nous avons analysés ont débuté dans le domaine des MEMS avec l'initiative des CD-MEMS de la FUMEC. C'est le cas de MICRONA, ITESI, UPAEP et ITESM. Ces laboratoires-là ont orienté (ou créé) leurs lignes de recherche dans un de ces domaines d'applications de MEMS. Cependant, ces secteurs stratégiques (promus comme des fenêtres d'opportunités) n'ont pas été les seuls facteurs présents dans la définition des thématiques. Nous avons identifié des facteurs exogènes aux laboratoires qui ont eu également des incidences dans la définition et l'ajustement des lignes de recherche. Par exemple, le précédent du centre MICRONA a été un CD-MEMS installé dans la faculté d'ingénierie de l'Université de Veracruz, dans la ville de Boca del Rio, une ville portuaire où la recherche dans le domaine des microsystèmes et de la microélectronique était absente. Ce CD-MEMS a été créé avec une seule ligne de recherche (technologie MEMS), très vite le centre a commencé à travailler sur un projet pour répondre à une demande spécifique de l'industrie locale. Il s'agissait d'un capteur pour mesurer et contrôler le champ magnétique lors de la fabrication de tubes sans soudure pour l'extraction du pétrole, dont nous avons déjà parlé. Pour l'avancement du projet, pour assurer l'application dans l'industrie, il a fallu aller plus loin que la conception et la fabrication du capteur. La mise en place d'un système pour le traitement des signaux et des interfaces entre le capteur et les opérateurs a été nécessaire, ce qui a posé de nouveaux défis et problèmes. Alors, d'autres projets de recherche ont été définis et de nouvelles connaissances sur la microélectronique,

les micro-capteurs, les matériaux avancés et en informatique ont été nécessaires. Le centre a bénéficié du soutien financier des pouvoirs locaux et de l'université pour l'installation de nouveaux instruments et le recrutement de nouveaux chercheurs et techniciens. Finalement, une réorganisation du laboratoire a eu lieu et deux nouvelles lignes de recherche ont été créées : 1. micro-capteurs et circuits intégrés, et 2. nanotechnologie et matériaux avancés. Cette réorganisation du travail est le résultat des interactions avec l'industrie.

III.4. Le Programme de Microsystèmes de la FUMEC comme réseau technico-économique

Jusqu'ici nous avons analysé deux réseaux de collaboration scientifique en MEMS au Mexique : CD-MEMS et LI-MEMS. L'analyse de la constitution de ces deux réseaux nous apporte d'une part des éléments pour comprendre la dynamique de l'émergence de la technologie de microsystèmes au Mexique ; d'autre part, cette analyse nous a apporté des éléments pour caractériser les fonctions de la FUMEC lors de la formation des réseaux scientifiques et de l'organisation de la recherche dans ce domaine émergent. Dans cette analyse, l'approche de la théorie de l'acteur-réseau nous a permis d'identifier des facteurs hétérogènes qui sont pris en compte par les acteurs scientifiques pour la constitution de ces réseaux et l'adhésion à ceux-ci.

La création des deux réseaux analysés s'inscrit, nous l'avons déjà dit, dans les initiatives du Programme de Microsystèmes de la FUMEC. D'ailleurs, dans ce programme, d'autres initiatives de la FUMEC visent l'utilisation de MEMS dans des produits finis et leur fabrication au Mexique. Pour ces initiatives, de nouveaux acteurs, avec des intérêts économiques, ont été impliqués dans le développement des MEMS. Comme les réseaux de collaborations scientifiques autour des MEMS, ces dernières initiatives de la FUMEC pour le développement de MEMS peuvent également être analysées avec l'approche de la théorie de l'acteur-réseau. Dans le premier chapitre, nous avons dit que le Programme de Microsystèmes de la FUMEC est une articulation de plusieurs initiatives qui ont été créées à différents moments et à différents niveaux. Au cours de la configuration de ce programme, nous observons en effet l'articulation et la mobilisation d'acteurs hétérogènes. Il s'agit des acteurs

sociaux, techniques, et économiques. A partir de cela, la notion du réseau technico-économique (Callon *et al.*, 1991 ; Callon, 1992) est utile pour analyser les dynamiques de l'émergence des MEMS au Mexique et pour rendre compte des relations entre les différents acteurs, nous utilisons des outils de l'analyse des réseaux sociaux.

III.4.1. Buts et intérêts hétérogènes

Dans la littérature sur la théorie des réseaux technico-économiques, Callon (1992) signale que les différents acteurs qui interagissent dans ces réseaux « ont bien entendu des buts, des projets et des intérêts hétérogènes voire contradictoires ». Lors de notre étude de terrain et de l'analyse des données recueillies, nous avons observé et confirmé ces intérêts hétérogènes. D'une part, dans le sous-chapitre précédent nous avons relevé les facteurs considérés par les acteurs scientifiques pour établir des collaborations, ces facteurs reflètent les intérêts scientifiques d'une partie des acteurs. Par exemple, avoir accès à une technique de micro-lithographie avec des spécifications techniques précises et propres à un laboratoire, afin de conclure la fabrication d'un dispositif MEMS, peut être l'intérêt d'un groupe de chercheurs pour collaborer avec un autre groupe qui détient cette technique de micro-lithographie et l'infrastructure nécessaire.

D'autre part, pour mener à bien les initiatives qui visent la fabrication et la commercialisation des MEMS au Mexique, nous avons évoqué dans le premier chapitre que la FUMEC a mobilisé ses réseaux politiques pour attirer le financement des projets autour des applications des MEMS. Elle a aussi effectué et participé à des événements académiques et non académiques pour promouvoir l'application des MEMS et attirer l'attention des usagers potentiels, tels que des acteurs de l'industrie. Ici, pour les institutions publiques qui ont financé les projets, leurs intérêts sont considérés comme sociaux et économiques. Cette hétérogénéité d'intérêts se reflète en fait à travers la diversité des configurations des réseaux de collaboration.

D'autre part, dans l'approche du réseau technico-économique, Callon *et al.* (1991) disent que les acteurs interagissent et s'organisent autour de trois pôles : le scientifique (S), le technique (T) et le marché (M). En plus, entre les trois pôles il y a des interactions qui constituent le pôle transfert (ST) et le pôle développement (TM).

Dans cette approche du réseau technico-économique, ils ont également proposé d'autres définitions pour la caractérisation et l'évaluation des réseaux technico-économique, en tant qu'outil pour la gestion de la recherche. Dans cette partie de la thèse, nous nous intéressons à caractériser les réseaux des pôles S, T et M afin d'apporter des éléments pour essayer de rendre compte des dynamiques des initiatives menées pour le développement de MEMS au Mexique et voir dans quelle mesure la FUMEC a eu des fonctions centrales dans ces pôles.

III.4.2. Pôle scientifique : création de conditions favorables à travers les réseaux CD-MEMS et LI-MEMS

Malgré la diversité des acteurs et des types d'intermédiaires présents dans le pôle scientifique, Callon *et al.* (1991) proposent de caractériser ce pôle en ne considérant que les connaissances certifiées sous la forme d'articles scientifiques. Lors de la caractérisation de l'évolution de la recherche en MEMS au Mexique, nous avons caractérisé les réseaux de collaboration scientifique à partir des co-publications scientifiques (voir Graphique 1.4). Les réseaux identifiés dans cet exercice constituent en effet un panorama des acteurs scientifiques et de leurs relations. Cependant, pendant notre étude de terrain nous avons identifié d'autres acteurs présents dans le pôle scientifique, c'est-à-dire dans la production des connaissances certifiées. Il s'agit des acteurs que nous ne trouvons pas si nous nous limitons à l'analyse des articles scientifiques.

III.4.2.1. Le politique dans le pôle scientifique

Si nous considérons que les initiatives des réseaux de collaboration sont orientées vers la création de conditions favorables pour la production de connaissances certifiées, nous situons donc les réseaux CD-MEMS et LI-MEMS dans le pôle scientifique. Tout au long du processus de la constitution de ces réseaux scientifiques, il y a eu d'autres acteurs ne provenant pas du monde scientifique : les acteurs politiques. Ensuite nous allons évoquer quelques exemples afin de rendre compte de la présence et de l'importance de ces acteurs dans la production des connaissances certifiées. Afin de présenter les relations entre tous les acteurs impliqués dans le pôle scientifique, nous utilisons les outils informatiques

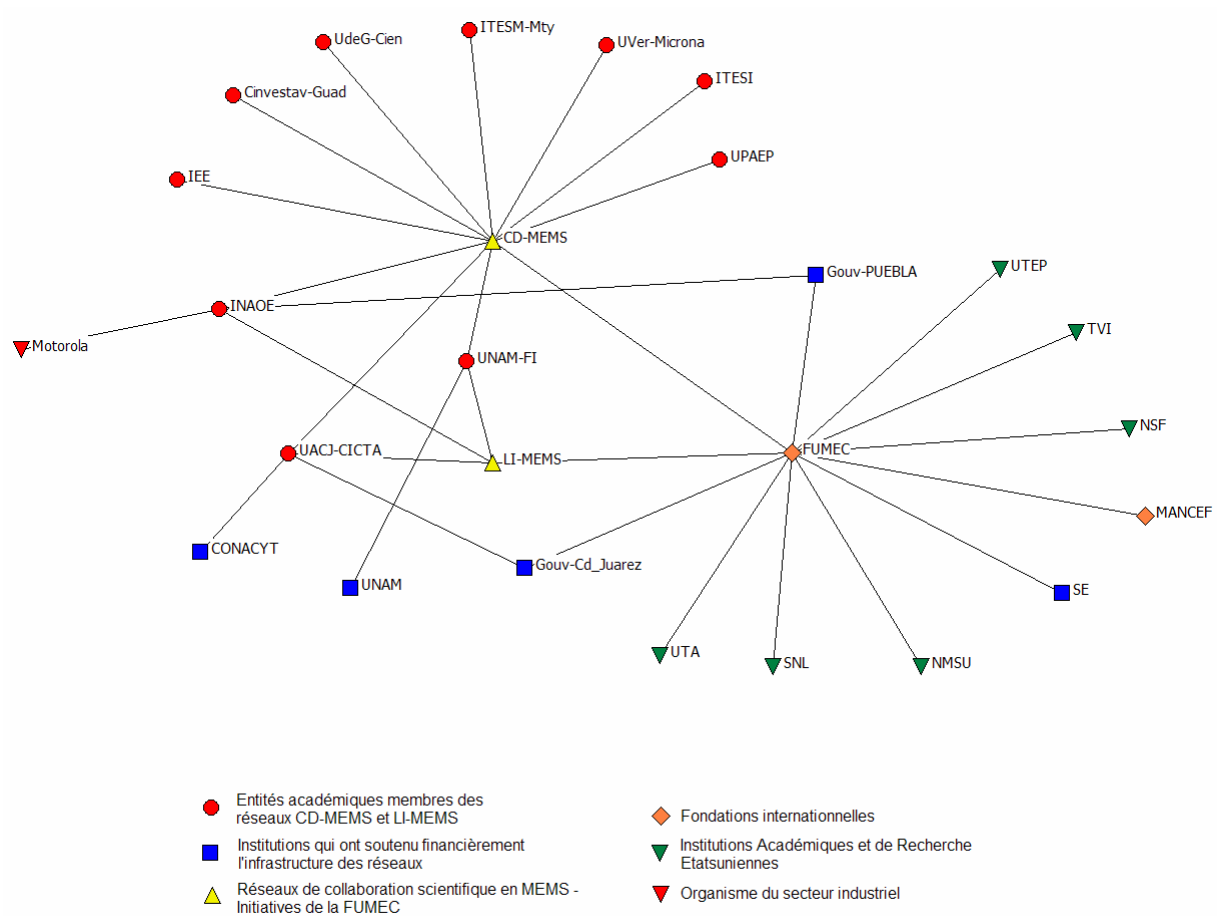
de l'analyse des réseaux sociaux (NetDraw) pour effectuer un graphique du réseau technico-économique dans ce pôle (voir Graphique 3.1).

Lors de la création du réseau CD-MEMS, nous avons identifié un total de dix-huit institutions de recherche et d'éducation, dont douze sont des institutions mexicaines et six sont étasuniennes. Les douze institutions mexicaines sont celles qui ont répondu à l'appel de la FUMEC pour créer le réseau de CD-MEMS, cependant seulement dix institutions ont pu concrétiser l'installation des centres de dessin. Sur l'infrastructure de ce réseau, nous avons évoqué antérieurement que les départements de recherche et les groupes de recherche ont eu besoin du soutien de leurs institutions car l'installation des postes de travail pour les CD-MEMS ont requis l'adaptation ou la construction de locaux. Par exemple, la Faculté d'Ingénierie de l'UNAM a été soutenue par la Direction de Recherche de l'UNAM afin d'adapter ses locaux pour recevoir les postes de travail. Cela a demandé l'implication de plusieurs organes des institutions académiques.

D'autre part, au départ de l'initiative du réseau CD-MEMS, la formation de chercheurs mexicains a requis l'intervention de plusieurs chercheurs provenant de diverses institutions étasuniennes de recherche et d'éducation. Cette formation, sous la forme d'ateliers, a aussi demandé des ressources économiques pour la mobilité des chercheurs. Les frais de déplacement des chercheurs mexicains ont été couverts par les institutions mexicaines et les frais des formateurs (chercheurs provenant des Etats-Unis) ont été couverts par la FUMEC. Le financement pour l'acquisition des postes informatiques et des logiciels a été apporté par le SE, la négociation du financement et la gestion de celui-ci ont été effectuées par la FUMEC.

Les deux réseaux de collaboration en tant qu'initiatives sont représentés par un triangle jaune dans le graphique 3.1. Le réseau CD-MEMS est constitué de dix institutions de recherche (cercles rouges) et nous pouvons voir que le réseau LI-MEMS est constitué de trois institutions qui font aussi partie du premier réseau. Ces deux réseaux sont liés à la FUMEC, qui est dans le graphique le centre d'un cluster constitué par des institutions étrangères et des institutions publiques mexicaines qui ont financés l'infrastructure des plateformes scientifiques. Ici, la FUMEC apparaît

comme le centre, car entre les réseaux CD-MEMS et LI-MEMS et leurs membres la Fondation a été l'acteur intermédiaire.



Liste des entités : Université National Autonome de Mexique (UNAM), Faculté d'Ingenierie de la UNAM (UNAM-FI), Institut National d'Astrophysique, Optique et Electronique (INAOE), Centre de Recherches et Etudes Avancés de l'Institut Polytechnique National campus Guadalajara (CINVESTAV-Guad), Institut d'Etudes Supérieures de Monterrey campus Monterrey (ITESM-Mty), Université de Veracruz centre Microna (Uver-Microna), Universidad Popular Autonome de l'Etat de Puebla (UPAEP), Institut de Recherches Electriques (IIE), Université Autonome de Ciudad de Juarez – Centre de Recherche en Science et Technologie Appliquée (UACJ-CICTA), Institut Technologique d'Etudes Supérieures d'Irapuato (ITESI), Université de Guadalajara campus Ciénega (UdeG-Cien), Conseil National des Science et Technologie du Mexique (CONACYT), Réseau de Centres de Dessin de MEMS (CD-MEMS), Réseau de Laboratoires d'Innovation en MEMS (LI-MEMS), Gouvernement de Ciudad Juárez (Gouv-Cd_Juárez), Gouvernement de l'État de Puebla (Gouv-Puebla), Université de Texas campus Austin (UTA), Laboratoires Nationaux Sandia (SNL), Université de l'Etat du Nouveau Mexico (NMSU), Ministère de l'Economis du Mexique (SE), Fondation pour l'Education et Commercialisation de Nano et Microtecgnologie (MANCEF), National Science Foundation (NSF), Institut Vocational Technique d'Albuquerque (TVI), et Université de Texas campus El Paso (UTEP).

Graphique 3.1. Réseaux dans le pôle scientifique de l'émergence de MEMS au Mexique.

III.4.2.2. L'économie dans le pôle scientifique

Des acteurs économiques dans le pôle scientifique sont aussi présents. Par exemple, nous considérons l'organisme international MANCEF comme un acteur économique dans ce pôle. En effet, la FUMEC, en tant que membre de cet organisme international, a utilisé des rapports, des études de marché, des RoadMaps, entre autres documents produits par la MANCEF pour insister sur le fait

que la technologie des microsystèmes est une fenêtre d'opportunités pour le Mexique. En plus, nous le classons aussi comme un acteur économique car il a pour but, entre autres, la commercialisation des produits issus des micro et nanotechnologies, dont les MEMS, et ceci est un objectif économique.

Un autre acteur qualifié comme économique est l'entreprise Motorola, qui a fait le don d'une ligne de fabrication de circuits intégrés à l'INAOE dans le cadre d'une initiative nommée « Latinchip », initiative créée dans la décennie de 1990. Le don de cet équipement a commencé en 2000, il a été concrétisé en 2003 et a été annoncé comme une action pour soutenir le développement technologique en Amérique Latine (INAOE, 2003 ; CONACYT 2004). Cependant lors d'une discussion avec un chercheur qui a travaillé à Motorola, celui-ci nous explique que Motorola avait fait ce don car cette ligne de fabrication de circuits intégrés était obsolète pour l'industrie, mais « *à des fins académiques et de recherche est une excellente équipement* » (Gutierrez, 2008). Il paraît que le don de cette ligne de fabrication a été fait parce qu'en 2000 Motorola a vendu son site de production situé en Zapopan, près de la ville de Guadalajara, à l'entreprise On Semiconductor, qui a finalement fermé l'usine en 2002 (Jaén, 2005). Un autre chercheur nous a confirmé cela en nous disant que le don a été fait à cause de la fermeture de Motorola à Guadalajara. Pour l'entreprise Motorola, faire ce don a représenté un retour économique via les impôts. L'autre partie de l'infrastructure de Motorola de Guadalajara a été envoyée comme un don à l'Université de São Paulo et à l'Université de l'État de Campinas, au Brésil (ISTEC, 1999).

III.4.3. Pôle technique : la FUMEC au milieu des articulations des acteurs

En accord avec Callon et al. (1991), le pôle technique est l'espace où « la conception et l'élaboration de dispositifs matériels dotés d'une cohérence propre (...) et capables de rendre des services spécifiques » ont lieu. De la même manière comme nous l'avons fait avec le pôle scientifique, nous nous sommes penchés sur les initiatives menées par la FUMEC qui visent le développement des dispositifs MEMS. Notre objectif était de caractériser les acteurs et leurs relations lors de la conception et la réalisation de ces objets techniques.

Jusqu'à l'écriture de ces lignes, très peu de projets de développement de dispositifs MEMS ont été concrétisés au Mexique. Cependant, toutes les initiatives qui forment le Programme de Microsystèmes sont orientées vers l'établissement de relations entre les secteurs universitaire et productif pour le développement des applications des MEMS. Dans le Graphique 3.2 nous représentons les réseaux technico-économiques dans le pôle technique.

III.4.3.1. Le CAP-MEMS de la FUMEC : une initiative qui vise l'application des nouvelles connaissances

Une initiative intéressante à analyser est celle de la création du Centre d'Articulation Productive de MEMS (CAP-MEMS). Il a été créé en 2004 et a été financé par le SE, institution fédérale qui lui a attribué trois financements²². Ce centre est constitué par le groupe de la FUMEC qui a dirigé le Programme de Microsystèmes depuis le début. Entre les objectifs du CAP-MEMS figurent ceux d'identifier et de soutenir des projets de nouveaux produits MEMS, d'identifier des niches d'opportunité dans l'application des MEMS pour le Mexique, ainsi qu'identifier des projets conjoints avec des entreprises dans ce domaine. En plus, dans le rapport d'activités 2004-2005 de la FUMEC, il est écrit que l'objectif du CAP-MEMS est de « faciliter les relations entre des entrepreneurs, académiques et décideurs afin de générer des collaborations qui permettent le développement des nouveaux produits » (FUMEC, 2006). Les activités effectuées dans le CAP-MEMS sont orientées vers l'accomplissement de ces objectifs. Ces activités sont, par exemple, la réalisation de forums entre des entrepreneurs et des technologues. Les forums ont été organisés en fonction des secteurs stratégiques identifiés par les études de prospective technologique de la FUMEC. En 2004, un total de onze forums a eu lieu sous l'organisation du CAP-MEMS de la FUMEC : trois pour le secteur des télécommunications, quatre pour le secteur de la santé (BioMEMS), deux pour le secteur de l'énergie et deux pour le secteur de l'emballage de MEMS. Actuellement le CAP-MEMS est considéré comme un *spin-off* de la FUMEC. À partir des exposés faits par le CAP-MEMS, des rapports d'activités et des informations recueillies lors

²² Il s'agit des projets FP2004-399, FP2005-171 et FP2006-2179 financés dans le cadre du programme Fond PYME du Ministère de l'Économie du Mexique (cf. Tableau 1.1).

LAPEM) et privés (CANIETI et Delphi), ainsi qu'un autre organisme philanthropique (FMS). Dans ce réseau, la FUMEC, par le biais du CAP-MEMS, a eu la fonction de faciliter l'accès aux ressources pour la création de l'espace de rencontre des différents acteurs, d'où peuvent surgir de nouvelles relations autour de la conception et du développement de dispositifs MEMS.

III.4.3.2. Conception et développement d'un micro capteur du champ magnétique

D'autre part, dans le graphique précédant, nous montrons également le réseau technico-économique de la conception et du développement d'un dispositif MEMS commandé par une entreprise pour couvrir une application précise. Le projet de recherche que nous analysons dans cette partie porte en effet sur la conception d'un micro capteur magnétique et la mise en place d'un système de veille du champ magnétique dans un processus de production de tubes d'acier pour l'industrie d'extraction du pétrole. Ce projet a été déjà évoqué à plusieurs reprises dans ce chapitre, et en fait il s'agit de l'un des rares dispositifs MEMS conçu et développé au Mexique.

Le projet a initié à l'initiative de l'actuel directeur du centre Microna, qui ayant de l'expérience dans le monde de l'industrie, décide d'aller frapper aux portes de l'industrie locale²³ pour offrir les capacités technologiques du nouveau centre de recherche. C'était alors par le biais d'un professeur de la Faculté d'Ingénierie de l'Université de Veracruz, où se trouve ce centre de recherche, qu'il y a eu un premier rapprochement avec l'entreprise Tenaris Tamsa. Une fois que l'entreprise a montré son intérêt pour les capacités techniques des MEMS, une série de réunions entre les ingénieurs de l'entreprise Tenaris Tamsa et les chercheurs du centre de dessin ont eu lieu. Lors de ces réunions, les chercheurs exposèrent les capacités des laboratoires et les ingénieurs les problèmes techniques rencontrés. Ils se rendirent

²³ Ici il est important de signaler que la région se caractérise par ses activités agricoles et piscicoles. Les activités industrielles d'extraction ou de transformation ne sont pas aussi importantes qu'au Nord et au Centre du pays. Dans l'état de Veracruz, l'industrie d'extraction la plus importante est celle du pétrole et la plus importante industrie de transformation dans cette région est l'entreprise Tenaris Tamsa qui fabrique des tubes d'acier spéciaux pour l'extraction du pétrole.

compte qu'avec les connaissances en microélectronique et en matériaux avancés (détection de champs magnétiques), les chercheurs de Microna étaient capables de résoudre un problème du contrôle du champ magnétique lors de la production de tubes d'acier pour l'extraction du pétrole. Le projet du micro capteur magnétique (nommé MEMS_SensorMagnet dans le graphique 3.2) fut rédigé en collaboration avec l'industrie et cette dernière finança la première étape du projet.

Plus tard, les chercheurs du centre se rendirent compte que pour réussir le projet, il fallait également concevoir tout le système de contrôle du champ magnétique : depuis le capteur jusqu'au logiciel qui décrypte le signal, lequel affiche les mesures sur les écrans des opérateurs. Cela signifiait de développer un autre projet de recherche, qui serait un système d'acquisition et de traitement des données. Ce deuxième projet fut financé par la FUMEC et le SE. Lors de notre visite au centre Microna, le projet se trouvait à l'étape du test du prototype. Finalement, deux objets techniques furent développés (le capteur magnétique et le système de veille du champ magnétique), deux brevets ont été déposés et le projet a été financé par quatre entités (Tamsa, PROMEP, FUMEC et SE). Le financement de la FUMEC et du SE s'est fait dans le cadre du CAP-MEMS.

III.4.4. Pôle marché : articulation d'acteurs et traduction

Dans la définition apportée par Callon et al. (1991), le pôle marché correspond « à l'univers des utilisateurs ou des usagers. Il ne s'agit pas du marché de la théorie économique, qui est la rencontre d'une offre et d'une demande, mais du marché des praticiens qui décrit essentiellement l'état de la demande ». Selon ces auteurs à travers les réseaux existants dans ce pôle, se produit et circule « de l'information plus ou moins intelligible, plus ou moins explicite sur l'identité des usagers et ce qu'ils attendent ». Ici, dans ce contexte des relations et d'interactions entre les producteurs de connaissances (l'offre) et les usagers (la demande), ce qui nous intéresse est de rendre compte de la place de la FUMEC.

III.4.4.1. Création de l'espace pour l'articulation des acteurs

Dans le pôle technique, nous avons explicité la fonction de la FUMEC, via le CAP-MEMS, lors de la création des espaces de rencontres entre des acteurs du côté de l'offre et de la demande. Ces espaces se concrétisent dans les forums évoqués.

C'est en effet pendant ces forums que des acteurs scientifiques et des technologues exposent leurs expertises et capacités scientifiques et technologiques devant des usagers potentiels (les industriels), qui à leur tour peuvent également exprimer leurs besoins.

D'ailleurs, d'autres initiatives de la FUMEC proposent également des espaces de rencontre entre l'offre et la demande. Une de ces initiatives est le Consortium Mexicain de Microsystèmes (CMM), organisme créé en 2007 comme une Association Civile et qui s'inspire de l'expérience du Consortium Canadien de Microsystèmes (CCM). Le Comité Directeur du CMM est composé de deux personnes provenant du secteur productif et le Conseil d'Administration est constitué de membres de l'académie, de l'industrie et du gouvernement. Dans le site Web de la Fondation, nous pouvons lire que le CMM « promeut la compétitivité d'entreprises et les centres de recherche à travers l'usage de microsystèmes ». Avec plus de détail, dans un document de la FUMEC, douze objectifs sont déterminés pour atteindre la mission du CMM, dont ceux de la consultation et de l'articulation, de la création d'alliances stratégiques et de l'intégration de clusters régionaux d'haute technologie. En fait, la stratégie du CMM consiste à rassembler des acteurs potentiels pour l'installation et le développement des microsystèmes au Mexique. Dans une présentation du CMM, l'infrastructure est divisée en éducative et entrepreneuriale ; la première est constituée par vingt et une institutions d'éducation et de recherche (dont celles qui forment les réseaux CD-MEMS et LI-MEMS) et l'infrastructure entrepreneuriale est formée de cinq entreprises mexicaines d'innovation. Le champ d'action du CMM ne se limite pas au domaine de la Technologie de Microsystèmes, lors des exercices de prospective technologique, la FUMEC a en effet identifié deux autres niches technologiques très proches des MEMS : la technologie FPGA et la technologie de systèmes embarqués²⁴. Le réseau technico-économiques du CMM est présenté dans le graphique 3.3, sur lequel tous

²⁴ Un FPGA (field-programmable gate array), ou un circuit logique programmable, est un composant électronique qui peut être programmé après sa fabrication afin de pouvoir être utilisé sur différents systèmes électroniques. En revanche, un système embarqué (embedded system), qui se définit comme un système électronique et informatique autonome, est destiné à une application précise, sans la possibilité d'être programmable comme un FPGA.

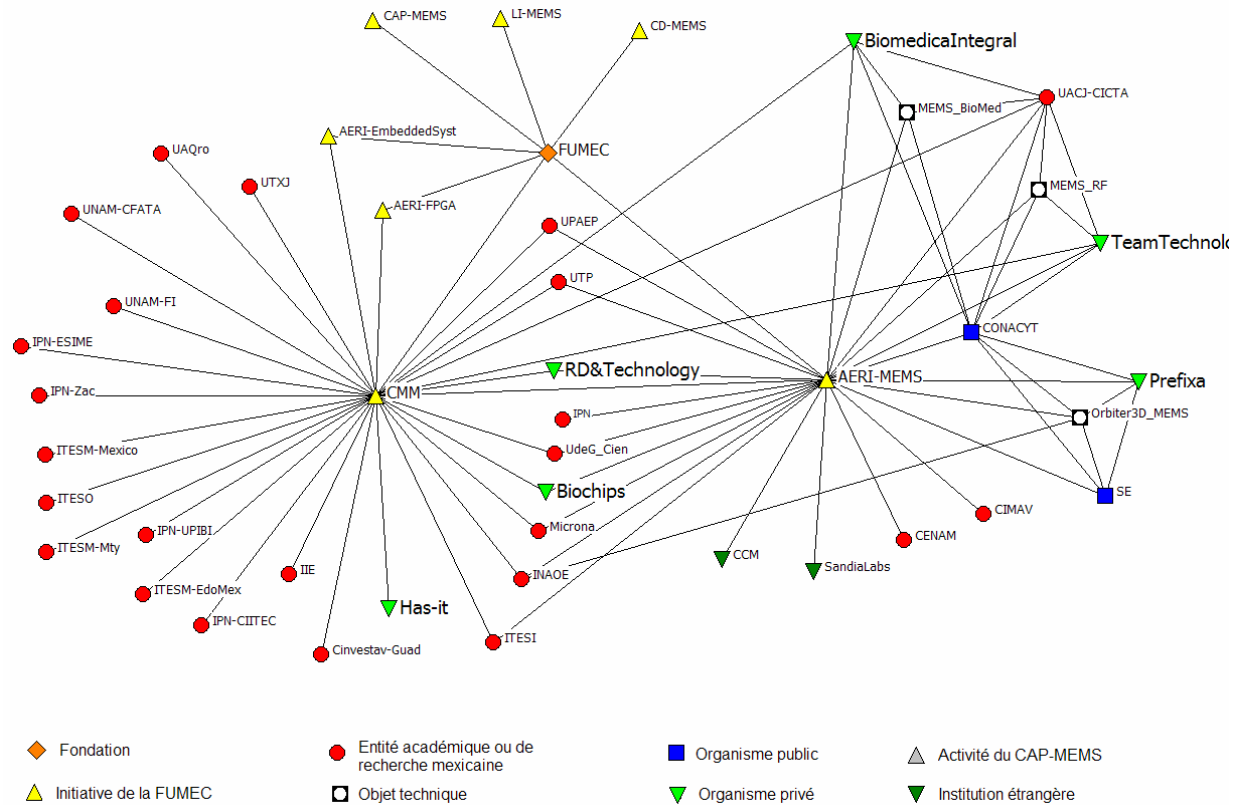
les acteurs identifiés dans notre étude figurent, ainsi que leurs relations entre eux et avec d'autres initiatives de la FUMEC dans le cadre du Programme de Microsystèmes.

Une autre initiative de la FUMEC que nous analysons à partir de cette approche du réseau technico-économique est l'Alliance Stratégique et Réseaux d'Innovation en MEMS (AERI-MEMS). Cette initiative s'inscrit dans le programme AVANCE du CONACYT, qui a lancé en 2008 un appel à projets pour constituer des alliances et des réseaux de collaboration entre des institutions de recherche et des entreprises, afin d'augmenter la compétitivité du secteur productif qui les concerne. La FUMEC, à travers du CMM, a répondu à l'appel aux projets en proposant la constitution de trois AERI, dont celle en MEMS. Le réseau technico-économique de l'AERI-MEMS est montré dans le graphique 3.3, les dix institutions de recherche et d'éducation et les cinq entreprises qui font partie de cette alliance sont également montrées. L'AERI-MEMS compte aussi avec des collaborations avec les Laboratoires Sandia et le Consortium Canadien de Microsystèmes (CCM).

Dans le cadre de l'AERI-MEMS, un total de trois projets d'innovation a pu être concrétisé. Un des projets concerne une caméra pour numériser des objets en 3D. Elle a été développée par l'entreprise Prefixa Vision Systems S.A de C.V. créée en 2006 par de jeunes diplômés de l'INAOE. Cette entreprise est une PME (petite et moyen entreprise) technologique située dans l'État de Puebla, elle a eu le soutien de l'incubateur d'entreprises de l'ITESM campus Puebla pour sa création. En 2008, avec le projet de fabrication d'un prototype d'une caméra 3D, nommée Orbiter 3D, l'entreprise a été conseillée et soutenue par TechBA-Silicon Valley²⁵ pour présenter son projet auprès du programme du Fond d'Innovation Technologique du CONACYT et du SE. Le projet a été accepté et financé, ce qui a permis que la caméra Orbiter 3D puisse être commercialisée. Plus tard, en 2010, on a demandé à Prefixa, en tant que membre de l'AERI-MEMS, de concevoir une nouvelle caméra pour numériser

²⁵ TechBA est un programme d'accélération de business technologiques (Technology Business Accelerator) créé en 2004 par le Ministère de l'Économie du Mexique et la FUMEC. Actuellement ce programme compte avec huit bureaux : Arizona, Austin, Michigan, Seattle, et Silicon Valley aux États-Unis, Vancouver et Montréal au Canada et Madrid en Espagne.

des dispositifs MEMS ; donc par le biais de cette AERI un nouveau projet d'innovation a été financé par le CONACYT et le SE. Il est aussi important de souligner que Prefixa a compté depuis sa naissance sur le soutien scientifique de l'INAOE, institution qui participe aussi au dernier projet.



Liste des entités : Faculté d'Ingenierie de la UNAM (UNAM-FI), Centre de Physique Appliquée et Technologie Avancée de l'UNAM (UNAM-CFATA), Université Autonome de Queretaro (UAQro), Institut National d'Astrophysique, Optique et Electronique (INAOE), Institut Politechnique National campus Zacatenco (IPN-Zac), École Supérieur d'Ingénierie Mécanique et Électrique de l'IPN (IPN-ESIME), Centre de Recherche et Innovation Technologique de l'IPN (IPN-CIITEC), Unité Professionnel Interdisciplinaire de Biotechnologie de l'IPN (IPN-UPIBI), Centre de Recherches et Etudes Avancés de l'IPN campus Guadalajara (CINVESTAV-Guad), Université Autonome de Ciudad de Juarez – Centre de Recherche en Science et Technologie Appliquée (UACJ-CICTA), Université Technologique de Puebla (UTP), Université Technologique de Xicotepéc de Juárez (UTXJ), Institut Technologique d'Etudes Supérieures d'Irapuato (ITESI), Institut Technologique et d'Études Supérieurs d'Occident (ITESO), Université de Guadalajara campus Ciénega (UdeG-Cien), Université Populaire Autonome de l'Etat de Puebla (UPAEP), Institut d'Etudes Supérieurs de Monterrey campus Monterrey (ITESM-Mty), Institut d'Etudes Supérieurs de Monterrey campus Mexico (ITESM-Mexico), Institut d'Etudes Supérieurs de Monterrey campus État de Mexico (ITESM-EdoMex), Centre Microna (Microna), Institut de Recherches Electriques (IIE), Centre National de Métrologie (CENAM), Réseau de Centres de Dessin de MEMS (CD-MEMS), Réseau de Laboratoires d'Innovation en MEMS (LI-MEMS), Alliance Stratégique et Réseaux d'Innovation en MEMS (AERI-MEMS), Alliance Stratégique et Réseaux d'Innovation en FPGA (AERI-FPGA), Alliance Stratégique et Réseaux d'Innovation en Systèmes Embarqués (AERI-EmbeddedSyst), Consortium Mexicain de Microsystèmes (CMM), Consortium Canadien de Microsystèmes (CCM), Centre d'Articulation Productive en MEMS (CAP-MEMS), Ministère de l'Economis du Mexique (SE) et Conseil National de Science et Technologie (CONACYT).

Graphique 3.3. Réseaux dans le pôle marché de l'émergence de MEMS au Mexique.

Le deuxième projet identifié est le développement d'un dispositif d'interrupteurs basé sur la technologie de RF-MEMS. Une des applications de ce dispositif MEMS sert à l'industrie de la téléphonie mobile, et le brevet d'un interrupteur pour ce type d'application a en fait été déposé. Ce projet est financé

partiellement par le CONACYT, et il est développé en collaboration avec le CICTA de l'UACJ et l'entreprise Team Technologies (qui finance l'autre partie du projet) située également à Ciudad Juárez. Cette dernière entreprise est cataloguée comme une PME technologique et elle compte avec des capacités technologiques non négligeables, qui ont été acquises grâce aux financements publics qu'a pu obtenir la FUMEC (voir chapitre II).

Un troisième projet d'innovation qui se déroule dans le cadre de l'AERI-MEMS est celui du développement d'un système biomédical basé en microtechnologies pour la veille du flux respiratoire chez l'enfant prénatal. Ce projet a son origine dans l'entreprise Biomedical Integral, qui est une PME technologique située dans l'État de Puebla et elle est spécialisée dans la fabrication et la commercialisation des incubateurs prénataux. Le financement pour ce projet d'innovation provient du CONACYT et la partie de la conception et de la fabrication des dispositifs MEMS est assurée par l'UACJ-CICTA.

Finalement, dans le graphique 3.3, nous pouvons voir les noeuds qui représentent les dispositifs MEMS développés dans le réseau technico-économique de l'AERI-MEMS, qu'avec le réseau du CMM nous avons classés dans le pôle du marché. Concernant les dispositifs MEMS, les noeuds qui correspondent à ces objets techniques se trouvent liés à des acteurs du côté de l'offre et du côté de la demande. Dans les réseaux technico-économiques de ces dispositifs MEMS, des institutions gouvernementales ont également été identifiées. Elles sont là seulement pour financer. Ces financements sont évidemment le résultat des politiques de ces institutions gouvernementales. Ici, les fonctions de la FUMEC ont été celles d'intermédiaire entre les institutions gouvernementales d'une part et les entreprises et les institutions de recherche d'autre part, et celles de faciliter la création d'un espace de rencontre et de circulation de l'information, entre l'offre et la demande, cet espace d'où sort l'esquisse de l'objet technique.

III.5. Conclusions : convergence des approches sur la notion de « réseau » pour la compréhension des dynamiques de collaborations scientifiques et technologiques

Dans ce chapitre, nous avons analysé la formation de réseaux de collaboration dans le domaine des MEMS au Mexique. Nous nous sommes intéressés aux fonctions de la FUMEC dans la création des réseaux CD-MEMS et LI-MEMS. Nous avons montré que dans les deux cas de création de réseaux, la FUMEC a eu une place importante et ses fonctions ont été de définir les initiatives, de chercher le financement, de faciliter les conditions pour les espaces de rencontre, ainsi que de gérer et de coordonner les activités dans le cadre des initiatives. D'autre part, nous avons également noté que les fonctions de la FUMEC ont des limites marquées par une série de facteurs propres aux activités scientifiques. En effet, dans les processus de l'établissement des règles d'accès et d'usage aux plate-formes scientifiques, la FUMEC n'a pas eu d'incidence. Nous avons trouvé plusieurs points à noter dans ces conclusions, nous allons les expliciter.

Un premier point concerne les résultats du croisement des deux approches qui mobilisent la notion de « réseau » : celle de la théorie de l'acteur réseau et celle de l'analyse des réseaux sociaux. Pour cela, nous avons mobilisé des données qualitatives et quantitatives et la convergence de ces deux approches nous a permis de dépasser certaines limites rencontrées dans les deux propositions théoriques. Par exemple, l'identification d'acteurs dans les réseaux est une des limites rencontrées dans les deux approches. Dans notre étude, nous avons caractérisé dans le premier chapitre les réseaux de collaboration scientifique dans le domaine des MEMS au Mexique (cf. graphique 1.4) à partir du comptage d'articles publiés. Cette première analyse, basée sur l'approche de l'ARS, nous a permis d'identifier les acteurs dans le développement des MEMS et leurs relations. Ces collaborations sont principalement des relations informelles, dans le sens qu'elles n'ont pas été formalisées à travers d'accords interinstitutionnels de collaboration. L'analyse effectuée dans ce troisième chapitre, nous a permis d'élargir l'identification des acteurs non scientifiques qui ont également un poids non négligeable dans la production et l'usage des nouvelles

connaissances. Les résultats nous ont en effet montré l'implication d'autres acteurs qui n'ont pas été identifiés dans l'analyse de co-signatures d'articles, tels que la FUMEC, le SE, la MANCEF et d'autres acteurs institutionnels.

Le deuxième point porte sur l'étude de la formation des réseaux de collaboration. D'abord, nous nous sommes intéressés particulièrement à la compréhension des dynamiques des réseaux de collaborations scientifiques et technologiques autour des MEMS. Dans cette perspective, nous avons constaté l'hypothèse que la formation des réseaux de collaborations scientifiques constitue une réponse pour pallier au manque d'infrastructures scientifiques et technologiques dans le cas des MNT au Mexique. Nous avons montré que cette manière d'organiser la recherche sous forme de réseaux de collaborations a été le choix de la FUMEC afin de rationaliser le peu de ressources scientifiques disponibles. Dans cette étape de la création des réseaux, la FUMEC a eu les fonctions de définir les initiatives, de promouvoir les collaborations, d'obtenir et négocier les financements, et de coordonner les activités pour la création des réseaux. D'autre part, nous avons également relevé que la problématique de l'accès et de l'usage des instruments scientifiques est un des éléments que les acteurs scientifiques prennent en compte dans leurs stratégies pour établir des relations de collaboration. L'analyse de la gestion de l'accès et de l'usage des plateformes scientifiques, nous a permis d'identifier une série de facteurs locaux et endogènes aux laboratoires et aux pratiques scientifiques qui sont aussi pris en compte lors de l'établissement des relations de collaboration. Dans la caractérisation de ces facteurs, nous avons constaté que ceux-ci font parties des incertitudes que les acteurs scientifiques rencontrent. Hubert (2009) a signalé que ces incertitudes ont un impact sur les manières de réguler l'accès et l'usage des plateformes. Cela nous a aidé à expliquer pourquoi la FUMEC n'est pas présente dans les processus de régulation d'accès et d'usage des plateformes scientifiques, alors qu'elle a soutenu et promu leur installation. Les facteurs que nous avons identifié sont les règles préexistantes et leur ajustement, la disponibilité des ressources, les capacités et configurations des instruments scientifiques et les orientations et préférences scientifiques des laboratoires. Bien sûr que cette liste n'est pas exhaustive et elle ne prétend pas l'être, car les facteurs qui constituent les incertitudes auxquelles les chercheurs sont confrontés vont varier d'un contexte à un autre. La caractérisation de ces facteurs

peut apporter des éléments pour qualifier et comprendre la notion de « relation », qui constitue une des limites communes entre les deux approches (Grossetti, 2007) mobilisées dans cette étude.

Dans la dernière partie de ce chapitre, afin d'essayer d'approfondir notre analyse sur les dynamiques des réseaux de collaborations scientifiques et technologiques, nous avons fait appel à l'approche du réseau technico-économique. Dans cette analyse, nous avons caractérisé les relations entre les divers acteurs, dans les trois pôles où la production de nouvelles connaissances autour des MEMS se développe : pôle scientifique, pôle technologique et pôle marché. L'intégration des outils de l'ARS nous a permis d'effectuer des représentations graphiques des réseaux technico-économiques dans les trois pôles. Dans les résultats, nous avons constaté l'hétérogénéité des acteurs dans chaque pôle et nous avons caractérisé leurs relations. Dans le pôle scientifique, par exemple, nous avons pris en compte les initiatives orientées vers le soutien de l'installation d'infrastructures et des activités de recherche scientifique. Cela nous a permis de montrer les relations des divers acteurs qui représentent des intérêts hétérogènes et le degré de centralité de ces acteurs dans les réseaux. Enfin, les réseaux technico-économiques représentés dans les graphiques du dernier sous-chapitre montrent que la FUMEC se situe comme un acteur assez central dans les relations.

Chapitre IV. Formation, accumulation et mobilisation du capital humain pour le développement des MEMS au Mexique

Les avancements scientifiques et technologiques dans le domaine des MNT ont également un impact sur l'académie. L'installation, l'adoption et le développement des nouvelles technologies demandent également des ressources humaines spécialisées. La création de nouveaux groupes ou départements de recherche en MNT, dans lesquels des doctorants seront formés, s'inscrit dans cette dynamique. En effet, le développement de ces nouvelles technologies demande des ressources humaines avec des nouvelles connaissances et savoir-faire pour répondre aux nouveaux besoins des industries qui utilisent les MNT et pour répondre également à d'autres problématiques sociétales, tels que les craintes sur les risques des nanotubes, par exemple. Cela se reflète dans la révision de la curricula des programmes d'études de plusieurs domaines proches des MNT qui cherche à offrir de nouveaux cours d'enseignement (Lyshevski *et al.*, 2006 ; Ozel et Ozel, 2008).

Au Mexique, plusieurs programmes d'études autour des MNT ont aussi émergé ces dernières années (Barrañon et Juanico, 2010). Ces programmes sont proposés dans les niveaux d'ingénierie, de master et de doctorat en sciences, et ce principalement en science des matériaux et dans les domaines proches de la

physique, de la chimie et de la biologie. Concernant le développement de MEMS au Mexique, dans le Programme de Microsystèmes de la FUMEC, des activités concernant la formation de ressources humaines ont eu lieu. Ces activités se sont déroulées sur différents niveaux pour pallier le manque de capital humain spécialisé dans le développement des MEMS. D'une part, des cours pour former des chercheurs mexicains ont été organisés par la FUMEC dans le cadre de la création du réseau CD-MEMS. D'autre part, certaines institutions de recherche et d'éducation ont intégré dans leurs programmes d'études dans les différents niveaux (ingénierie, master et doctorat) des cours sur les MEMS et des disciplines qui convergent vers ce domaine. Nous avons également identifié, pour les entreprises, la réalisation de plusieurs séminaires et de cours.

Dans ce chapitre, nous allons étudier les programmes de formation de ressources humaines pour le développement de MEMS au Mexique, et la place de la FUMEC lors de l'émergence de ces programmes.

Nous nous intéresserons aux dynamiques qui ont déterminé la formation de ces programmes d'études. Pour cela, dans une première partie nous allons, d'une part, expliquer le cadre théorique sur la formation et l'accumulation du capital humain et sa relation avec l'installation et l'émergence des nouvelles technologies. D'autre part, nous allons analyser l'émergence de programmes d'études dans le domaine des MNT au Mexique et comment la formation des ressources humaines s'inscrit dans le Programme de Microsystèmes de la FUMEC. Dans le deuxième sous-chapitre, nous allons examiner la mobilisation des ressources humaines dans les actions et les initiatives de la FUMEC et nous allons également préciser quels sont les mécanismes de la FUMEC pour effectuer cette mobilisation. Finalement, dans la troisième partie de ce chapitre, nous allons analyser la propagation des programmes pour la formation des ressources humaines spécialisées en MEMS hors du Programme de Microsystèmes de la FUMEC.

IV.1. Le capital humain dans le Programme de Microsystèmes de la FUMEC

IV.1.1. La demande de capital humain issue des sciences et technologies émergentes

Dans la littérature académique, il est reconnu que l'accumulation du capital humain est un facteur important dans les processus de changement technologique et d'innovation. Dans la théorie de l'économie, il a été défini le principe selon lequel certains types d'éducation attribuent des compétences aux personnes pour accomplir certaines tâches ou fonctions plus efficacement (Nelson et Phelps, 1966) ; si l'on s'appuie sur ce principe, l'adoption et le développement des nouvelles technologies demandent des ressources humaines spécialisées. En plus, l'accumulation du capital humain spécialisé est de plus en plus un facteur important dans le développement économique et social des nations dans le contexte de la globalisation (David et Foray, 2002). Freire-Serén (2001) identifie dans la littérature académique (principalement en économie) deux axes sur lesquels l'investissement dans la formation du capital humain peut contribuer au développement :

1. Le capital humain peut participer directement dans la production comme un facteur productif.
2. Le capital humain peut contribuer à accroître le progrès technique, car l'éducation facilite l'innovation, la diffusion et l'adoption des nouvelles technologies.

Ces contributions du capital humain sont aussi reconnues par des institutions internationales pour le développement. Par exemple, dans un rapport l'OCDE signale qu'un des facteurs importants dans le développement et l'émergence des clusters technologiques et d'innovation est les systèmes d'enseignement, de soutien et de formation qui sont nécessaires pour répondre à la demande croissante de compétences (OCDE, 2002). En plus, dans la plupart des pays, les politiques en science et technologie orientent leurs efforts vers l'accumulation du capital humain, ce qui se concrétise entre autre par l'installation d'infrastructures pour des universités, des instituts ou centres d'études, par la création de nouveaux

programmes d'études, par le biais des bourses d'études dans les différents niveaux d'éducation.

La spécialisation du capital humain pour répondre aux nouvelles exigences des technologies émergentes pose également la question du remplacement des ressources humaines (Song, 2009 ; Nelson et Phelps, 1996). Nelson et Phelps expliquent que « certains analystes ont spécifié une production dans laquelle la production dépend du capital tangible et du *travail effectif*, ce dernier est une somme pondérée du nombre de travailleurs, le poids attribué à chaque travailleur est une fonction croissante du niveau de scolarité. Cette spécification suppose que les hommes très instruits remplacent parfaitement des hommes peu scolarisés ». D'autre part, dans les pays non hégémoniques, souvent le manque d'opportunités professionnelles pour les jeunes diplômés est une cause de la fuite des cerveaux (*brain-drain*), ce qui est encore un problème latent malgré les efforts pour le diminuer (Losego et Arvanitis, 2008).

IV.1.2. Le capital humain dans l'émergence des MNT au Mexique : formation de ressources humaines pour un marché du travail embryonnaire

La demande de nouvelles compétences issue de l'arrivée des nouvelles sciences et technologies nous aide à comprendre la création ou réorientation des programmes d'études dans les différents niveaux. Dans le cas des MNT au Mexique, nous avons observé l'émergence et la réorientation de programmes d'études dans les différents cycles de l'éducation supérieure. Actuellement, dans plusieurs centres et instituts de recherche et d'éducation mexicains, des étudiants en ingénierie prennent des cours sur les nanotechnologies et des étudiants de master et des doctorants développent des projets de recherche sur la matière à l'échelle micro et nanométrique. En outre, à l'instar d'autres pays qui investissent dans les MNT, nous commençons à voir l'émergence de programmes d'études doctorales et d'ingénierie spécialisés dans ce domaine. Un exemple de ces programmes est celui que propose l'IPICYT : il s'agit du programme de Doctorat avec option « Nanosciences et Nanotechnologies ». Ce programme doctoral a débuté en 2002 sous l'étiquette « doctorat en matériaux », laquelle a été changée, en 2004,

par « Nanosciences et Nanotechnologies ». Ce changement fait partie de la stratégie du centre pour répondre à l'émergence des nanosciences, le responsable du programme doctoral nous dit :

« Nous voulons renforcer de nouveau le programme en fonction de l'évolution naturelle des nanosciences. Nous sommes convaincus qu'il faut que ce soit un programme comme celui de biologie moléculaire. Si la biologie moléculaire, est une discipline d'avant-garde en tant que science stratégique, alors les nanosciences le sont aussi. Les deux sont émergentes. La biologie est ancienne et récente à la fois, car aujourd'hui elle intervient sur une partie très importante du développement. [Le domaine des] nanosciences est complètement neuf, [il] est émergent, c'est quelque chose qui vient de surgir. Evidement, il convient qu'il soit séparé [des autres programmes]. Voilà! C'est comme ça que nous le voyons et que le comité d'évaluation l'a vu » (Rodríguez, 2008).

Les premiers programmes pour la formation de ressources humaines dans les MNT ont été proposés pour le niveau du troisième cycle. La plupart des ressources humaines formées dans ces programmes s'orientent vers la recherche et l'académie, cependant, il est fréquent que les jeunes chercheurs issus de ces formations doctorales partent à l'étranger pour effectuer des études postdoctorales et il est commun, à cause du manque d'offres de travail au Mexique, qu'ils restent à l'étranger, ce qui pose le problème du *brain-drain*. Une autre partie, moins importante, de ses jeunes diplômés se dirige vers l'industrie. En fait, dans l'IPICYT il existe une modalité du doctorat intitulée « Doctorat Direct en Sciences Appliquées » qui est proposé aux professionnels afin de leur permettre d'effectuer un doctorat sur un sujet de recherche relatif à l'industrie.

D'autre part, des programmes dans le deuxième cycle ont aussi été définis pour répondre à l'émergence de ces sciences et technologies au Mexique. Tel est le cas de l'Université des Amériques dans l'État de Puebla qui a créé le premier programme d'études supérieures en MNT en Amérique latine : une licence en Nanotechnologie et Ingénierie Moléculaire. Postérieurement, d'autres institutions d'éducation ont également lancé leurs propres programmes d'études dans ce

domaine. En 2009, l'Institut Technologique de Tijuana a commencé son programme en Ingénierie en Nanotechnologie, un an après l'Université Autonome de Querétaro a lancé son programme pour former des ingénieurs en nanotechnologie et l'UNAM a prévu de commencer son programme cette année.

Concernant le cas particulier du domaine des MEMS, nous avons également constaté l'émergence d'une offre assez large de formations des ressources humaines au Mexique. Dans le tableau 4.1, figure une liste des institutions et des programmes d'études pour la formation de ressources humaines autour de la technologie de microsystèmes. Les programmes d'études que nous avons identifiés sont la plupart destinés au niveau du troisième cycle. Il s'agit des programmes du Master et du Doctorat dans divers domaines. Nous notons que celui de l'électronique a une place assez importante dans la formation de spécialistes en MEMS. Les sujets sur la technologie MEMS sont donc enseignés à partir de différentes problématiques d'application et de diverses approches. Par exemple, dans certains programmes, les sujets concernent la science de matériaux et les matériaux semi-conducteurs pour des applications dans les MEMS ; alors que d'autres, dans le domaine de la microélectronique ou la mécatronique, se centrent sur la conception et la fabrication de dispositifs avec des applications concrètes. Les diplômés issus de ces programmes du troisième cycle sont plutôt orientés vers la recherche et l'académie que vers l'industrie. Par exemple, à l'INAOE, peu de jeunes chercheurs diplômés en doctorat partent travailler dans l'industrie.

Dans les chapitres antérieurs, nous avons évoqué l'existence des entreprises du secteur de la microélectronique et de l'automobile au Mexique, particulièrement dans la région de Guadalajara (secteur de la microélectronique), dans la région de Puebla (secteur de l'automobile) et dans la région de Ciudad Juárez – El Paso (les deux secteurs). Nous aurions pu penser que si nous partons de la prémisse, selon laquelle la technologie MEMS (en tant que nouvelle technologie) a un impact sur les procédés de fabrication elle devrait donc demander des nouvelles capacités de ressources humaines dans les sites de production (ou les centres de R&D des entreprises) ; ainsi les industries identifiées comme des potentiels utilisateurs de la technologie MEMS, constitueraient donc des employeurs des ressources humaines formées dans les programmes d'études proposés au Mexique. Cependant, dans les

faits, cette industrie ne constitue pas une vraie demande du capital humain spécialisé en MEMS, car il s'agit d'entreprises qui fonctionnent sur le modèle de la *maquiladora*, dans lesquelles les procédés, les tâches et les infrastructures techniques pour la production des MEMS sont absents. Certes, il existe des exceptions comme c'est le cas de Delphi et d'Intel, qui ont des centres de R&D, mais dans ces centres les activités de R&D se limitent à la conception des MEMS. La fabrication en masse est faite ailleurs, aux États-Unis ou en Asie. Actuellement, au Mexique, aucune industrie ne compte avec des salles blanches ou des lignes de fabrication de plaquettes de circuits intégrés. Les PME technologiques qui utilisent la technologie MEMS au Mexique (par exemple, Team Technologies et Prefixa, cf. chapitre III) utilisent l'infrastructure et les ressources humaines des institutions de recherche et d'éducation par le biais des projets du développement des MEMS en collaboration. A notre connaissance le seul antécédent d'infrastructures de procédés pour la fabrication de MEMS au Mexique a été celui de Motorola, entreprise qui a délocalisé ses lignes de fabrication au début de ce siècle et une partie de l'infrastructure utilisée à l'époque par cette entreprise a été transférée à l'INAOE par le biais de l'initiative *LatinChip*.

Institution	Programmes et activités pour la formation de RH
Institut National Astrophysique Optique et Électronique	<ul style="list-style-type: none"> • Programmes du troisième cycle : Master et Doctorat en électronique, dans lesquels des cours sur la conception et la fabrication de MEMS sont donnés. En plus, dans ces programmes des projets de recherche autour du développement des MEMS sont effectués. • Séminaires ponctuels sur des sujets liés à la microélectronique et aux MEMS.
Benemerita Université Autonome de Puebla	<ul style="list-style-type: none"> • Programmes du troisième cycle : Master et Doctorat en Dispositif Semi-conducteurs, dans le Centre de Recherches en Dispositifs Semi-conducteurs, dont des lignes de recherche concernant les MEMS sont développées. • Séminaire annuel sur les microsystèmes, séminaire organisé depuis 2005 avec la participation d'autres instituts de recherche et d'éducation.
Université Populaire Autonome de l'État de Puebla	<ul style="list-style-type: none"> • Programmes du troisième cycle : Master et Doctorat en Ingénierie Mécatronique, dans lesquels des cours et des lignes de recherche en MEMS sont proposés. • Cours, ateliers et séminaires pour le secteur privé : le Centre Interdisciplinaire d'Études de cette université privée a effectué en 2005 un séminaire intitulé « Formation en Entreprise sur les Technologies MEMS ».
MICRONA –	<ul style="list-style-type: none"> • Programme du troisième cycle : Master en Science en Micro et Nano Systèmes proposé dans le centre MICRONA de l'Université de Veracruz.

Université de Veracruz	<p>Les lignes de recherche de ce master sont sur (a) la nanotechnologie et les matériaux avancés, (b) le microsenseurs et les circuits intégrés ASIC's, et (c) la technologie MEMS.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cours et séminaires ouverts sur plusieurs sujets liés au développement des MEMS. Le secteur privé est aussi présent dans ces activités, par exemple, MICRONA a organisé avec Intel un cours de formation sur le dessin de circuits intégrés.
Université Nationale Autonome de Mexique	<ul style="list-style-type: none"> • Programmes du troisième cycle : Master et Doctorat en Systèmes Électroniques, où plusieurs entités de l'UNAM participent. Plusieurs cours autour de la technologie des microsystèmes sont proposés dans ce master et ce doctorat. L'infrastructure pour les projets de recherche développés dans le cadre repose sur le Centre UNAMems. • Projets de fin d'études d'ingénierie électronique : dans le centre UNAMems plusieurs élèves d'ingénierie électronique de la Faculté d'Ingénierie de l'UNAM effectuent leurs projets de fin d'études sur le domaines des MEMS.
Ecole Sup. Ing. Mécanique et Électrique - IPN	<ul style="list-style-type: none"> • Programmes du troisième cycle : Master en Sciences de l'Ingénierie en Microélectronique, dans lequel une des lignes de recherche proposées concerne directement les MEMS.
Centre de Recherche en Informatique - IPN	<ul style="list-style-type: none"> • Programme du troisième cycle : Master en Sciences en Ingénierie de l'Informatique au Centre de Recherche en Informatique (CIC). Une des lignes de recherche dans le cadre de ce master est Microtechnologie (MEMS) et Système Embarqués. Dans le CIC se trouve le laboratoire de Microtechnologie et Systèmes Embarqués (MICROSE).
Institut Technologique d'Études Supérieurs de Monterrey	<ul style="list-style-type: none"> • Programmes du troisième cycle : Master en Sciences en Ingénierie Électronique avec la spécialisation en Systèmes Électroniques proposée dans le campus Monterrey, dont le plan d'études comprend des cours en microélectronique, MEMS et BioMEMS. • Cours de MEMS proposés dans le campus Cd de Mexico pour des étudiants d'ingénierie. En plus, des cours sur les MEMS et BioMEMS sont donnés dans divers programmes d'études (électronique, mécatronique, TIC) des divers campus de l'ITESM (Cd Mexico, État de Mexico, Monterrey).
Inst. Technol. d'Études Supérieurs d'Irapuato	<ul style="list-style-type: none"> • Programme du troisième cycle : Spécialisation en MEMS, niveau Master. L'infrastructure pour les cours de cette spécialisation est le Centre de Dessin et Développement en Micro et Nanotechnologies (CIDEMYNT), qui a ses origines avec l'installation d'un des CD-MEMS.
Univ. de Guadalajara – campus CUCEI et CUCI	<ul style="list-style-type: none"> • Programmes du troisième cycle : Master et Doctorat en Science des Matériaux dans le campus de sciences (CUCEI). Master en Science avec la spécialisation en Informatique et Automatisation (CUCI). Plusieurs cours sur les MEMS figurent dans les plans d'études de ces programmes.
CINVESTAV Guadalajara	<ul style="list-style-type: none"> • Programme du troisième cycle : Master et Doctorat en Sciences, dans lesquels des lignes de recherche liées au développement des MEMS sont proposées. En plus, le CINVESTAV Guadalajara a un programme de Master dédié au secteur industriel, dont deux programmes ont été créés pour SIEMENS VDO et Solectron. • Programmes pour le secteur privé : des cours pour la capacitation de RH pour le développement des MEMS sont proposés dans le Programme Avancé de Dessin de Technologie de Semi-conducteurs et le Programme Avancé de Formation de Ressources Humaines en Technologies de l'Information. Ces programmes sont soutenus par Intel, SIEMENS et

	Solectron.
Institut Technologique de Hermosillo	<ul style="list-style-type: none"> • Programme du deuxième cycle : programme d'études supérieures en ingénierie électronique avec les spécialisations en télécommunications et en mécatronique. Cet Institut d'études possède un laboratoire de dessin et simulation de MEMS.
Univ. Autonome de Juárez	<ul style="list-style-type: none"> • Programmes du deuxième cycle : Dans plusieurs programmes en ingénierie (mécatronique, électrique, systèmes automatisés, et systèmes numériques et communications) des cours sur les MEMS sont proposés, ainsi que des projets de fin d'études. • Programmes du troisième cycle : Masters en Ingénierie Électrique et en Sciences des Matériaux, et Doctorats en Sciences des Matériaux et en Sciences de l'Ingénierie. Dans le cadre de ces programmes, dans le CICTA, qui se trouve dans cette université, des projets de recherche sur les MEMS sont développés par des étudiants.

Tableau 4.1. Programmes d'études et activités pour la formation de RH dans le domaine de MEMS au Mexique.

IV.1.3. La formation des ressources humaines dans le Programme des Microsystèmes de la FUMEC

Au début des initiatives de la FUMEC pour le développement des MEMS, les résultats d'une étude de prospective sur les microtechnologies au Mexique ont montré le manque d'infrastructures de recherche et de ressources humaines spécialisées dans ce domaine. En 2002, la FUMEC a identifié seulement deux chercheurs qui travaillaient sur le développement des MEMS au Mexique. Nous avons déjà dit antérieurement qu'à partir de cette étude, la FUMEC s'est fixée comme défi de combler le manque de ces capacités. La création des CD-MEMS et des LI-MEMS a été une initiative pour installer l'infrastructure de recherche. La formation des ressources humaines n'a pas fait objet d'initiatives comme celles des réseaux. Cependant, la stratégie de la Fondation pour la formation de ressources humaines a été transversale, parce que celle-ci a en effet été inscrite dans différentes initiatives du Programme de Microsystèmes de la FUMEC. Dans les initiatives de ce programme, nous pouvons noter que la formation de ressources humaines a été envisagée en distinguant la formation continue de la formation initiale.

Dans le cadre du Programme de Microsystèmes, les actions et les activités identifiées pour pallier le manque de capital humain se développent principalement à deux niveaux : la formation scientifique et la formation professionnelle. Ensuite, nous allons expliquer des exemples de ces deux types de formations.

IV.1.3.1. Formation scientifique dans les technologies MEMS

Les premières actions pour former les chercheurs mexicains ont eu lieu dans le contexte de la création des CD-MEMS. Après l'appel à projets lancé en 2002 pour la création de ces centres de dessin, un programme de spécialisation sur les technologies MEMS a été effectué. Ce programme consistait en une série de cours et d'ateliers afin de former des ressources humaines dans la technologie MEMS et il était orienté vers les chercheurs des institutions dans lesquelles les CD-MEMS ont été installés. L'animation de ces cours et ateliers était assurée par des spécialistes dans le domaine des MEMS venus des institutions de recherche étasuniennes : Université de Texas en Arlington, Université de Texas en El Paso, Sandia Labs, entre autres.

Les cours de formation se sont centrés sur les aspects des différentes techniques théoriques pour la fabrication de MEMS et sur la conception et la simulation assistées par ordinateur des dispositifs MEMS. Les activités dans ce programme de spécialisation ont été effectuées dans les diverses institutions participantes dans le réseau CD-MEMS Mexico, cela avec l'objectif de faire connaître les laboratoires et les institutions participantes dans le réseau à tous les chercheurs participants au programme de formation. Dans le cadre de ce programme, la FUMEC a organisé un total de 14 sessions, dont 10 dans des institutions mexicaines et 4 dans des institutions étasuniennes. Ces sessions ont également été des espaces pour promouvoir les collaborations scientifiques dans le réseau, car lors des visites aux centres et institutions les participants ont pu connaître les sujets et les projets de recherche développés dans chacun des nouveaux CD-MEMS.

Ces actions pour former les chercheurs mexicains sur la technologie MEMS se sont inscrites postérieurement dans l'initiative du CAP-MEMS. Le projet fut financé par le SE, en 2006, pour renforcer le CAP-MEMS de la FUMEC. Des cours techniques ont été inclus dans ce projet afin d'atteindre les objectifs de cette initiative. Dans le résumé du projet, nous lisons que ces cours techniques « se focalisent sur la formation de ressources humains qualifiées, ainsi que la spécialisation des chercheurs qui font partie du réseau de centres de dessin » (SE, 2010c). Plusieurs ateliers ont été organisés dans ce cadre par la FUMEC en

partenariat avec d'autres institutions de recherche et d'éducation. Dans le cadre du CAP-MEMS nous avons identifié les ateliers suivants pour l'année 2004 :

- 3^{ème} atelier de MEMS en Télécommunications, 18 juin à Monterrey.
- 1^{er} atelier de BioMEMS, 18 juin à Monterrey.
- Technologie de fabrication de MEMS, du 10 au 12 juin à Puebla (INAOE).
- "Advanced Manufacturing Meeting Focus on MEMS Packaging", du 5 au 7 octobre à Ciudad Juarez (Delphi Mexico).
- Cours avancé de dessin de MEMS

Ces cours pour la formation des chercheurs ont également été effectués pendant des événements scientifiques et technologiques. Par exemple, dans le programme de la conférence COMS 2008²⁶, a été proposé le cours intitulé « MEMS – CAD Course –Coventor & SoftMEMS » et dans les Curriculum Vitae de plusieurs chercheurs mexicains nous avons constaté leur assistance. Il s'agit d'une formation de 21 heures sur l'utilisation des logiciels pour la conception et la simulation des MEMS.

Ces cours techniques ont continué à travers l'évolution des initiatives du Programme de Microsystèmes de la FUMEC. Dans le premier chapitre, nous avons évoqué que le CAP-MEMS a été dissolu pour donner naissance à l'initiative du CMM. Cependant, les cours techniques orientés vers la formation des ressources humaines scientifiques sont encore effectués dans le cadre du CMM. Un des objectifs de cette dernière initiative est « la formation et le renforcement de ressources humaines de haut niveau ». C'est donc dans ce cadre, qu'en 2010, un cours sur les techniques de dessin FPGA Xilinx Spartan-6 en VHDL a été organisé par la FUMEC et a été soutenu par le SE.

²⁶ En 2008, le CMM de la FUMEC en coordination avec la fondation MANCEF, le conseil de science et technologie de l'État de Jalisco au Mexique (COECYT-Jalisco) et la Chambre Nationale de l'Industrie de l'Électronique et des Technologies de l'Information (CANIETI) ont organisé la conférence COMS 2008 à Puerto Vallarta, Mexique.

IV.1.3.2. Formation professionnelle dans les technologies MEMS

Concernant la formation des ingénieurs sur des sujets dans le domaine des MEMS, nous avons identifié des programmes pour la formation des professionnels. D'une part, dans certaines universités et instituts d'études supérieures, des cours sur la technologie MEMS sont proposés dans des programmes d'ingénierie, tels sont les cas de l'UVer, l'UACJ, l'ITESM et l'UNAM. L'infrastructure pour mener à bien ces cours est celle des CD-MEMS. D'autre part, les cours proposés dans les cadres des initiatives de la FUMEC sont aussi conçus pour des professionnels qui travaillent déjà dans l'industrie. Par exemple, en 2010, un total de six personnes provenant de cinq entreprises a bénéficié d'une bourse pour assister au cours sur les techniques de dessin FPGA. L'événement sur l'emballage de MEMS organisé en 2004 à Ciudad Juárez avec Delphi, est un autre exemple de l'offre de formations pour les professionnels. Cependant, ces formations techniques orientées vers les professionnels sont moins nombreuses que celles proposées aux chercheurs.

Les formations ne portent pas seulement sur des aspects techniques de la conception et de la fabrication des dispositifs MEMS ; il y a également des cours et d'autres activités sur des aspects managériaux. Ces derniers types de formations s'inscrivent également dans le cadre du Programme de Microsystèmes de la FUMEC. Elles ont été effectuées dans les différentes initiatives de ce programme et en partenariat avec des universités et institutions membres des réseaux de collaboration en MEMS. Une de ces premières formations a été organisée par l'UPAEP en 2005 sous la forme du séminaire intitulé « Formation en Entreprise sur les Technologies MEMS ». Ce séminaire s'est déroulé sur plusieurs semaines. Il a eu comme objectifs spécifiques d'informer les participants sur le développement et les applications des MEMS, sur la commercialisation et la protection des innovations en MEMS, ainsi que l'analyse des opportunités des entreprises mexicaines dans le développement des MEMS. Pour couvrir ces objectifs, le programme se composait des cinq points suivants :

1. Introduction et histoire de la technologie des MEMS.
2. Intelligence entrepreneuriale des MEMS.
3. Des cas d'études des entreprises liées aux MEMS.

4. Stratégie nationale des Technologies MEMS au Mexique.
5. Participation des entreprises dans les opportunités des MEMS au Mexique.

Les intervenants au séminaire étaient des spécialistes de diverses institutions de recherche mexicaines, de l'Université de Texas et de la MANCEF. Le séminaire a reçu un soutien économique du SE et de la FUMEC.

Un autre exemple de ce type de formation est un atelier en Technologies FPGA organisé récemment par la FUMEC et le CMM, qui a eu comme objectif d'« identifier des éléments que les entrepreneurs considèrent comme clés pour développer des projets dans ce domaine, faire connaître les bénéfices offerts par cette technologie et, dans des cas spécifiques, favoriser la création de nouveaux projets ». L'invitation à cet atelier a été envoyée à plus de soixante entreprises situées au Mexique.

Tous les exemples que nous venons d'évoquer sur la formation des ressources humaines, montrent que les formations de caractère managérial et pour la commercialisation des MEMS, occupent une place importante dans le Programme de Microsystèmes de la FUMEC. Dans ces actions, nous notons la mobilisation des études de prospective technologique dans le domaine de MEMS et d'autres technologies liées aux microsystèmes. Il s'agit des études de marché et de veille technologique commandées par la FUMEC et achetées à d'autres organismes, comme la MANCEF. Dans les programmes et les objectifs de ces formations, l'apprentissage organisationnel et la définition des stratégies pour l'application de MEMS se distinguent. A ces formations, il faut rajouter d'autres activités pour la promotion du développement des MEMS. Il est en effet fréquent que les agents de la FUMEC de la coordination des Microsystèmes interviennent dans des forums académiques ou économiques pour exposer les avancements et les potentialités techniques et économiques des MEMS.

IV.2. La mobilisation de ressources humaines

Dans les initiatives de la FUMEC pour le développement de la technologie de microsystèmes au Mexique, nous avons remarqué que la mobilisation des ressources humaines a été importante depuis le départ. La mobilisation des ressources humaines est une des caractéristiques de l'organisation en réseau de la recherche. Dans cette partie, nous nous intéressons particulièrement à la mobilisation des ressources humaines dans le cadre de la formation et de la consolidation de celles-ci dans le domaine de MEMS.

D'abord, dans les chapitres antérieurs nous avons évoqué à plusieurs reprises la présence des acteurs scientifiques des Etats-Unis lors des différentes initiatives du Programme de Microsystèmes de la FUMEC et les relations des collaborations scientifiques entre les chercheurs des deux pays. Cette mobilisation d'acteurs scientifiques s'inscrit aussi dans la stratégie de la FUMEC pour la formation et l'accumulation du capital humain dans le domaine des MEMS au Mexique. D'ailleurs, une série d'actions de la FUMEC visent la mobilité des ressources humaines pour répondre aux fenêtres d'opportunités identifiées dans les différents programmes de la Fondation. Un des directeurs de la FUMEC s'exprime sur la mobilisation des ressources humaines dans un rapport : « (...) nous avons travaillé avec la vision de la Fondation comme mécanisme effectif, pour mobiliser les ressources scientifiques et technologiques des deux pays et ainsi contribuer à la résolution de problématiques d'importance binationale » (FUMEC, 2004). En effet, depuis la création de la FUMEC, le soutien à la mobilisation de chercheurs des deux pays, a été une des activités de la Fondation et cela dans les différentes étapes des programmes de celle-ci. Concernant la formation de ressources humaines, dans un rapport d'activités de la Fondation, nous lisons qu'après l'identification de niches d'opportunités et l'intégration de programmes stratégiques, une étape de définition « d'un agenda de projets pour soutenir le développement du capital humain nécessaire concernant des aspects sur la formation de ressources humaines spécialisées » est effectuée (FUMEC, 2002).

Ici, afin d'essayer de comprendre les dynamiques de la mobilisation et de la formation de ressources humaines spécialisées, la question qui se pose est la suivante : quels sont les mécanismes de la FUMEC pour la mobilisation des

ressources humaines ? Pour essayer de répondre à cette question, dans ce sous-chapitre, nous allons expliquer le programme de la FUMEC qui est orienté vers la formation de ressources humaines, lequel est basé sur la mobilisation des ressources humaines entre le Mexique et les Etats-Unis. Nous abordons aussi comment la mobilisation de ressources humaines s'est inscrite dans la formation et l'accumulation du capital humain pour le développement des MEMS au Mexique.

IV.2.2. Programme de Développement de Ressources Humaines en Science et Technologie

Un des trois axes d'action de la FUMEC concerne les ressources humaines dans des domaines scientifiques et technologiques. Un des programmes de la FUMEC s'intitule en effet « Développement de Ressources Humaines en Science et Technologie ». La stratégie de la FUMEC pour la formation et l'accumulation de ressources humaines scientifiques et technologiques se base sur la collaboration entre le Mexique et les Etats-Unis. Dans ce cadre, le programme de ressources humaines de la Fondation est constitué par plusieurs initiatives à divers niveaux.

Au niveau de l'éducation basique (primaire et secondaire), la FUMEC a lancé en 2002 le programme « Innovation dans l'Enseignement de la Science » (INNOVEC) qui se base sur le modèle des Systèmes d'Enseignement de la Science par l'Expérimentation et l'Enquête. Nous pouvons lire sur le site Web de ce programme que le but principal est de « promouvoir une forme d'enseignement qui favorise le développement scientifique chez les enfants dès l'éducation basique »²⁷.

Dans le secondaire, la FUMEC compte avec un programme qui promeut aux lycéens des études supérieures en science, technologie, ingénierie et mathématiques. Ce programme s'intitule STEM, acronyme des mots anglais *Science, Technology, Engineering and Mathematics*. Il a commencé en 2004 et les cours « Pour Être Ingénieur » en sont un exemple.

Au niveau des études supérieures et de la recherche, le programme de ressources humaines de la FUMEC comprend les initiatives intitulées « visites de

²⁷ Pour plus d'information sur ce programme de la FUMEC, voir le site Web de la Fondation : <http://www.fumec.org.mx/>

chercheurs et professeurs distingués » et « séjours d'été aux Etats-Unis pour des jeunes scientifiques ». Ces deux initiatives sont financées par la FUMEC et l'Académie Mexicaine de Sciences (AMC). Le programme de visites de chercheurs et de professeurs distingués a vu le jour en 1996 et chaque année des professeurs et des chercheurs étrangers sont financés pour venir pendant quelques jours. Ces cours séjours concernent des séminaires, des cours académiques, des activités de conseil, l'établissement de contacts, la promotion des collaborations, ainsi que la proposition de séjours de recherche dans les institutions étrangères.

La deuxième initiative est de proposer aux jeunes chercheurs mexicains d'effectuer un séjour de recherche dans un laboratoire ou un centre de recherche aux Etats-Unis. Actuellement les bourses couvrent les frais de séjours, mais ne comprennent pas les billets d'avion ni les assurances. Ces bourses sont attribuées à la recherche dans les domaines de l'astronomie, de la physique, de l'informatique, de la recherche éducative (enseignement des sciences), de la santé environnementale, de la chimie et depuis quelques années figure également le domaine des MEMS.

De toutes les initiatives que nous venons d'évoquer, seulement les deux dernières se concentrent spécifiquement au soutien de la mobilité des chercheurs entre les deux pays. Dans ces cas, la mobilité des chercheurs concerne des activités académiques soit pour donner des cours ou pour aller acquérir des connaissances dans plusieurs domaines, dont celui des MEMS. Ces deux programmes pour la mobilité des ressources humaines constituent donc des mécanismes concrets grâce auxquels la FUMEC a soutenu la mobilisation des chercheurs mexicains pour effectuer des séjours de recherche aux Etats-Unis dans le domaine des MEMS.

IV.2.1. La mobilisation de chercheurs pour la formation et l'accumulation de ressources humaines spécialisées en MEMS au Mexique

Nous rappelons qu'en 2002 la formation de ressources humaines a été une des priorités de la FUMEC afin de pallier le manque de chercheurs spécialisés en MEMS au Mexique. C'était donc face à cette problématique que la FUMEC a fait appel à ses contacts scientifiques aux Etats-Unis. Il s'agit des spécialistes en MEMS provenant principalement de l'Université de Texas, de l'Université du Nouveau-

Mexique et des Laboratoires Sandia. Les cours proposés dans le programme de spécialisation sur les technologies MEMS, dans le cadre de la formation du réseau CD-MEMS, ont été donnés par ces spécialistes. Le déplacement de ces chercheurs a été organisé et financé par la FUMEC et il a aussi eu le soutien financier du SE. D'ailleurs, ces spécialistes en MEMS ont été parfois les mêmes acteurs scientifiques qui sont intervenus lors du processus dans lequel la FUMEC a défini la technologie des microsystèmes comme une fenêtre d'opportunités pour le Mexique.

Dans les initiatives qui ont suivi celles des réseaux CD-MEMS et LI-MEMS, les activités pour la formation de chercheurs ont continué. Dans le cadre du CAP-MEMS, plusieurs activités sur les MEMS ont été effectuées par la FUMEC en coordination avec d'autres entités publiques et privées. Certaines de ces activités ont déjà été évoquées plus haut (cf. IV.1.3.1). Rappelons que l'objectif principal du CAP-MEMS est de faciliter les relations entre les différents acteurs dans les processus d'innovation de produits MEMS et de soutenir des projets d'innovation. C'est dans ce contexte qu'une série de forums a été organisée par le CAP-MEMS. Nous pouvons qualifier ces événements comme professionnels, car les participants sont hétérogènes (ingénieurs, chercheurs, entrepreneurs et décideurs politiques). Dans la figure 3.2, où nous représentons graphiquement les réseaux technico-économiques du pôle technique de l'émergence de MEMS au Mexique, nous pouvons voir la présence des acteurs provenant de l'académie et de la recherche, et également des acteurs provenant des institutions publiques et privées. La mobilisation des acteurs scientifiques pour ces événements a été à la charge du CAP-MEMS, qui avait une enveloppe pour cette fin financée par le SE. Dans certains cas ponctuels, les organismes privés et publics, comme CANIETI, Delphi, COECYT de Jalisco et CFE, ont apporté des fonds pour financer les événements, y compris la mobilisation des acteurs.

D'autre part, dans un document de la FUMEC, nous lisons que dans le cadre du CMM, un des objectifs est celui de la formation et du renforcement des ressources humaines de haut niveau. Il y a deux actions envisagées pour atteindre cet objectif : a. des séjours de chercheurs et d'entrepreneurs dans des universités, des centres de recherche et des entreprises nationales et internationales pour la réalisation de projets multidisciplinaires, et b. des bourses de master, doctorat et

post-doctorat au Mexique et à l'étranger. Pour financer ces actions, la FUMEC compte avec un budget pour les séjours de recherche, comme par exemple ceux pour les jeunes chercheurs mexicains co-financés par l'AMC, dont nous avons déjà parlé. En outre, la FUMEC compte également avec un agenda de programmes de recherche nationaux et internationaux dans lesquels des projets de MEMS sont éligibles. Il s'agit, par exemple, des programmes du CONACYT pour financer des projets scientifiques et technologiques et des programmes du SE pour financer des projets d'innovation dans les PME. Cet agenda est fréquemment mis à jour et la FUMEC accompagne les entités d'éducation et de recherche dans la constitution et le suivi des demandes de financements.

IV.3. La propagation de programmes de formation des ressources humaines dans la technologie de microsystèmes au Mexique

La stratégie de la FUMEC pour la formation de spécialistes en MEMS au Mexique peut être considérée comme réussie, car le nombre de spécialistes est passé de 2 en 2002 à 183 personnes en 2006. Selon un bilan du CMM, cette dernière année, dans 21 institutions d'éducation et de recherche un total de 64 ingénieurs, 57 diplômés de master et 62 docteurs en sciences (soit un total de 183 personnes) sont impliqués dans des activités de recherche autour des MEMS.

Lors de notre étude sur le panorama du développement des MEMS au Mexique, nous avons noté que la formation de ressources humaines spécialisées en MEMS est présente dans des institutions d'éducation et de recherche qui n'ont pas participé aux initiatives du Programme de Microsystèmes de la FUMEC. Ici, la question qui émerge est alors la suivante : la formation de ressources humaines spécialisées en MEMS hors du Programme de Microsystèmes est-elle issue d'un phénomène de dissémination de la technologie de microsystèmes au Mexique ? Cette question sur la dissémination ou la diffusion technologique des microsystèmes²⁸ nous paraît importante, car dans la théorie sur le changement

²⁸ Nous utilisons dans ce texte le terme de *dissémination* ou celui de *diffusion* pour se référer au processus de propagation de la technologie dans un espace géographique déterminé. Nous

technologique et sur les systèmes d'innovation, il est amplement reconnu que la dissémination technologique passe par le flux d'informations entre les différents acteurs (OCDE, 1997) et que les changements technologiques agissent selon un processus discontinu, dans lequel, selon Pérez (2004), quatre phases peuvent être distinguées dans la période d'installation et de déploiement : 1. phase d'irruption, 2. phase de frénésie, 3. phase de synergie et 4. phase de maturité. Dans le flux d'informations sur les nouvelles technologies, il est également reconnu l'importance de la fonction de l'État (Mowery *et al.*, 2010). Cependant, actuellement, le flux d'informations représente encore un défi pour les modèles de politique scientifique et technologique (Mowery *et al.*, 2010).

Pour essayer de répondre à cette question, dans cette dernière partie, nous allons analyser le cas du laboratoire de Microtechnologie et Systèmes Embarqués (MICROSE). Ce laboratoire est une des institutions dans lesquelles la technologie des microsystèmes et la formation des ressources humaines dans ce domaine sont actuellement mises en place et l'émergence de cela s'est fait hors du cadre des initiatives du Programme de Microsystèmes de la FUMEC. Cependant, nous avons identifié que de façon indirecte, via le flux d'informations et les contacts, la FUMEC a eu un impact sur la définition de la stratégie pour l'émergence des MEMS dans MICROSE.

IV.3.1. La réorientation d'un laboratoire et la création des programmes d'études à partir de la diffusion des potentialités de la technologie des MEMS

MICROSE est un des laboratoires du Centre de Recherche en Informatique (CIC, pour ses sigles en espagnol) de l'Institut Polytechnique National (IPN) du Mexique. En 1996, la fusion du Centre National de Calcul (CENAC) et du Centre de Recherche Technologique en Informatique (CINTEC) a donné naissance au CIC et ce afin de concentrer les capacités scientifiques et technologiques en informatique disponibles à l'IPN à l'époque.

n'utilisons pas le terme *adoption* car nous essayons de rendre compte de la propagation de la technologie de microsystèmes du côté de la FUMEC en tant qu'un organe promoteur de cette technologie, et non du côté des institutions qui ont *adopté* la technologie de microsystèmes.

Dans MICROSE, un total de huit chercheurs et quatorze étudiants est organisé sur six lignes de recherche : architecture des ordinateurs, dessin VLSI, test de circuits VLSI, Systèmes Embarqués, MEMS et Ville Numérique (Ciudad Digital). Les activités effectuées dans ce laboratoire concernent la recherche et la formation de ressources humaines. Les cours enseignés en MICROSE concernent les six lignes de recherche et s'inscrivent dans les programmes d'études des deux masters et un doctorat proposés dans le CIC. L'infrastructure de ce laboratoire est située dans le nouveau Centre de Nanosciences et Micro et Nanotechnologie (CNMN) de l'IPN. L'équipement scientifique et technologique de MICROSE se centre sur les étapes de la conception et de la caractérisation de MEMS ; la fabrication de MEMS est effectuée à l'étranger, principalement aux Etats-Unis dans le *foundry* MOSIS situé en Californie. Actuellement, dans le CNMN, des salles blanches sont en train d'être installées pour accueillir des équipements pour la fabrication de circuits intégrés et de MEMS.

L'ancêtre du MICROSE est le laboratoire de Systèmes Numériques qui faisait partie de la plateforme scientifique du CINTEC. Néanmoins, l'infrastructure de ce dernier laboratoire était déjà obsolète en termes des capacités et des lignes de recherche. La création de MICROSE a été proposée dans un contexte de restructuration et d'actualisation des capacités existantes dans le CIC. Cela a eu lieu en 2004, lors de l'arrivée du Dr. Luis Villa, actuel directeur du laboratoire, qui fut le mentor pour que l'ancien laboratoire devienne MICROSE afin de réorienter les lignes de recherche vers les Systèmes Embarqués et les MEMS. La formation de ce laboratoire se base d'une part sur des capacités déjà existantes dans le CIC et, d'autre part, sur la promotion de la technologie de MEMS au Mexique par la FUMEC. Le Dr. Luis Villa s'exprime ainsi sur la raison de créer ce nouveau laboratoire :

« Au moment de la création de ce laboratoire et de mon arrivée au CIC, nous devons définir les lignes prioritaires de recherche et cela a été fait en fonction des profils professionnels des personnes qui travaillaient déjà dans le centre. Pratiquement tous venaient du domaine de l'électronique et des télécommunications, soit de l'UAM, du CINVESTAV et du Polytechnique. Au Mexique, il y a deux révolutions technologiques importantes que nous n'avons pas développées. La première est celle de VLSI et au Mexique nous n'avons pas

un *Foundry*, qui nous permette d'arriver à une technologie de pointe pour fabriquer les microprocesseurs d'aujourd'hui. VLSI est une technologie qui est déjà passée et il est très difficile de la rattraper. Nous pouvons être que des usagers. Dans le meilleur des cas, nous pouvons arriver au niveau du dessin avec les outils de dessin, mais nous devons nous servir des *Foundries* installés aux Etats-Unis ou en Europe. Le plus que nous utilisons est celui de MOSIS, qui se trouve aux Etats-Unis et qui nous permet d'avoir la possibilité de fabriquer nos propres dessins à un bas prix sous le schéma universitaire qui est utilisé aux Etats-Unis. (...) Donc, lors de la naissance de MICROSE, nous avons dit que la technologie VLSI était déjà mûre. Alors, nous avons deux opportunités, depuis le point de vue de transistors et de fabrication. Le thème des MEMS était fortement émergent au Mexique, et on l'entendait de plus en plus. Au sujet des MEMS, avant de rentrer au Polytechnique, je travaillais à l'Institut Mexicain du Pétrole (IMP), dans lequel il y avait le projet de commencer à chercher de nouvelles technologies pour PEMEX, l'industrie pétrolière mexicaine. Alors, la FUMEC a commencé réellement à motiver et à faire que cette ligne de recherche soit considérée comme nécessaire et intéressante pour le Mexique. (...) Donc, l'orientation de MICROSE vient de là. Et en ce moment, pour le laboratoire MICROSE, il a été défini que les MEMS est une de ses lignes prioritaires de développement et aussi pour la formation d'étudiants. Et par quel autre motif nous avons décidé cela ? Parce que le Polytechnique est une pépinière d'étudiants qui peuvent s'inscrire dans ces sujets » (Villa, 2011).

En effet, les infrastructures existantes et les chercheurs du CIC qui sont spécialisés principalement dans le domaine de la microélectronique et des systèmes embarqués, ont constitué une des bases pour la création de MICROSE. Cependant, l'évolution de la microélectronique n'a pas été suffisante pour réorienter les lignes de recherche vers les FPGA et les MEMS. L'intervention du Dr. Luis Villa, qui avait déjà une formation et une familiarité avec la technologie de MEMS, a eu une place importante dans la prise de décision qui consistait à considérer les MEMS comme un domaine prioritaire.

D'autre part, dans sa réponse, le Dr. Luis Villa fait également référence à la FUMEC comme l'acteur qui a impulsé le développement des MEMS au Mexique. Il évoque que la création du laboratoire a eu lieu dans un contexte dans lequel l'émergence de MEMS dans ce pays était en plein essor et les discours se concentraient sur la promotion du développement des MEMS comme une fenêtre d'opportunités pour le Mexique. Ces arguments ont été mobilisés largement par la FUMEC dans différents forums académique et non académiques. Dans les discours de la FUMEC, les potentialités technologiques et économiques des MEMS sont en effet mobilisées pour justifier l'investissement et l'engagement pour le développement de ces technologies. Ces arguments se fondent sur les études de prospective sur les MEMS de la FUMEC. Le cas de MICROSE suggère que cette information a été mobilisée pour la création du laboratoire et l'information a été transmise via les acteurs scientifiques de ce laboratoire qui ont participé aux événements organisés par la FUMEC. Par exemple, le Dr. Luis Villa a participé au moins à un des cours de formation de spécialistes en MEMS donné dans le cadre du CD-MEMS, pendant qu'il travaillait à l'IMP.

En fin, cet exemple confirme que le flux d'informations via les acteurs engagés dans le développement de MEMS a un poids important dans la dissémination de la technologie de microsystèmes au Mexique. Dans ce cas d'étude, il s'agit d'informations sur les potentialités des nouvelles technologies. Nous avons identifié d'autres institutions dans lesquelles les MEMS commencent à figurer dans les programmes d'études, cependant l'analyse de ces cas n'a pas pu être effectuée dans le cadre de notre étude, car la création de leurs programmes d'études est très récente et à cause des délais nous n'avons pas pu les considérer. D'ailleurs, d'autres types d'informations concernant l'application et l'usage de ces technologies sont aussi mobilisées via les acteurs hétérogènes engagés dans le développement des MEMS au Mexique. Il s'agit des informations et de connaissances de caractère technique, qui ne sont pas produites par la FUMEC, mais cette dernière a eu une participation importante, voire centrale dans certains cas, dans l'installation de capacités nécessaires pour produire ces connaissances.

IV.4. Conclusions : Quelle stratégie pour la formation des ressources humaines en MEMS au Mexique ?

Dans ce dernier chapitre, nous avons abordé la formation, l'accumulation et la mobilisation du capital humain dans le développement des MEMS au Mexique. D'abord, nous avons constaté l'émergence d'une offre assez large de formations dans le domaine des MEMS. Certaines de ces formations sont proposées dans les centres et les instituts de recherche dans lesquels les CD-MEMS et LI-MEMS ont été installés. Nous avons aussi repéré que dans d'autres institutions académiques des formations et des cours sur les MEMS sont aussi proposés. Concernant le Programme de Microsystèmes de la FUMEC, nous avons trouvé que la formation des ressources humaines spécialisées dans le domaine des MEMS se développe transversalement aux autres initiatives de ce programme. Dans ce programme il n'y a pas un projet consacré à la formation de ressources humaines pour les MEMS, mais des actions inscrites dans les initiatives de ce programme ont été effectuées afin de pallier le manque de ressources humaines en MEMS. Ce fut l'un des premiers défis définis au début des initiatives de la FUMEC.

Concernant les programmes et les activités pour la formation de ressources humaines dans le domaine des MEMS, nous avons identifié une ample offre des universités et des instituts d'enseignement et de recherche. Ces programmes et activités se développent à deux niveaux que nous avons qualifiés comme formation scientifique et formation professionnelle. La première se réfère à la formation de ressources humaines scientifiques dans les centres de recherche qui développent des activités scientifiques et technologiques pour les MEMS. La formation professionnelle est proposée aux étudiants en ingénierie et aux ingénieurs qui travaillent déjà dans l'industrie. D'autre part, les formations professionnelles dans ce domaine ne concernent pas seulement les aspects techniques des MEMS, nous avons en effet identifié des formations managériales sur le marché en plein essor et les applications potentielles des MEMS. Ce dernière type de formation a été proposé à tout public, mais particulièrement aux cadres des entreprises susceptibles d'intégrer la technologie des microsystèmes dans leurs produits et/ou procédés. Dans ces deux types d'offre de formation, la FUMEC a eu les fonctions d'organisation et de financement des activités, ainsi que de promotion des cours sur

la technologie des MEMS. La Fondation a aussi participé dans la définition des programmes de formation spécialisée en MEMS, cela dans le cadre du CAP-MEMS et du CMM.

D'autre part, la création de programmes pour la formation des ressources humaines, dans le cadre du développement des MNT au Mexique et dans le cadre du Programme des Microsystèmes de la FUMEC, s'inscrit dans la dynamique d'accumuler et de former des ressources humaines pour répondre à l'installation de ces nouvelles technologies dans ce pays. Cependant, nous avons montré que le marché du travail pour ces ressources humaines hautement qualifiées est très peu développé au Mexique, ce qui peut accentuer le problème de la fuite des cerveaux du pays.

Nous avons également remarqué que la mobilisation des ressources humaines autour des activités académiques pour le développement du capital humain en science et technologie a été une autre fonction de la FUMEC. Elle compte en effet avec un programme pour développer des ressources humaines sur divers champs scientifiques et technologiques. Ce programme est constitué de projets qui se développent dans divers niveaux académiques, qui vont de l'éducation basique jusqu'aux études supérieures et de la recherche. La mobilisation des ressources humaines se présente principalement dans les projets et programmes orientés vers ce dernier niveau. Concernant le développement des MEMS, nous avons trouvé que la mobilité des chercheurs à former en MEMS a été et est importante dans les différentes initiatives du Programme de Microsystèmes de la FUMEC. La mobilité de ces ressources humaines, soit pour la formation ou pour la promotion des MEMS, est effectuée en collaboration et co-financé avec des programmes gouvernementaux pour la science et la technologie.

Dans le dernier point de ce chapitre, nous avons traité la propagation des programmes pour la formation de ressources humaines dans le domaine des MEMS. Nous avons abordé cette question comme un phénomène de dissémination technologique. L'étude de cas du laboratoire MICROSE montre que des informations créées et mobilisées par la FUMEC sur les potentialités de la technologie des MEMS ont eu un impact indirect sur la définition de ces technologies comme une ligne de recherche et sur la formation de ressources humaines dans ce domaine. Cela

confirme que la dissémination des nouvelles technologies passe par le flux d'informations entre les différents acteurs impliqués. Dans le cadre de dissémination de la technologie des MEMS, la FUMEC a eu la fonction de diffuser des informations entre les différentes parties prenantes. Une autre fonction, que nous qualifions de latente, est la dissémination de cette technologie hors du cadre du programme de la fondation. Le cas du programme d'études du MICROSE est un exemple de cela, car ce programme a en effet été développé hors du programme de la fondation, mais il est né grâce aux initiatives de la FUMEC. Il s'agit d'un cas de dissémination qui n'a pas été cherché par la fondation.

Conclusions

Dans cette thèse, nous avons traité le sujet de l'émergence des nouvelles sciences et technologies dans des pays non hégémoniques, et la présence de nouveaux acteurs et de leurs fonctions. Dans la première partie de la thèse, nous avons exposé la problématique sur les conditions et les processus du développement des nouvelles technologies dans ces pays. Cela nous a amené à la question de la modélisation des relations des acteurs présents et l'implication politique des modèles proposés dans la littérature académique. A partir d'observations du terrain dans notre recherche, nous avons identifié la présence des organismes philanthropiques et non gouvernementaux dans ces processus et nous avons proposé d'élargir l'éventail d'acteurs à prendre en compte dans les analyses de la production, de l'usage et de la dissémination des nouvelles connaissances. Pour étudier la présence de ces acteurs dans les nouvelles dynamiques, nous avons proposé comme modèle le tétraèdre pour représenter les possibles configurations des relations des acteurs présents : industrie, académie, gouvernement et organismes philanthropiques et non gouvernementaux. Dans notre recherche, afin de montrer la présence de ces organismes, d'une part, nous avons caractérisé les fonctions des organismes philanthropiques dans ces processus. D'autre part, pour analyser les dynamiques dans la production et l'usage des nouvelles connaissances, nous avons fait appel à l'approche du réseau technico-économique (basée sur des données qualitatives) et nous l'avons croisée avec les outils de l'analyse des réseaux sociaux (basée sur des données quantitatives), afin de dépasser les limites de deux

approches qui mobilisent différemment la notion de « réseau ». Ce choix méthodologique et analytique peut paraître contradictoire, mais nous avons essayé de montrer que ce choix est au contraire utile pour étudier et comprendre les nouvelles dynamiques dans la production, l'usage et la dissémination des nouvelles connaissances.

Tout au long de cette thèse, nous avons analysé l'émergence d'une nouvelle technologie dans un pays non hégémonique et l'implication d'un organisme philanthropique dans ce processus : le cas du développement de la technologie des MEMS au Mexique et la présence de la FUMEC. Au cours des différents chapitres de la thèse, nous avons étudié les dynamiques de l'installation et du développement de la technologie de microsystèmes dans ce pays et, afin de rendre compte de la présence de la FUMEC, nous avons relevé les fonctions de cette fondation dans ces processus. A la fin de chaque chapitre, nous avons présenté des conclusions. Dans le premier chapitre, nous avons montré que l'émergence de cette technologie est issue du Programme de Microsystèmes de la FUMEC, ce qui a situé cet organisme au cœur du développement des MEMS au Mexique. Le programme pour le développement des MEMS est constitué de diverses initiatives orientées vers l'installation d'infrastructures scientifiques et technologiques, la création des réseaux de collaboration, la formation de ressources humaines, le développement des projets des dispositifs MEMS et la commercialisation des produits basés sur cette technologie. A partir de l'analyse de ces initiatives, nous avons pu qualifier les fonctions que la FUMEC a rempli dans ces différentes étapes, ainsi que montrer les dynamiques locales et régionales dans lesquelles est développée cette technologie.

Dans les différentes étapes du développement de la technologie des MEMS, les fonctions de la FUMEC que nous avons identifiées concernent le financement des activités de recherche, l'obtention et la négociation des ressources pour l'installation des infrastructures, la création de réseaux scientifiques, la formation de ressources humaines, le transfert de la technologie, et la promotion de la technologie des MEMS (production, traduction et mobilisation des informations). Toutes ces fonctions, nous les qualifions d'explicites, car les initiatives menées par la FUMEC ont été orientées pour les accomplir.

La fonction de la dissémination de la technologie, nous la qualifions comme latente parce que cette fonction n'a pas été cherchée par la FUMEC. Cela nous l'avons montré dans le dernier chapitre, dans lequel nous avons mobilisé le cas de la création des programmes d'études et de formation de ressources humaines dans MICROSE, qui n'appartenait pas au Programme de Microsystèmes de cette fondation. D'une part, la création, la traduction et la mobilisation des informations sur les potentialités des MEMS ont été des fonctions que la FUMEC a accomplies afin de promouvoir le développement des MEMS et, d'autre part, ces informations ont été reprises par des acteurs scientifiques et académiques pour créer et justifier la création des programmes d'études. Dans ce processus de dissémination de la technologie des MEMS, la FUMEC a eu une influence indirecte.

Ces résultats sur les fonctions de la FUMEC dans le développement des MEMS au Mexique, montrent qu'il est pertinent de prendre en compte dans les études ce type d'organismes comme des acteurs importants dans la production, l'usage et la dissémination des nouvelles connaissances.

Un autre point à souligner dans ces conclusions est l'aspect politique de la présence des organismes philanthropiques dans les systèmes scientifiques et technologiques. Dans notre recherche, nous avons expliqué l'influence dans la politique de la FUMEC, et comment cet organisme a dépassé la contrainte de la non continuité des politiques en science et technologie, fait dû au manque de paradigme dans la politique en science et technologie. Le réseau politique de la FUMEC et l'articulation d'acteurs politiques et économiques ont été deux facteurs importants pour obtenir le financement public et avoir le soutien des institutions gouvernementales entre deux périodes de gouvernement. Entre autres, ces problèmes de la non continuité des politiques et du manque de paradigme sont des caractéristiques des systèmes scientifiques dans les pays non hégémoniques, qui se trouvent dans des conditions d'adversité. A l'agenda de recherche des études sur les relation entre la philanthropie et la science en Amérique Latine proposé par Cueto (1997), et évoqué dans la partie introductive de la thèse, nous proposons d'ajouter comme autre thème de recherche : l'implication des organismes philanthropiques dans la politique.

D'autre part, l'implication politique concerne aussi l'utilisation des modèles théoriques de la production des nouvelles connaissances comme des modèles à reproduire pour le développement. Un débat existe actuellement en Amérique Latine dans des forums académiques et autres. Par exemple, en 2009, dans la conférence ALTEC, qui a eu lieu en Colombie, le deuxième axe thématique a été intitulé « *le Triangle de Sabato comme moteur du développement territorial* », pour lequel un total de 34 travaux a été présenté. Un autre exemple est la deuxième journée nationale d'innovation et de compétitivité organisée en 2010 à Mexico, dans laquelle il y a eu une conférence intitulée « *Triple Hélice : un modèle pour les relations* ». L'émergence de ce questionnement paraît s'accroître face à la tendance à chercher un modèle à reproduire lors des débats sur le développement scientifique et technologique et sa relation avec le développement économique et social dans les pays les moins développés. Ces débats se centrent principalement sur les relations entre l'académie, le gouvernement et l'industrie. Lors de notre recherche, nous nous sommes aussi posé cette question (Robles-Belmont *et al.*, 2009) et cela nous a amené vers une insatisfaction vis-à-vis des approches théoriques. Cette insatisfaction se base sur leurs limites pour comprendre et expliquer les dynamiques des changements technologiques, comme c'est le cas des MNT au Mexique. Les résultats exposés dans cette thèse, peuvent être un apport aux études de la science et de la technologie en Amérique Latine. Les études de cas présentées dans les différents chapitres montrent l'importance de prendre en compte les particularités des contextes locaux dans ces types d'études. Concernant le cas du Mexique, les divergences entre les dynamiques observées sur les différents territoires mexicains montrent l'importance de la prise en compte de ces particularités. Les éléments qui caractérisent les dynamiques locales et régionales rendent en effet difficile la juxtaposition d'un seul modèle pour comprendre et expliquer les processus technologiques et d'innovation et pour également promouvoir les relations entre les acteurs afin d'impulser le développement. Entre autres, l'analyse des réseaux technico-économiques dans le chapitre III montre la complexité et l'hétérogénéité des acteurs qui interagissent dans chaque pôle dans la production et l'usage des nouvelles connaissances dans le domaine des MEMS. Cette hétérogénéité reflète également une mosaïque d'intérêts internes et externes aux espaces de production des nouvelles connaissances, dans lesquels le facteur local et régional a un poids

non négligeable. Ces intérêts sont scientifiques, économiques, politiques et sociaux et ils sont liés aux fonctions des entités sociales. Il s'agit d'ailleurs d'intérêts et de fonctions qui ne sont pas si clairs pour les caractériser et les qualifier. C'est pour quoi nous proposons plutôt d'étendre l'éventail des acteurs à prendre en compte dans les études de la production de nouvelles connaissances et de changements technologiques.

Pour conclure, il faut aussi tenir compte du fait que cette recherche a des limites marquées par le fait qu'elle a été effectuée au milieu de la progression de la technologie des MEMS au Mexique, et que les phénomènes que nous étudions dans ce travail sont encore très récents. De plus, nous avons seulement étudié la présence de la FUMEC dans le développement des MEMS, mais cet organisme participe également dans le développement d'autres domaines scientifiques et technologiques au Mexique. Il serait donc intéressant d'explorer les autres domaines dans lesquels la FUMEC est aussi présente. Il serait aussi pertinent de faire ce type d'études dans d'autres pays non hégémoniques où on trouve également la présence de ce type d'organismes.

Références

- Andrini, L. et Figueroa, S.J.A. (2008). El impulso gubernamental a las nanociencias y nanotecnologías en Argentina, In: Foladori, G. e Invernizzi, N. (coord), *Las nanotecnologías en América Latina*, México: ReLANS, UAZ, Edit. Miguel Ángel Porrúa, pp. 33-48.
- Arellano-Hernández, A. (1999). *La Producción Social de Objetos Técnicos Agrícolas*. CGIyEA, UAEM, México.
- Autant-Bernand, C., Billand, P., Frachisse, D. and Massard, N. (2007). Social distance versus spatial distance in R&D cooperation: Empirical evidence from European collaboration choices in micro and nanotechnologies. *Papers in Regional Science*, vol. 86, issue 3, pp. 495-519.
- Avendaño, G. (2008). Entretien personnel effectué le 19 mars 2008.
- Avendaño, G. (2009). Entretien personnel effectué le 9 septembre 2009.
- Barrañon, A. and Juanico, A. (2010). Major Issues in Designing and Undergraduate Program in Nanotechnology: The Mexican Case. *WSEAS Transactions on Mathematics*, vol.9, issue 4, pp. 264-274.
- BNSL (2006). Bi-National Sustainability Lab, Newsletter #1. [Disponible en ligne: <http://www.bnsl.org/Newsletter.aspx>, consulté le 15 décembre 2010].
- Böhme, G., Van den Daele, W., and Krohn, W. (1976). Finalization in science. *Social Science Information*, vol. 15, issue 2-3, pp. 307-330.
- Böhme, G., Van den Daele, W., Hohlfeld, R., Krohn, W., Schäfer, W. (1983). *Finalization in Science: The Social Orientation of Scientific Progress*. Riedel, Dordrecht.
- Bouchaud, J. (2010). Hewlett-Pakard Maintains MEMS Dominance in 2009. Press Release, iSuppli Market Research. [Disponible en ligne : <http://www.isuppli.com>].
- Brown, Jr.G.E. and Sarewitz, D.R. (1991). Fiscal Alchemy: Transforming Debt into Research. *Issues in Science and technology*, vol.7, Fall, pp. 70-76.

- Callon, M., Courtial, J.P. & Penan, H. (1993). *La Scientométrie*. Paris, PUF.
- Callon, M. (1992). « Sociologie des sciences et Economie du changement technique: l'irrésistible montée des réseaux technico-économiques », in L'INNOVATION CDSO. (ed.) *Ces réseaux que la raison ignore*. Paris, L'Harmattan, p.53-78.
- Callon, M. (2003). « Laboratoires, réseaux et collectifs de recherche », pp. 693-720, in Mustar, P. et Penan, H. (dir). *Encyclopédie de l'innovation*, éd. Economica.
- Callon, M. (dir) (1989). *La science et ses réseaux : genèse et circulation des faits scientifiques*. Éd. La découverte, Paris.
- Callon, M., Courtial, J.P. et Penan, H. (1993). *La scientométrie*. PUF, Paris.
- Callon, M., Laredo, P., et Rabeharisoa V. (1991). « Gestion des programmes publics et réseaux technico-économiques », in Vinck, D. (coord.), *Gestion de la recherche: nouveaux problèmes, nouveaux outils*. De Boeck, pp. 280-307.
- Carrillo, J. et Lara, A. (2004). Nuevas capacidades de coordinación centralizada. ¿Maquiladoras de cuarta generación en México? *Estudios Sociológicos*, vol. 22, núm. 3, pp. 647-667.
- Casas R. (Coord.) (2001), *La formación de redes de conocimiento. Una perspectiva regional desde México*. UNAM, Instituto de Investigaciones Sociales/Anthropos, Barcelona.
- Casas R., de Gortari R., and Santos M.J. (2000). The building of knowledge spaces in Mexico: a regional approach to networking. *Research Policy*, vol. 29, issue 2, pp. 225-241.
- Casas, R. y Dettmer, J.A. (2007). Construyendo un paradigma de política científico tecnológica para México, in : Calva, J. L. (coord.), *Educación, ciencia, tecnología y competitividad*. Agenda para el desarrollo, vol. 10, Edit. Porrúa y UNAM, México.
- Casas, R., y Dettmer, J.A. (2008). Sociedad del conocimiento, capital intelectual y organizaciones innovadoras, in Valenti et al. (coord.), *Instituciones, sociedad del conocimiento y mundo del trabajo*. FLACSO México, Plaza y Valdés, pp. 21-59.
- Castells, M. (1998). *La société en réseaux. L'ère de l'information*. Paris : Fayard.
- CONACYT (2003). Instituto Nacional de Astrofísica, Electrónica y Óptica, UNAOE, Anuario 2003 [Disponible en ligne : <http://www.conacyt.mx/comunicacion/comunicados/02-04.html>, consulté le 03 octobre 2006].
- CONACYT (2004). *INAOE y Motorola trabajarán para establecer el laboratorio nacional de nanotecnología*, communiqué de presse 02/04, CONACYT, 21 janvier 2004 [Disponible en ligne : <http://www.conacyt.mx/comunicacion/comunicados/02-04.html>, consulté le 03 octobre 2006].
- Courtial, J.P. (1994). « Les réseaux construits par les articles scientifiques », in Courtial, J. P. (coord.), *Science cognitive et sociologie des sciences*. PUF, pp. 25-31.
- Cruz, A. (2007). Refuerzan Delphi con patentes hechas en México. Investigación y desarrollo. [Disponible en ligne: <http://www.invdes.com.mx/>, consulté le 10 décembre 2010].

- Cueto, M. (1994). Visions of Science and Development. The Rockefeller Foundation's Latin American Surveys of the 1920s, *in*: Cueto, M. (ed.), *Missionaries of Science. The Rockefeller Foundation & Latin America*. Indiana University Press, pp. 1-22.
- Cueto, M. (1997). Science under Adversity: Latin American Medical Research and American Private Philanthropy, 1920-1960. *Minerva*, vol. 35, issue 3, pp. 233-245.
- David, P. A., and Foray, D. (2002). An introduction to the economy of the knowledge society. *International Social Science Journal*, vol. 54, Issue 171, pp. 9-15.
- de Lassus, A. (2009). Proposition budgétaire de la National Nanotechnology Initiative pour 2010, *BE Etats-Unis*, numéro 167. [Disponible en ligne : <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/59289.htm>, consulté le 16 décembre 2010].
- Edquist, C. and Hommen, L. (1999). Systems of innovation: theory and policy for demand side. *Technology In Society*, vol. 21, pp. 63-79.
- Edwards, M. (2008). *Just Another Emperor? The Myths and Realities of Philanthrocapitalism*. Demos: A Network for Ideas & Action, The Young Foundation.
- Etzkowitz, H. (2002). *The Triple Helix of University-Industry-Government Implications for Policy and Evaluation*, SISTER, Working Paper 2002-11, [disponible en ligne www.sister.nu, consulté le 22 mai 2009]
- Etzkowitz, H. (2008). *The Triple Helix. University-Industry-Government. Innovation in Action*. Routledge, NY.
- Etzkowitz, H., and Leydesdorff L. (2000). The dynamics of innovation : from National Systems and « Mode 2 » to a Triple Helix of university-industry-government relations. *Research Policy*, Vol. 29, issue 2, pp. 109-123.
- Fitzgerald, D. (1994). Exporting American Agriculture. The Rockefeller Foundation in Mexico, 1943-1953, *in*: Cueto, M. (ed.), *Missionaries of Science. The Rockefeller Foundation & Latin America*. Indiana University Press, pp. 72-96.
- Flores-Herrera, L.A. (2007). *Manufactura y análisis numérico de Sistemas Micro Electro Mecánicos*. Thèse de doctorat en sciences, ESIME-IPN, Mexique.
- Foladori, G. et Záyago, E. (2008). México se incorpora a la nueva revolución industrial de las nanotecnologías, *In*: Foladori, G. e Invernizzi, N. (coord), *Las nanotecnologías en América Latina*. México: ReLANS, UAZ, Edit. Miguel Ángel Porrúa, pp. 105-123.
- Foladori, G. y Invernizzi, N. (coord.) (2006). *Nanotecnologías disruptivas. Implicaciones sociales de las nanotecnologías*. Universidad Autónoma de Zacatecas y Edit. Porrúa, México.
- Foray, D. (2002). The Knowledge Society. *International Social Science Journal*, Vol. 54, Issue 1, pp. 5-7.
- Freiburghouse, A. (2001). Military. *Forbes*, vol. 167, issue 8, pp. 52-52.
- Freire-Séren, M.J. (2001). Human Capital Accumulation and Economic Growth. *Investigaciones Económicas*, vol. 25, issue 3, pp. 585-602.
- FUMEC (1998). *Reporte de actividades 1993-1997*. [Disponible en ligne: <http://www.fumec.org.mx>]

- FUMEC (2002). *Reporte de actividades 2000-2001*. [Disponible en ligne: <http://www.fumec.org.mx>]
- FUMEC (2006). *Reporte de actividades 2004-2005*. [Disponible en ligne: <http://www.fumec.org.mx>]
- FUMEC (2010). *Reporte de actividades 2004-2005*. [Disponible en ligne: <http://www.fumec.org.mx>]
- Funtowics, S.O., and Ravetz, J.R. (1993). Science for the post-normal age. *Futures*, vol. 25, issue 7, pp. 735-755.
- Funtowics, S.O., and Ravetz, J.R. (2003). Post-normal Science, in International Society for Ecological Economics, Internet Encyclopedia of Ecological Economics.
- Gad-el-Hak, M. (2001). *The MEMS Handbook*. CRC Press.
- Gaffet, E. (2008). Nanomatériaux : différentes voies de synthèse, propriétés, applications et marchés. *Cahiers Droit, Science & Technologies*, CNRS Editions, N° 1, pp. 17-24.
- Garcia, P. (2008). Entretien personnel effectué le 9 septembre 2008.
- Geels, F.W. (2005). *Technological Transitions and System Innovations. A Co-Evolutionary and Socio-Technical Analysis*. Edward Elgar Publishing.
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P. And Trow, M. (1994). *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*. SAGE, London.
- Glänzel, W., Meyer, M., Du Plessis, M., Thijs, B., Magerman, T., Schlemmer, B., Rebackere, K., Veugelers, R. (2003). *Nanotechnology : analysis of an Emerging of Scientific and Technological Endeavour*. Report: Steunpunt O&O Statistieken, www.steunpuntoos.be.
- González-Fernández, S., y Pérez-Íñigo, J.M. (2008). Los swaps deuda/naturaleza: estado del arte. *Revista de Economía Mundial*, vol. 18, pp. 231-243.
- Grossetti, M. (2007). Reflexiones en torno a la noción de red. *REDES*, Vol. 12, No. 25, pp. 85-108.
- Guan, J. and Ma, N. (2007). China's emerging presence in nanoscience and nanotechnology. *Research Policy*, Vol. 36, issue 6, pp 880-886.
- Gutierrez, E. (2008). Entretien personnel effectué le 27 février 2008.
- Ham, L.A. (2007). La importancia de la industria electrónica en Jalisco. *e-scholarum*, Vol. 1, No. 1, pp.46-60. [Disponible en ligne: <http://genesis.uag.mx/revistas/escholarum/indice/contenidonumero.htm>, consulté le 15 février 2010]
- Harwood, J. (2009). Peasant friendly plant breeding and the early years of the green revolution in Mexico. *Agricultural History*, vol. 83, issue 3, pp. 384-410.
- Hessels, L.K., and van Lente, H. (2008). Re-thinking new knowledge production: A littérature review and a research agenda. *Research Policy*, Vol. 37, issue 4, pp. 740-760.

- Hubert, M. (2009). Des plates-formes technologiques pour « reste dans la course » ? Certitudes de politique scientifique et mise en forme des incertitudes locales, in : Chalas, Y., Gilbert, C., et Vinck, D. (dir.) *Comment les acteurs s'arrangent avec l'incertitude*. Édit. Des Archives Contemporaines, Paris, pp.75-94.
- Hullmann, A. (2007). Measuring and assessing the development of nanotechnology. *Scientometrics*, Vol. 70, No. 3, pp. 739-758.
- Hullmann, A., and Meyer, M. (2003). Publications and patents in nanotechnology: An overview of previous studies and the state of the art. *Scientometrics*, Vol. 58, No. 3, pp 507-527.
- Igami, M. and Saka, A. (2007). "Capturing the Evolving Nature of Science, the Development of New Scientific Indicators and the Mapping of Science". OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 2007/1, OECD.
- Invernizzi, N, Foladori, G. and Maclurcan, D. (2008). Nanotechnology's Controversial Role for the South. *Science, Technology & Society*, vol. 13, issue 1, pp. 123-148.
- ISTEC (1999). Informe Trimestral ISTE. IX Asamblea General de ISTE, 17 – 19 novembre, Ft. Lauderdale, Florida, États-Unis [Disponible en ligne : www.istec.net/archive/quarterly-messages/qm1-esp.doc, consulté le 22 septembre 2010].
- Jaén, J. B. (2005). El cluster de la electrónica de la región metropolitana de Guadalajara: un análisis comparativo. *Carta Económica Regional*, Universidad de Guadalajara, No. 91, enero-marzo.
- Kay, L. and Shapira, P. (2008). Developing nanotechnology in Latin America. *Journal of Nanoparticle Research*, Vol. 11, no. 2, pp. 259-278.
- Kostoff, R., Koytcheff, R.G. and Lau, C.G.Y. (2007). Global nanotechnology research literature overview. *Current Science*, Vol. 92, No. 11, pp. 1942-1498.
- Kreimer, P. (2006). ¿Dependientes o integrados? La ciencia latinoamericana y la nueva división internacional del trabajo. *Nómadas*, No. 24, pp. 199-212.
- Lapizco-Encinas, B.H. (2008). Aplicaciones de microfluídica en bioseparaciones. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 7, no. 3, pp. 205-214.
- Latour, B. (1989). *La Science en action. Introduction à la sociologie des sciences*. Paris, la Découverte.
- Latour, B. et Woolgar, S. (1996). *La vie de laboratoire. La production des faits scientifiques*. Ed. La découverte, édition française.
- Leydesdorff, L. (2006). *The Knowledge-Based Economy: Modeled, Measured, Simulated*. Universal Publishers, Florida.
- Leydesdorff, L. and Etzkowitz H. (1996). Emergence of a Triple Helix of University-Industry-Government Relations. *Science and Public Policy* 23, pp 279-86.
- Liu K.-K., Wu R.-G., Chuang Y.-J., Khoo H.S., Huang S.-H., Tseng F.-G. (2010). Microfluidic Systems for Biosensing. *Sensors*, vol. 10, issue 7, pp. 6623-6661.

- López, O.E., Briseño, V.S. y Canales, S.D. (2007). *Evaluación del otorgamiento de los recursos del Fondo de Apoyo para la Micro, Pequeña y Mediana Empresa (Fondo PYME) durante el 2006*. Informe, Instituto de Ingeniería de la UNAM, México.
- Losego P. et Arvanitis R. (2008). La science dans les pays non hégémoniques. *Revue d'anthropologie des connaissances*, Vol. 2, n°3, pp. 334-342.
- Louvel, S. (2007). Le nerf de la guerre. Relations financières entre les équipes et organisation de la coopération dans un laboratoire. *Revue d'anthropologie des connaissances*, Vol. 1, n°2, pp. 297-322.
- Lundvall, B.A. (1992). *National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. Pinter Publishers, London.
- Luukkonen, T., Nedeva, M. and Barré, R. (2006). Understanding the dynamics of networks of excellence. *Science and Public Policy*, vol. 33, issue 4, pp.239-252.
- Lyshevski, S. E. (2000). *Nano- and Microelectromechanical Systems*. CRC Press.
- Lyshevski, S. E., Andersen, J. D., Boedo, S., Fuller, L., Rafaele, R., Savakis, A., Skuse, G. R. (2006). Multidisciplinary Undergraduate Nano-Science. *Engineering and Technology Course, IEEE*.
- Martínez-Vidal, C.A. (1997). Sobre el documento "Bases para un régimen de tecnología". *REDES*, Vol. 4, num. 10, pp. 139-150.
- Merton, R.K. (1949 [2003]). *Social Theory and Social Structure*. The Free Press [4ème édition en espagnol utilisée: *Teoría y estructuras sociales*, Ed. Fondo de Cultura Económica, México].
- Miguel, S., Moya-Anegón, F., y Herrero-Solana, V. (2007). El análisis de co-citas como método de investigación en Bibliotecología y Ciencia de la Información. *Investigación bibliotecológica*, Vol. 21, No. 43, México, pp. 139-155.
- Minhas, H. (2010). Lab on a Chip – 10 years and flowing strong. *Lab on a Chip*, vol. 10, issue 17, pp. 2189-2189.
- Morillo, F., Bordons, M., and Gomez, I. (2003). Interdisciplinarity in Science: a tentative typology of disciplines and research areas. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. Vol. 54, issue 13, pp.1237–1249.
- Mowery, D.C., Nelson, R.R. and Martin, B.R. (2010). Technology policy and global warming: Why new policy models are needed (or why putting new wine in old bottles won't work). *Research Policy*, vol. 39, issue 8, pp. 1011-1023.
- Nathanson, H.C., Newell, W.E., Wickstro, R.A. and Davis, J.R. (1967). The resonant gate transistor. *IEEE Transactions Electron Devices*, vol. 14, issue 3, pp. 117-133.
- Nelson, R.R. and Phelps, E.S. (1966). Investment in humans, technological diffusion, and economic growth. *The American Economic Review*, Vol. 56, issue 2, pp. 69-75.
- NSTC (2007). *The National Nanotechnology Initiative. Strategic Plan, National Science and Technology Council*. [Disponible en ligne : <http://www.nano.gov/html/about/strategicplan.html>, consulté le 15 décembre 2010].
- OCDE (1996). *L'économie fondée sur le savoir*. OCDE/GD(96)102, Paris.
- OCDE (1997). *National Innovation Systems*. OECD, Paris.

- OCDE (2002). *Dynamising National Innovation Systems*. OECD, Paris.
- OCDE (2003a). Fondations Philanthropiques et Coopération pour le Développement. *Dossier du CAD*, vol. 4, issue 3, Paris.
- OCDE (2003b). *Gouvernance de la recherche publique: vers de meilleurs pratiques*. OECD, Paris.
- OICTel (2008). “*La nanotecnología en Iberoamérica. Situación actual y tendencias*”. Observatoire Ibéro-Américain de Science, Technologie et Innovation du Centre d’Hautes Etudes Universitaires de l’OEI. [Disponible en ligne: <http://www.oei.es/salactsi/nano.pdf>, consulté le 6 mars 2009].
- Ortega-Ponce, C. (2008). *Relaciones sociales y de genes: sociología del primer vegetal genéticamente modificado y de interés comercial en México*. Thèse de doctorat en Sciences Sociales, Toluca, FCPyS, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Ozel, S. and Ozel, Y. (2008). Nanotechnology in Education: Nanoeducation. *5th WSEAS / IASME International Conference on Engineering Education (EE'08)*, Heraklion, Greece, July 22-24, pp. 372-376.
- Palmberg, C., Dernis, H. and Miguet, C. (2009). “*Nanotechnology: An Overview Based on Indicators and Statistics*”. OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 2009/7, OECD publishing.
- Parmar, I. (2002a). American foundations and the development of international knowledge networks. *Global Networks*, vol. 2, issue 1, pp 13-30.
- Parmar, I. (2002b). To Relate Knowledge and Action: the Impact of the Rockefeller Foundation on Foreign Policy Thinking During America’s Rise Globalism 1939-1945. *Minerva*, vol. 40, no. 3, pp. 235-263.
- Partida, R. (1996). Reestructuración productiva e industria electrónica en Guadalajara. *Espiral*, Vol. II, No. 5, pp. 149-175.
- PECYT (2002). *Programa Especial de Ciencia y Tecnología*. CONACYT, México.
- PECYT (2008). *Programa Especial de Ciencia y Tecnología*. CONACYT, México.
- Peerbaye, A. (2004). *La construction de l’espace génomique en France : la place des dispositifs instrumentaux*. Thèse de doctorat en sociologie, Cachan, Ecole Normale Supérieure de Cachan.
- Pérez, C. (2004). *Revoluciones tecnológicas y capital financiero. La dinámica de las grandes burbujas financieras y las épocas de bonanza*. México, Edit. Siglo XXI.
- Pérez, C. (2009). *Technological revolutions and techno-economic paradigms*. The Other Canon Foundation and Tallinn University of Technology, Working Paper no. 20 [Disponible en ligne: <http://hum.ttu.ee/tg/>, consulté le 3 novembre 2009].
- Porter, A.L., and Youtie, J. (2009). How Interdisciplinary is Nanotechnology? *Journal of Nanoparticle Research*, Vol. 11, issue 5, pp. 1023-1041.
- Pouris, A. (2007). Nanoscale research in South Africa : A mapping exercise based on scientometrics. *Scientometrics*, Vol. 70, issue 3, pp 541-553.
- Radcliffe-Brown, A.R. (1935). On the concept of function in social science. *American Anthropologist*, vol. 37, issue 3, pp. 394-402.

- Rafols, I. (2007). Strategies for Knowledge Acquisition in Bionanotechnology. *Innovation*, Vol.20, issue 4, pp. 395-412.
- Ravetz, J. (2004). The post-normal science of precaution. *Futures*, Vol. 36, issue 3, pp. 347-357.
- Reynaud, J.D. (1997). *Les règles du jeu. L'action collective et la régulation sociale*. Armand Collin, Paris, 3^{ème} éd.
- Robinson, D.K.R., Rip, A. and Mangematin, V. (2007). Technological agglomeration and the emergence of clusters and networks in nanotechnology. *Research Policy*, vol. 36, issue 6, pp. 871-879.
- Robles-Belmont, E. (2009). Las redes científicas como respuesta a la emergencia de las nanociencias y nanotecnologías. *REDES*, vol. 15, num. 29, pp. 93-111.
- Robles-Belmont, E., and Vinck, D. (2011). A panorama of nanoscience developments in Mexico based on the comparison and crossing of nanoscience monitoring methods. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, Vol. 11, issue 6, pp. 5499-5507.
- Robles-Belmont, E., de Gortari-Rabiela, R. y Vinck, D. (2009). "El Estado, la industria y la Universidad en el desarrollo de tecnologías emergentes en México: el caso de la nanotecnología". Conférence ALTEC 2009, communication n° 152, Cartagena de Indias, Colombia, 25-27 de Noviembre.
- Robles-Belmont, E., Vinck, D., y de Gortari-Rabiela, R. (2008). "Desarrollo de las nanociencias en México: una visión a partir de las publicaciones científicas". Conférence NanoMex'08, Mexico City, 4-5 Novembre.
- Rodríguez, J.L. (2008). Entretien personnel effectué le 4 mars 2008.
- Rodríguez, J.L. (2011). Entretien personnel effectué le 8 janvier 2011.
- Sabato, J.A. (1997). Bases para un régimen de tecnología. *REDES*, vol. 4, num. 10, pp. 117-137.
- Sabato, J.A., et Botana, N. (1971). La science, la technique et l'avenir de l'Amérique latine: analyse et stratégie. *Tiers-Monde*, Vol. 12, No. 47, pp. 579-594.
- Saldaña, J.A. (2010). Entretien personnel effectué le 10 mai 2010.
- Schroyer, T. (1984). On Finalization in Science. *Theory and Society*, Vol. 13, No. 5, pp. 715-723.
- SE (2010a). Projet intitulé « Establecer las Bases y Procedimientos de Colaboración para el Proyecto Denominado Fortalecimiento de las Capacidades del CAP MEMS que Procuren la Integración y Articulación Productiva con las MIPYMES ». Réponse du Ministère de l'Économie du Mexique à la sollicitude d'information publique n°. 0001000065210, reçu via le système Infomex le 19 mai 2010.
- SE (2010b). Liste de projets développés par la FUMEC et financés par le Ministère de l'Économie du Mexique. Réponse du Ministère de l'Économie du Mexique à la Sollicitude d'Information Publique n°. 000100015321 0, reçue via le système Infomex le 5 octobre 2010.
- SE (2010c). Projet intitulé « Fortalecimiento del CAP-MEMS para Facilitar el Uso y Aplicaciones de MEMS por Empresas Mexicanas y La Integración de Clusters ».

Réponse du Ministère de l'Économie du Mexique à la sollicitude d'information publique n° 0001000065510, reçu via le système Inf omex le 19 mai 2010.

Shapira, P., Youtie, J. and Porter, A.L. (2010). The emergence of social science research on nanotechnology. *Scientometrics*, vol. 85, issue 2, pp. 595-611.

Sharif, N. (2006). Emergence and development of the National Innovation Systems concept. *Research Policy*, Vol. 35, issue 5, pp. 745-765.

Shinn T. (2002). Nouvelle production du savoir et triple hélice. Tendances du prêt-à-penser les sciences. *Actes de la recherche en sciences sociales*, No. 141-2, pp. 21-30.

Slaughter, S. and Rhoades, G. (2004). *Academic capitalism and the new economy: markets, state, and higher education*. Baltimore and London: John Hopkins University Press.

Slaughter, S., and Leslie, L.L. (1997). *Academic Capitalism. Politics, Policies, and the Entrepreneurial University*. Baltimore and London: John Hopkins University Press.

Solorzano, A. (1994). The Rockefeller Foundation in Revolutionary Mexico: Yellow Fever in Yucatan and Veracruz, in: Coeto, M. (ed.), *Missionaries of Science. The Rockefeller Foundation & Latin America*. Indiana University Press, pp. 52-71.

Song, Y. (2009). Trainign, Technological Change, and Displacement. *Journal of Labore Research*, vol.30, issue 3, pp. 201-218.

Tovar, R. (2010). Entretien personnel effectué le 29 mai 2010.

Vinck, D. (2006a). "La construcción de un modelo local de trabajo colectivo: el caso de un polo de investigación en micro y nanotecnología". Conférence ESOCITE VI, Bogotá, Colombia, 19-21 avril.

Vinck, D. (2006b). L'équipement du chercheur : comme si la technique était déterminante. *ethnographiques.org*, Numéro 9. [Disponible en ligne : <http://www.ethnographiques.org/2006/Vinck.html>, consulté le 10 mars 2007].

Vinck, D. (2007). *Sciences et société. Sociologie du travail scientifique*. Armand Colin, Paris.

Annexes

Etude scientométrique sur l'émergence de la Technologie des Microsystèmes

Dans cette partie, nous présentons les avancements des résultats d'un exercice de caractérisation de l'évolution de la technologie des MEMS (Systèmes Micro Electromécaniques) dans le monde et au Mexique. Il s'agit d'une étude scientométrique sur ces technologies qui est basée sur le comptage d'articles scientifiques. Les résultats présentés concernent donc la production scientifique en termes de publications, les acteurs institutionnels engagés (universités, entreprises, etc.), les domaines impliqués, les revues scientifiques de publication et les collaborations scientifiques.

Methodologie

L'objet central de cette étude est d'obtenir une base de données des références bibliométriques la plus représentative possible du domaine des MEMS. Pour l'obtention des informations bibliométriques, nous avons consulté la *Science Citation Index Expanded* (SCIE) de la ISI-Thomson, version Web of Science. Afin d'identifier les références, nous avons employé des équations lexicales de recherche composées des mots clés représentatives du champ des Microsystèmes. Les données obtenues servent pour constituer le corpus de notre base de données. Dans ce type d'études, nous sommes confrontés aux contraintes de prendre en

compte des références qui ne concernent pas le domaine en étude (connu comme bruit) et de ne pas considérer des références qui concernent le domaine en question (connu comme silence). Pour dépasser ces contraintes, il est nécessaire d'inclure dans les équations de recherche des mots qui nous permettent d'exclure des références et des mots qui nous permettent d'inclure des références. Les opérateurs booléennes (AND, OR et NOT) sont aussi utilisés dans les équations de recherche pour inclure et exclure les références.

Dans le tableau A1 figure la stratégie de recherche menée dans cette étude et qui a été effectuée en trois requêtes. L'équation de la requête 1 contient l'acronyme MEMS et des mots composés utilisés pour se référer au domaine en étude. Le mot composé « Medication Event Monitoring System » a aussi comme acronyme MEMS, c'est pour quoi nous avons inclus ce mot avec la négation NOT pour exclure les références qui provoquent du « bruit » dans notre corpus.

Dans la requête 2, l'équation de recherche employée a été formée avec des mots issus d'une analyse statistique de texte avec le logiciel WordMapper. La sélection de ces mots a été confrontée et approuvée par des spécialistes mexicains du domaine des MEMS²⁹. Les mots clés sélectionnés correspondent aux dispositifs MEMS reportés dans la littérature. Le mot « TAS » est l'acronyme de Total Analysis System, qui sont des systèmes étroitement liées aux laboratoires sur une puce (Lab-on-chip). Mais ce mot est aussi l'acronyme de « Total Antioxidant Status », qui ne concerne pas le domaine des MEMS. Ce dernier mot composé a donc été inclus dans l'équation de la requête 2 après l'opérateur NOT.

Finalement, la requête 3 est la combinaison des deux premières requêtes. Les résultats obtenus de l'application de ces requêtes sont montrés dans la troisième colonne du tableau A1, dans lequel les chiffres entre parenthèses indiquent les références qui concernent les articles publiés.

²⁹ Une présentation de la démarche méthodologie a été effectuée avec la présence de huit spécialistes dans le domaine des MEMS au Mexique. Cet événement a eu lieu le 4 août 2010 dans les installations de la Faculté d'Ingénierie de l'UNAM avec le soutien du centre UNAMems.

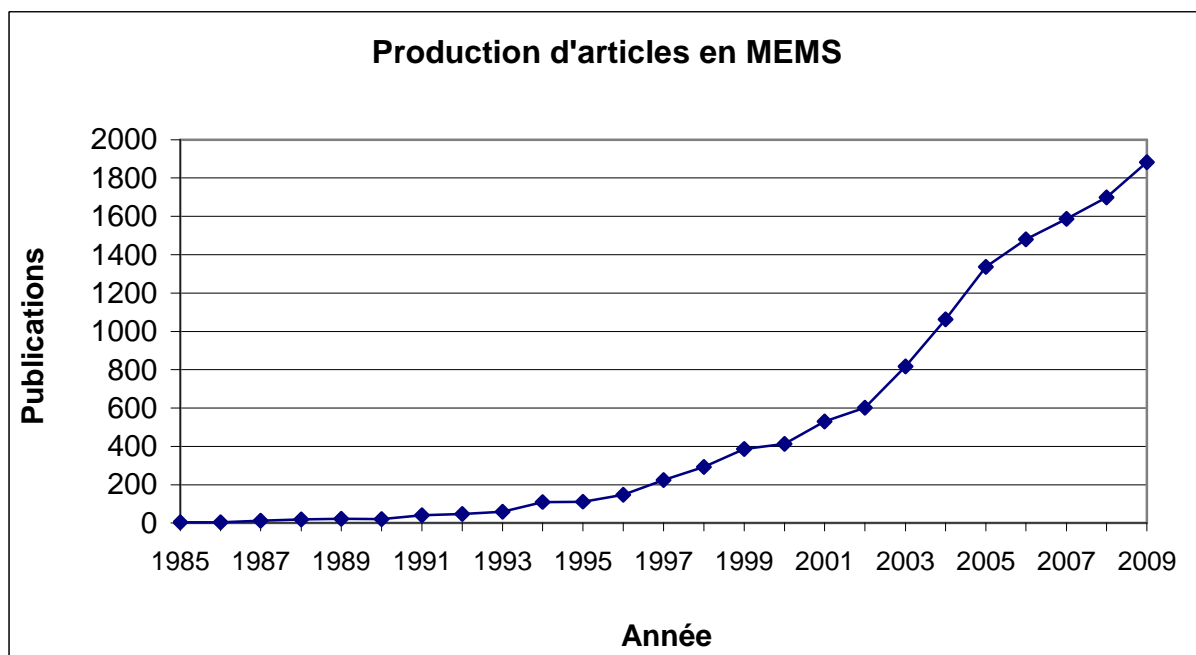
Requête 1 Général	TS=(((MEMS) OR (microelectromechanical system*) OR (Microelectromechanical device*) OR (microsystem technology)) NOT (Medication Event Monitoring System))	12 743 (9 052)
Requête 2 Dispositifs MEMS	TS=(((MOEMS) OR (micro opto-electromechanical system*) OR (optical-microelectromechanical system*) OR (micro*tas) OR (micro-total analysis system*) OR (mu TAS) OR (mu-TAS) OR (microresonator*) OR (micro-resonator*) OR (microactuator*) OR (micro-actuator*) OR (microsensor*) OR (micro-sensor*) OR (Lab-on-a-chip*) OR (microaccelerometer*) OR (micro-accelerometer*) OR (microoptomechatronic*) OR (micro-optomechatronic*) OR (microbiosensor*) OR (micro-biosensor*)) NOT ((total antioxidant status) OR (TAS-102)))	8 332 (6 011)
Requête 3	#1 OR #2	19 751 (14 103)

Tableau A1. Équations lexicales de recherche pour le domaine des MEMS.

Résultats

Ensuite nous présentons les graphiques et les tableaux des résultats obtenus dans cette étude. D'abord, nous exposons les résultats au niveau mondial et ensuite les résultats concernant le Mexique. L'interprétation de certains de ces résultats a été faite dans le premier chapitre de la thèse.

Développement des MEMS au niveau Mondial



Graphique A1. Evolution mondiale des publications dans le domaine des MEMS.

Top	Pays	Publications	% de 12919
1	Etats-Unis	5129	39,70%
2	Chine	1186	9,18%
3	Japon	992	7,68%
4	Allemagne	915	7,08%
5	Corée de Sud	721	5,58%
6	Taiwan	632	4,89%
7	France	567	4,39%
8	Angleterre	530	4,10%
9	Canada	483	3,74%
10	Singapour	421	3,26%

Tableau A2. Top 15 des pays dans le domaine des MEMS.

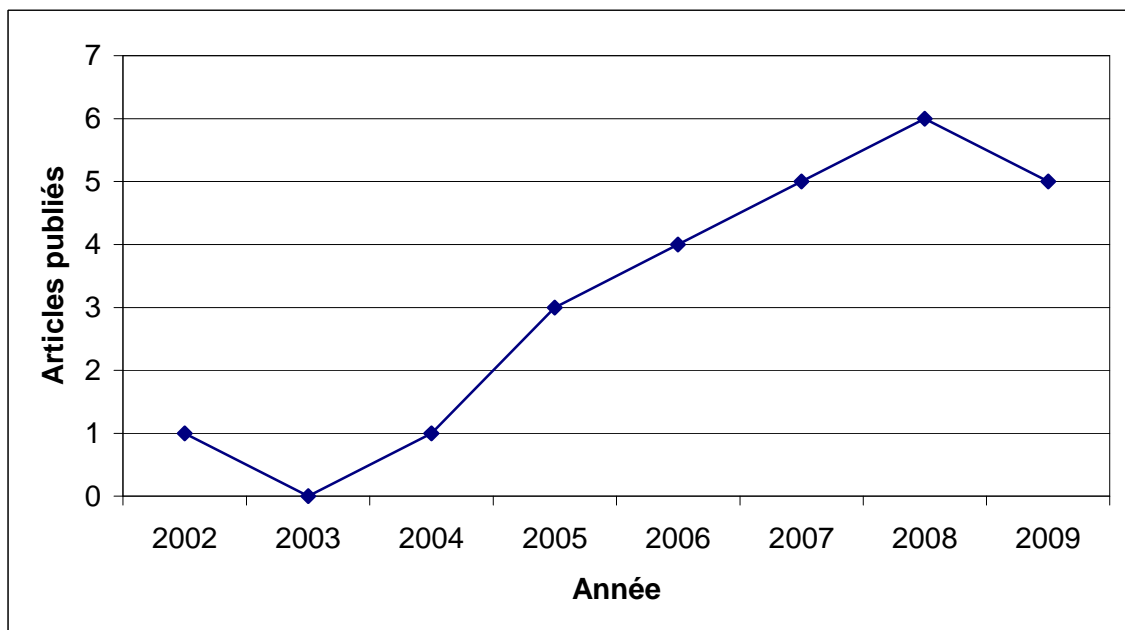
Top	Revue	Publications	% de 12919
1	JOURNAL OF MICROMECHANICS AND MICROENGINEERING	849	6,57%
2	JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS	834	6,46%
3	SENSORS AND ACTUATORS A-PHYSICAL	671	5,19%
4	APPLIED PHYSICS LETTERS	316	2,45%
5	SENSORS AND ACTUATORS B-CHEMICAL	296	2,29%
6	IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS	242	1,87%
7	LAB ON A CHIP	213	1,65%
8	ANALYTICAL CHEMISTRY	193	1,49%
9	MICROSYSTEM TECHNOLOGIES-MICRO-AND NANOSYSTEMS-INFORMATION STORAGE AND PROCESSING SYSTEMS	169	1,31%
10	IEEE SENSORS JOURNAL	166	1,28%

Tableau A3. Top 10 des revues scientifiques dans le domaine des MEMS.

Top 10	Champs de la connaissance	Publications	% de 12919
1	ENGINEERING, ELECTRICAL & ELECTRONIC	5085	39,36%
2	INSTRUMENTS & INSTRUMENTATION	2730	21,13%
3	MATERIALS SCIENCE, MULTIDISCIPLINARY	2452	18,98%
4	PHYSICS, APPLIED	2261	17,50%
5	NANOSCIENCE & NANOTECHNOLOGY	2157	16,70%
6	ENGINEERING, MECHANICAL	1470	11,38%
7	MECHANICS	1276	9,88%
8	OPTICS	1270	9,83%
9	CHEMISTRY, ANALYTICAL	1230	9,52%
10	ELECTROCHEMISTRY	821	6,35%

Tableau A3. Top 10 des champs de la connaissance dans le développement des MEMS.

Développement des MEMS au Mexique



Graphique A2. Evolution des publications dans le domaine des MEMS au Mexique.

Top	Institution	Publications	% de 25
1	UNAM	10	40,00%
2	INAOE	4	16,00%
3	BUAP	4	16,00%
4	CINVESTAV-IPN	3	12,00%
5	ITESM	2	8,00%
6	UDLA	2	8,00%
7	Ugto	2	8,00%
8	Uver	2	8,00%
9	UAZac	1	4,00%
10	UAM-Izt	1	4,00%
11	UPAEP	1	4,00%
12	UAEH	1	4,00%
13	UAEMor	1	4,00%
14	ITLag	1	4,00%
15	UASLP	1	4,00%
16	CICESE	1	4,00%

Tableau A4. Institutions mexicaines dans le domaine des MEMS au Mexique.

Top	Revues	Publications	% de 25
1	Rev. Mex. Fis.	4	16,00%
2	Rev. Mex. Ing. Quim.	3	12,00%
3	J. Micromech. Microeng.	2	8,00%
4	Appl. Phys. Lett.	2	8,00%
5	Precis. Eng.-J. Int. Soc. Precis. Eng. Nanotechnol.	1	4,00%
6	Phys. Status Solidi B-Basic Solid State Phys.	1	4,00%
7	Phys. Lett. A	1	4,00%
8	Opt. Express	1	4,00%
9	New J. Phys.	1	4,00%
10	J. Micro-Nanolithogr. MEMS MOEMS	1	4,00%
11	J. Mater. Sci.-Mater. Electron.	1	4,00%
12	J. Colloid Interface Sci.	1	4,00%
13	J. Appl. Phys.	1	4,00%
14	Can. J. Anal. Sci. Spectrosc.	1	4,00%
15	Z. Metallk.	1	4,00%
16	Trac-Trends Anal. Chem.	1	4,00%
17	SIAM J. Appl. Math.	1	4,00%
18	Rev. Mex. Fis. E.	1	4,00%

Tableau A5. Revues scientifiques qui ont publié au moins un article dans le domaine des MEMS au Mexique.

Top	Champs de la connaissance	Publications	% de 25
1	PHYSICS, MULTIDISCIPLINARY	7	28,00%
2	PHYSICS, APPLIED	4	16,00%
3	NANOSCIENCE & NANOTECHNOLOGY	4	16,00%
4	ENGINEERING, ELECTRICAL & ELECTRONIC	4	16,00%
5	MATERIALS SCIENCE, MULTIDISCIPLINARY	4	16,00%
6	INSTRUMENTS & INSTRUMENTATION	3	12,00%
7	ENGINEERING, CHEMICAL	3	12,00%
8	CHEMISTRY, APPLIED	3	12,00%
9	OPTICS	2	8,00%
10	PHYSICS, CONDENSED MATTER	2	8,00%

Tableau A6. Institutions mexicaines qui ont publié au moins un article dans le domaine des MEMS au Mexique.