

Université Louis Pasteur – Strasbourg 1

Faculté des Sciences Économiques et de Gestion

Interdisciplinarité dans un système de recherche universitaire

THÈSE

présentée et soutenue publiquement le \ThesisDate

pour l'obtention du

Doctorat de l'Université Louis Pasteur – Strasbourg 1

Spécialité Sciences Économiques

par

THUC UYEN NGUYEN THI

Composition du jury

Président : M. DOMINIQUE FORAY
Professeur, Université de Lausanne

M. CHRISTIAN LEBAS
Professeur, Université de Lyon 2

M. DOMINIQUE FORAY
Professeur, Université de Lausanne

M. BERNARD ANCORI
Professeur, Université Louis Pasteur de Strasbourg 1

Directeurs de thèse : M. PATRICK COHENDET
Professeur, Université Louis Pasteur de Strasbourg 1

Mis en page avec la classe thloria.

*La Faculté n'entend donner aucune approbation
ou improbation aux opinions émises dans la thèse.
Ces opinions doivent être considérées comme
propres à son auteur*

Remerciements

Je voudrais tout d'abord exprimer toute ma reconnaissance à Messieurs les Professeurs Patrick Cohendet et Patrick Llerena, pour avoir accepté de m'encadrer durant cette thèse et pour le temps qu'ils y ont consacré. Leurs conseils toujours très constructifs, leurs qualités humaines et leur confiance m'ont été d'une aide précieuse contribuant à l'aboutissement de ce travail.

Je voudrais remercier également Messieurs les Professeurs Bernard Ancori, Dominique Foray et Christian Lebas qui me font l'honneur de composer mon jury.

Des participations à plusieurs conférences et séminaires m'ont offert la possibilité de recevoir des critiques et d'avoir des discussions permettant d'améliorer certains aspects de mes travaux. Je remercie Stéphane Bertrand, Morillo Fernanda, Jean-Alain Héraud, Isabelle Gómez, Frieder Meyer-Kraehmer et Ulrich Schmoch. Mes remerciements s'adressent également à Laurent Bach, Antoine Bureth, Nicolas Carayol, Régis Larue de Tournemine, Christophe Lerch pour les discussions et commentaires constructifs sur mes travaux.

J'exprime un grand merci à Nicolas Carayol et Agénor Lahatte pour nos collaborations enrichissantes, ainsi que les rapporteurs de la revue scientifique *Research Evaluation* pour leurs critiques et commentaires sur mes papiers.

Une grande partie de ce travail est basée sur des données empiriques. Sans l'aide et la collaboration précieuses de Nicolas Carayol, Mireille Matt, Levy Rachel, Sandrine Wolff, Patrick Llerena, je n'aurais pu mener à bien cet essai. Je voudrais remercier également Morillo Fernanda, Phu Nguyen Van, Ulrich Schmoch et particulièrement Yves Kuhry pour leurs conseils techniques précieux.

Je remercie le Bureau d'Économie Théorique et Appliquée (BETA) et l'École doctorale Augustin Cournot pour avoir mis à ma disposition l'ensemble des moyens intellectuels et financiers pour la réalisation de ce travail. Je remercie également le Gouvernement français qui, à travers le Ministère des Affaires Étrangères, a financé mes six premières années d'études en France. J'exprime ma reconnaissance à la région Alsace qui m'a attribué une bourse de recherche de 2002 à 2003.

Mes remerciements s'adressent également à Blandine Zimmer, Benoit Chalignac, Monique Flasaquier, Christine Demange, Régis Larue de Tournemine et Jean-Marc Wolff pour leur gentillesse d'avoir consacré leur temps à la relecture de mes travaux.

Un grand merci à mes compagnons de bureau 154 qui ont su me procurer une ambiance de travail humaine et stimulante du début à la fin de cette thèse. Un grand merci à mes amis, en particulier Kim Cuong, Jean-Marc, Robert et Janine qui, de loin ou de près, m'ont apporté leur soutien précieux tout au long de cette thèse.

Je voudrais exprimer toute ma reconnaissance profonde à mes parents, mes soeurs et frères qui, en dépit de l'éloignement géographique, ont toujours su trouver les mots pour exprimer leur soutien, leur encouragement et leur confiance. Je remercie également Gisela et Frank qui m'ont témoigné leur encouragement discret mais sans faille.

Enfin, mon affection entière va à Markus, qui, avec son amour, sa joie de vivre contagieuse et sa confiance, m'a aidé à dépasser les moments les plus durs.

*à la mémoire de mon grand-père,
à mes parents,*

Table des matières

Table des figures	xiii
--------------------------	-------------

Introduction générale	1
1 Motivation	2
2 Méthodologie et résultats principaux de la thèse	6
2.1 Résultats empiriques	7
2.2 Résultats théoriques	9

Chapitre 1 Contexte et obstacles au développement de l’interdisciplinarité	13
---	-----------

1.1 Introduction	14
1.2 Contexte d’évolution	15
1.2.1 Système traditionnel de recherche universitaire	15
1.2.2 Évolution du milieu de la recherche publique	17
1.2.3 Émergence de la recherche interdisciplinaire	21
1.3 Obstacles et barrières à l’interdisciplinarité	26
1.3.1 Problèmes institutionnels	26
1.3.2 Problèmes d’ordre cognitif, culturel et psychologique	29
1.3.3 Problèmes d’ordre matériel et administratif	30
1.4 Multidisciplinarité d’un laboratoire universitaire	31
1.4.1 Motivation	31
1.4.2 Données et variables	32
1.4.3 Modèle économétrique et résultats d’estimation	38
1.5 Conclusion	39

Chapitre 2 Aspects interdisciplinaires des publications scientifiques	43
--	-----------

2.1 Introduction	44
2.2 Revue de littérature des mesures d’interdisciplinarité	46
2.2.1 Différentes mesures d’interdisciplinarité	46

2.2.2	Définition de nouveaux indicateurs de multidisciplinarité et d'interdisciplinarité	48
2.3	Données et variables	50
2.3.1	Données	50
2.3.2	Variables et statistiques descriptives	52
2.4	Étude empirique sur les déterminants de l'interdisciplinarité	55
2.4.1	Modèle économétrique	55
2.4.2	Résultats d'estimation	56
2.5	Conclusion	62
<hr/>		
Chapitre 3	Aspects interdisciplinaires des brevets universitaires	65
3.1	Introduction	66
3.2	Données et variables	67
3.2.1	Données	67
3.2.2	Variables collectives	69
3.2.3	Variables individuelles	70
3.2.4	Mesure d'interdisciplinarité du brevet	76
3.3	Modèle économétrique et résultats d'estimation	77
3.4	Conclusion	79
<hr/>		
Chapitre 4	Modèle analytique de la collaboration interdisciplinaire	83
4.1	Introduction	84
4.2	Structures d'incitation et de communication	87
4.2.1	Rôle capital de la communication et des structures d'incitation à l'interdisciplinarité	88
4.2.2	Spécificités des mécanismes d'incitation	90
4.2.3	Spécificités du processus de communication	93
4.3	Variété des formes d'interactions interdisciplinaires	95
4.3.1	Interdisciplinarité épistémologique : l'interaction interdisciplinaire "Science-Science"	96
4.3.2	Interdisciplinarité praxéologique : l'interaction interdisciplinaire "Science-Technologie"	98
4.4	Conclusion	101
<hr/>		
Chapitre 5	Interdisciplinarité et politique de recherche	105
5.1	Introduction	106

5.1.1	Gouvernement à l'égard de l'interdisciplinarité	108
5.1.2	Rhétorique universitaire de l'interdisciplinarité	110
5.1.3	Antinomie des politiques de science	113
5.2	Théorie de délégation dans la politique de science	117
5.2.1	Incertitudes liées à la délégation	118
5.2.2	Différents modes de délégation	120
5.3	Incitations dans un modèle de délégation avec information in- complète	122
5.3.1	Délégation basée sur la confiance	127
5.3.2	Délégation sous surveillance	129
5.3.3	Délégation par réseau de collaboration	133
5.4	Conclusion et implication	145

Conclusion générale	149
----------------------------	------------

Annexe A : Présentation de l'Université Louis Pasteur	155
Annexe B : Détermination de disciplines et sous-disciplines	159
Annexe C : Nomenclature de l'Observatoire des Sciences et des Techniques (OST) (1996)	161
Bibliographie	165

Liste des tableaux

1.1	Répartition des scientifiques et des laboratoires par département	33
1.2	Description des variables	36
1.3	Résultats d'estimation	39
2.1	Les statistiques descriptives des variables	53
2.2	L'estimation du modèle Tobit donné dans les équations 2.4 et 2.5	57
3.1	Fréquences des disciplines dans les brevets de l'ULP	68
3.2	Description des variables	75
3.3	Résultats d'estimation	78

Table des figures

1.1	Degré de multidisciplinarité des laboratoires	37
1.2	Degré de multidisciplinarité au niveau départemental	38
2.1	Distribution de niveau d'interdisciplinarité des chercheurs	56
2.2	Relation entre interdisciplinarité et publications	58
3.1	Fréquences de brevets selon les grandes disciplines	69
3.2	Degré de multidisciplinarité au niveau départemental	70
3.3	Taille de l'équipe d'invention	72
3.4	Géographie des inventeurs	74
3.5	Degré moyen d'interdisciplinarité par année	77
4.1	Structures d'interactions interdisciplinaires selon les spécificités du processus d'apprentissage	99
5.1	Séquences de décisions	124

Introduction générale

1 Motivation

Les études récentes ont souligné que dans une société basée sur la connaissance où la profession scientifique est confrontée à des problèmes de plus en plus complexes, les déterminants d'une solution potentielle impliquent la collaboration entre plusieurs professions et l'intégration de diverses catégories disciplinaires (Robson 1993, Ziman 1994, Gibbons *et alii* 1994). Les chercheurs en sociologie, psychologie et histoire de la science s'intéressent également à la question de savoir comment la recherche interdisciplinaire en science est organisée (Barmark et Wallen 1980, Robertson 1983, Birnbaum 1981) et comment les scientifiques se comportent envers l'interdisciplinarité (Crane 1972, Crow *et alii* 1992).

D'ailleurs, quand la technologie et la science sont de plus en plus interdisciplinaires et que leur évolution devient un grand défi pour la science et le système d'innovation, les économistes s'intéressent à ce phénomène et cherchent à comprendre le rôle de l'interdisciplinarité dans l'innovation technologique (Grupp 1994, Meyer-Krahmer 1997), à décrire les mécanismes et barrières institutionnelles et organisationnelles qui empêchent son développement (Grupp 1994, Laudel et Gläser 1998, Morreale 2002) et à analyser l'évolution et les impacts de l'interdisciplinarité sur l'organisation de l'Université (Llerena et Meyer-Krahmer 2003).

Le développement de l'interdisciplinarité, aussi bien au niveau universitaire que dans l'ensemble des organismes de recherche, s'inscrit dans un contexte de réflexions au niveau politique et scientifique, quant à la place de l'interdisciplinarité dans les activités scientifiques et quant à l'organisation des relations entre les partenaires de recherche. L'intérêt porté à ces questions trouve une illustration récente avec plusieurs rapports récents : "Interdisciplinarity and the organisation of knowledge in Europe" commandé par la Commission Européenne (1997); "Interdisciplinarity for the University of Ottawa" de Mann (2002) ou "The policy and practice of interdisciplinarity in the Swedish University Research System" de Schild *et alii* (2002). La mission à laquelle répondent ces rapports comprend notamment la formulation, à partir d'une analyse de la situation, de propositions pour améliorer la gestion et le développement de la recherche interdisciplinaire.

Bien que la recherche interdisciplinaire soit devenue une pratique courante dans la communauté scientifique et constitue l'objet central de beaucoup de

projets de recherche sur la formation et l'organisation de la connaissance, elle reste un concept vague, difficile à définir. Elle est souvent définie comme des champs de connaissances différents présents dans un groupe de travail ; l'ensemble des membres utilisant des approches différentes afin de résoudre des problèmes ; l'intégration des disciplines au sein d'un environnement de recherche (Qin *et alii* 1997) ; les membres d'un groupe de travail assumant des rôles différents pour achever la tâche définie ou le résultat du travail d'une équipe composée de chercheurs venant de disciplines différentes (Sanz-Menéndez *et alii* 2001). Il est donc possible d'identifier plusieurs types, approches ou niveaux d'interdisciplinarité (Klein 1996 ; Jantsch 1972 ; Rossini *et alii* 1981 ; Morin 1990) qui risquent de créer des confusions lors de l'application de cette notion. Récemment, Acutt *et alii* (2000) ont proposé une définition des différents niveaux d'interdisciplinarité selon un ordre croissant en termes de coopération et d'intégration des disciplines.

- Le niveau disciplinaire caractérise une communauté (groupe de travail, laboratoire, département ou discipline) ayant un champs distinctif de connaissances où les chercheurs ont leur propres communautés d'experts, leurs concepts, leurs méthodes et pratiques.
- Le niveau cross-disciplinaire est caractérisé par la transposition de règles, de concepts et de méthodes de travail.
- Le niveau multidisciplinaire ou pluridisciplinaire est caractérisé par le regroupement de disciplines différentes afin de travailler sur le même problème ou objectif sans que soit présente l'intégration entre les contributions ou perspectives différentes.
- Le niveau interdisciplinaire caractérise l'intégration de disciplines différentes avec intégration des méthodes, des concepts et points de vue afin de résoudre un problème complexe. La communication, le dialogue, la négociation et la réflexivité sont intensifs, flexibles et adaptables aux problèmes à résoudre.
- Finalement, le niveau transdisciplinaire est caractérisé par l'aboutissement à un ensemble de règles et de méthodes et par l'intégration et la coopération à tous les niveaux de connaissances afin d'achever un objectif commun.

Nous allons, tout au long de la thèse, utiliser cette définition, et plus spécifiquement les deux notions de multidisciplinarité et d'interdisciplinarité.

Malgré son intérêt croissant, l'interdisciplinarité, qui est considérée comme une approche ou un outil de recherche (Pestre 2003a), suscite des constatations diverses et contrastées quant à son évolution et quant au rôle des politiques scientifiques. Plusieurs études sur l'interdisciplinarité soulignent que depuis la fin de la Deuxième Guerre Mondiale, la recherche disciplinaire est encouragée significativement et la culture disciplinaire est profondément enracinée dans les organismes de recherche. Cette tendance est principalement due aux systèmes de financement de recherche public orienté vers des orientations disciplinaires, et que depuis des décennies, la recherche interdisciplinaire refait surface grâce à des développements de politique de recherche qui encourage ce type de recherche afin de répondre à des besoins sociaux et environnementaux complexes. Les sciences évoluent selon les contextes historiques spécifiques. Pestre (1997) explique ce phénomène par la nécessité des développements technoscientifiques pour la guerre, en particulier la Deuxième Guerre Mondiale, où les différents champs de savoirs se mobilisent pour développer de nouveaux concepts d'armes. Le panorama de la recherche a changé du fait d'une modification des principales régulations politiques, sociales et économiques.

Cette analyse suppose que le développement de l'interdisciplinarité s'inscrit dans un cycle lié à l'évolution de la science où l'interdisciplinarité émerge naturellement en réponse à des circonstances spécifiques tels que le changement de la demande en provenance des industries, de type de connaissances, etc. Il est étroitement lié à la notion de "normative structure of science" de Merton (1973), impliquant l'autonomie de la science. Il conforte la thèse de "bottom-up" selon laquelle l'interdisciplinarité ne doit pas être imposée de l'extérieur, au détriment de celle de top-down qui met l'accent sur l'importance de l'application des connaissances scientifiques à des objectifs spécifiques et de la création des institutions pour guider la production de connaissances scientifiques et ainsi leurs applications.

La littérature sur l'interdisciplinarité a également mis en évidence plusieurs facteurs qui influencent le dépassement des frontières disciplinaires (Laudel et Gläser 1998 ; Schmoch *et alii* 1994 ; OCDE 1972 ; Ziman 1994, 1997). En effet, l'introduction et le développement de l'interdisciplinarité dans les universités comme facteurs de transformation se heurtent à de nombreux obstacles. Ils posent des problèmes d'autant plus difficiles à résoudre que les universités présentent une grande diversité. On pourrait les classer en trois catégories :

problèmes d'ordre institutionnel, problèmes d'ordre cognitif et psychologique, et problèmes d'ordre matériel et administratif. La première catégorie de problèmes a trait au cloisonnement des disciplines, ainsi qu'au mode de recrutement basé sur des normes de performance disciplinaire en vigueur dans l'université. Les problèmes d'ordre cognitif et psychologique sont liés à une culture et un état d'esprit fortement disciplinaires des scientifiques. Finalement, l'organisation de l'espace et du temps de recherche expliquent les problèmes matériels que rencontrent les chercheurs universitaires.

Les études existantes se sont concentrées principalement sur l'évaluation de l'impact de ces problèmes sur le développement de l'interdisciplinarité. Cependant, ces études sont majoritairement descriptives et les résultats obtenus n'ont pas été renforcés par des évaluations quantitatives systématiques basées sur des données réelles. Ce type d'analyse empirique est pourtant important dans la mesure où les scientifiques et les décideurs politiques s'interrogent sur les incitations et les facteurs qui influencent l'agenda de recherche des chercheurs académiques. Ce point constitue l'objet central de la partie empirique de la thèse.

Compte tenu des éléments soulignés ci-dessus, la thèse s'intéresse principalement aux facteurs d'incitation favorisant le développement de l'interdisciplinarité dans un système de recherche universitaire basée sur la connaissance. L'objectif principal est de comprendre par quels moyens une université peut soutenir le développement de la recherche dépassant les frontières disciplinaires. Cette question resurgit régulièrement dans les débats académiques, les colloques nationaux et internationaux.¹ La prise en compte de l'hétérogénéité des unités de recherche au sein de l'université complique considérablement la réponse à cette question. Dans cette perspective, plusieurs interrogations constituent le point de départ de notre thèse : Dans un système de recherche universitaire, l'interdisciplinarité émerge-t-elle seulement sous l'impulsion des besoins technologiques ? Sur quels facteurs devrait-on agir pour améliorer le développement de l'interdisciplinarité, compte tenu des contraintes dont fait l'objet l'université ? Quel est le rôle des mécanismes d'incitation et des structures de communication dans l'intensité des collaborations interdisciplinaires ? Et finalement, quel est le mode d'intervention des décideurs publics qui serait

¹Un forum sur l'interdisciplinarité a été proposé sur le site internet <http://www.interdisciplines.org/interdisciplinarity/>

susceptible de soutenir au mieux le développement des programmes interdisciplinaires ?

2 Méthodologie et résultats principaux de la thèse

La thèse inclut deux approches, évaluative et analytique, qui sont utilisées respectivement en deux parties. Dans une première partie, nous analysons les conditions d'émergence et les contraintes (institutionnelles, psychologiques, cognitives, matérielles et financières) de l'interdisciplinarité (chapitre 1). Pour appuyer cette analyse théorique, nous utilisons les données riches et originales sur l'ensemble du système de recherche de l'université Louis Pasteur (ULP) afin d'évaluer l'interdisciplinarité et les facteurs qui l'influencent au sein de cette grande université. Ces données contiennent les informations sur les publications scientifiques, les brevets, les contrats publics et industriels, les caractéristiques organisationnelles et institutionnelles de plus de 100 laboratoires et plus de 1400 chercheurs permanents. La thèse propose une évaluation du comportement des scientifiques universitaires envers la recherche interdisciplinaire, en utilisant un ensemble de données originales. Trois études empiriques émanent de ce projet : une étude sur la composition multidisciplinaire des laboratoires de l'ULP (chapitre 1) ; une étude sur les aspects interdisciplinaires dans les brevets déposés par l'ULP (chapitre 2) et une autre sur la collaboration interdisciplinaire dans les publications scientifiques de l'ULP (chapitre 3).

Dans une deuxième partie, après avoir pris en compte l'intérêt de la recherche interdisciplinaire ainsi que les contraintes et problèmes qui entravent son développement dans l'université, nous focalisons l'attention sur la manière dont les collaborations interdisciplinaires émergent au sein de l'université. Plus spécifiquement, nous construisons un modèle analytique des différentes formes d'interactions entre les communautés scientifiques et technologiques en fonction de deux dimensions : l'intensité des incitations à collaborer entre les communautés et la qualité de la communication entre ces communautés (chapitre 4). Nous proposons également une nouvelle analyse de la relation de délégation entre le gouvernement et l'université à travers un modèle principal-agent. L'objectif de cette modélisation est d'étudier l'efficacité de différents modes de délégation dans le contexte actuel de l'économie basée sur la connaissance (chapitre 5).

2.1 Résultats empiriques

Dans le **chapitre 1**, nous montrons que la recherche interdisciplinarité n'est pas un mode de recherche passager mais elle s'impose comme une conséquence évidente de l'évolution de l'université dans une société qui s'appuie de plus en plus sur le savoir et l'information. Nous proposons également un indicateur de la multidisciplinarité du laboratoire à partir des données sur les affiliations institutionnelles des chercheurs. Il nous permet d'analyser la composition disciplinaire des chercheurs appartenant aux laboratoires de l'ULP. Nous considérons également un modèle de régression simple pour déterminer les facteurs qui peuvent avoir un impact sur cet indicateur. Les résultats de l'estimation montrent que la taille d'un laboratoire peut expliquer sa multidisciplinarité. Celle-ci ne dépend pas du statut légal du laboratoire. Nous constatons également une influence négative de la présence de chercheurs universitaires sur le degré de multidisciplinarité et nous notons que les départements scientifiques expliquent fortement la divergence des degrés de multidisciplinarité des laboratoires.

Dans le **chapitre 2**, nous analysons l'interdisciplinarité dans les publications scientifiques des chercheurs permanents de l'ULP et nous essayons de comprendre pourquoi les chercheurs s'engagent dans la recherche interdisciplinaire. Nous proposons, d'une part, un nouvel indicateur d'interdisciplinarité du chercheur en se basant sur la classification de catégories de revues scientifiques de l'Institute for Scientific Information (ISI). D'autre part, nous développons spécifiquement une méthodologie permettant d'étudier les déterminants de l'interdisciplinarité dans les publications scientifiques des chercheurs permanents de l'ULP. Nous utilisons à la fois les variables individuelles comme l'âge du chercheur, la promotion (professeur, maître de conférence, directeur de recherche, chargé de recherche) etc. et les variables collectives comme la performance scientifique du laboratoire auquel fait partie le scientifique, l'impact moyen des publications, le degré de multidisciplinarité, l'âge moyen des collègues, le financement privé et public du laboratoire, le volume de contrats publics et privés, etc. Cette étude est importante car elle aide à mieux comprendre les incitations et motivations qui influencent l'agenda de recherche interdisciplinaire des scientifiques.

Cette étude empirique met en évidence l'influence des mécanismes d'incitation au sein du laboratoire sur l'intensité de la recherche interdisciplinaire. Les

résultats suggèrent que la veille tension entre la structure de carrière académique et le travail interdisciplinaire orienté persiste. De plus, l'environnement de recherche multidisciplinaire stimule fortement la recherche interdisciplinaire et les chercheurs bénéficient des expériences des collègues de disciplines différentes pour mener des travaux diversifiés. Ceci tend à justifier la thèse de Gibbons et ses collègues (1994), selon laquelle la diversité disciplinaire et la densité de la communication sont les clefs de l'interdisciplinarité. Les résultats montrent également que la collaboration avec les industries, soit par co-publication, soit par co-invention ou par financement privé, est un facteur favorisant l'interdisciplinarité. Il tend à corroborer l'idée suggérée par Foray et Gibbons (1996) que l'agenda interdisciplinaire et la recherche orientée à l'application sont fortement connectés. Finalement, nous avons trouvé que le financement contractuel (privé ou public) est positivement corrélé avec l'interdisciplinarité alors que le financement récurrent de recherche ne l'est pas. Ceci confirme l'influence de la structure de financement du laboratoire sur l'intensité de la recherche interdisciplinaire, comme fortement soulignée par Ziman (1994) et Caswill (1997).

Les aspects interdisciplinaires des brevets déposés par l'université sont étudiés dans **le chapitre 3**. Nous déterminons d'une part l'indicateur de l'interdisciplinarité en utilisant les données biographiques des inventeurs de l'ULP et d'autre part, nous déterminons les facteurs liés aux caractéristiques du laboratoire sur cet indicateur d'interdisciplinarité. Les résultats suggèrent que les formes organisationnelles et institutionnelles des unités de recherche affectent la nature de la production de connaissances : un laboratoire multidisciplinaire en termes de diversité disciplinaire des chercheurs a tendance à avoir plus d'activités de co-invention interdisciplinaire. De plus, dans une économie fondée sur les connaissances, l'université doit faire face à un marché de plus en plus compétitif, à la fois de l'éducation et de la recherche. Dans ce contexte, la mobilité et flexibilité des chercheurs des institutions de recherche différentes sont favorables pour développer la recherche interdisciplinaire. Par ailleurs, la nature des collaborations interdisciplinaires varient selon les domaines de recherche. L'intensité de l'interdisciplinarité dépend donc des caractéristiques propres à chaque discipline.

2.2 Résultats théoriques

Dans le **chapitre 4**, une analyse des formes d'interactions interdisciplinaires est présentée. Compte tenu de la spécificité de son processus d'apprentissage caractérisé par des mécanismes d'incitation et du processus de communication, les résultats de cette étude montrent que chaque communauté scientifique connaît un développement des activités interdisciplinaires qui lui est propre. Dans cette étude, la recherche interdisciplinaire est analysée du point de vue de l'université, ou plus précisément des communautés scientifiques. Nous remarquons quelques points importants.

Premièrement, alors que l'interdisciplinarité se présente comme une conséquence incontestable de l'évolution de la science et de la technologie, et comme une réponse au besoin de résoudre des problèmes de plus en plus complexes de la société, elle est souvent analysée au niveau macroéconomique afin de comprendre la tendance globale de l'évolution de la science et de la technologie dans la société. Nous avons adopté une optique plus locale et microéconomique en analysant le système de recherche universitaire en tant qu'ensemble de communautés ayant des structures organisationnelle, institutionnelles, des compétences et des histoires différentes. Cette approche permet de considérer les spécificités du processus d'apprentissage comme une source de divergence des comportements des communautés scientifiques vis-à-vis de l'interdisciplinarité, au sein même d'une université. Nous avons montré que la disciplinarité, la pluridisciplinarité et l'interdisciplinarité co-existent et deviennent des sources complémentaires à la production de connaissance et au processus d'innovation. Nous mettons en évidence que chaque communauté scientifique connaît un développement des activités interdisciplinaires qui lui est spécifique, compte tenu de ses contraintes propres, de son potentiel scientifique et de ses capacités d'apprentissage. Cette approche est importante dans la mesure où elle permet de clarifier le problème du choix complexe des structures d'organisation et de gouvernance du système de recherche universitaire.

Deuxièmement, selon Gibbons et ses collègues (1994) la production de connaissances interdisciplinaires est favorisée dans les programmes de recherche qui ont des objectifs technologiques prédéterminés. Nous avons montré qu'il existe des contextes différents dans lesquels émergent les programmes de recherche interdisciplinaire. L'interdisciplinarité ne se développe pas nécessairement dans un environnement d'impulsions technologiques et un contexte d'ap-

plication n'implique pas forcément des interactions interdisciplinaires entre chercheurs.

Dans **le dernier chapitre** de la thèse, nous modélisons la relation entre le gouvernement (le principal) et l'université (l'agent) dans le développement des programmes interdisciplinaires en analysant les différents types de contrats de recherche interdisciplinaire entre ces deux agents. Dans ce modèle, nous supposons implicitement que le gouvernement désire promouvoir les programmes interdisciplinaires pour répondre à des besoins non seulement industriels mais également sociétaux et environnementaux tandis que l'université, à cause de la culture disciplinaire persistante et de la structure de promotion et de carrière académique, préfère se concentrer sur les activités de recherche concernant sa seule discipline. La question principale est quelle est le type de contrat entre le gouvernement et l'université qui motive le mieux l'université à satisfaire les objectifs d'interdisciplinarité du gouvernement.

Les résultats du modèle montrent que dans un contexte de complexité organisationnelle, le mode de délégation par réseau est le meilleur moyen d'inciter l'agent à faire la recherche interdisciplinaire. Dans ce cas, le gouvernement ne joue plus le rôle de guide mais de celui qui facilite les processus de coordination entre la science et les partenaires industriels. La nouvelle politique scientifique est donc caractérisée par la gestion de l'indépendance et la non-influence sur les comportements des scientifiques. La gestion de l'indépendance envisage la délégation du droit de décider et d'agir aux réseaux de recherche, qui sont construits avec l'aide du gouvernement mais qui fonctionnent indépendamment de l'influence du gouvernement. Ce mode de délégation est une manière de résoudre le paradoxe de la politique de financement de la recherche. L'indépendance scientifique des institutions et des chercheurs est respectée tandis que la recherche scientifique tend plus vers les besoins des industries et de la société.

La thèse s'articule comme suit. Le chapitre 1 propose, dans une première partie, une analyse du contexte d'émergence et d'évolution de la recherche interdisciplinaire. Dans une deuxième partie, un modèle économétrique simple est utilisé pour évaluer le degré de multidisciplinarité du laboratoire dont la mesure est basée sur la diversité des affiliations disciplinaires des scientifiques appartenant à ce laboratoire. Les chapitres 2 et 3 utilisent respectivement les données de publications scientifiques et les brevets déposés par l'université et

proposent deux nouvelles mesures d'interdisciplinarité basés sur ces indicateurs de performance de recherche. Ils étudient par la suite empiriquement les facteurs déterminants (individuels et collectifs) de ces mesures d'interdisciplinarité. Le chapitre 4 propose une analyse des formes d'interactions interdisciplinaires en se basant sur les mécanismes d'incitation et de communication. Le chapitre 5 propose une modélisation théorique, dans le sillage des modèles principal-agent, de la relation entre le gouvernement et l'université quant à la gestion des projets de recherche et du développement de l'interdisciplinarité. Les réflexions suscitées par les résultats empiriques et les perspectives de recherche sont présentées dans la conclusion générale.

Chapitre 1

Contexte et obstacles au développement de l'interdisciplinarité

Ce chapitre propose une analyse des conditions d'émergence de l'interdisciplinarité dans un système de recherche universitaire, compte tenu de l'évolution du rôle et de la place de l'université dans une société basée sur la connaissance. Les résultats d'analyse montrent que le développement de la recherche interdisciplinaire pose un problème majeur à l'université, à savoir la gestion de la coordination de diverses activités scientifiques au sein de l'université. La deuxième partie du chapitre focalise sur l'évaluation économétrique des facteurs qui sont susceptibles d'influencer le degré de multidisciplinarité d'un laboratoire universitaire. Dans cette perspective, les données de personnels scientifiques et de caractéristiques de laboratoire de l'université Louis Pasteur sont utilisées. Les résultats d'estimation corroborent l'hypothèse selon laquelle la multidisciplinarité d'un laboratoire dépend à la fois de plusieurs facteurs qui sont propres à chaque discipline.

¹Ce chapitre est la version remaniée de Nguyen Thi et Lahatte, (2003) "Measuring and assessing relative disciplinary openness in university research units", *Research Evaluation*, 12(1), 29-37

1.1 Introduction

La recherche scientifique est de plus en plus confrontée à des problèmes complexes qu'il est difficile de résoudre efficacement dans un cadre strictement disciplinaire. Les déterminants d'une solution potentielle impliquent la collaboration entre différentes professions et l'intégration de compétences disciplinaires variées (Gibbons, 1994). Bien qu'il revête une importance croissante dans le contexte actuel, ce nouveau mode de production de connaissances n'est pas une innovation récente mais la pratique de la science a eu tendance à favoriser la promotion et le développement de connaissances disciplinaires au détriment de la recherche interdisciplinaire (Pestre, 1997). Ziman (1994, 1997) a également observé que la science contemporaine, considérée comme "post-académique", est caractérisée, d'une part, par la collectivisation de chercheurs spécialisés afin de faire face à la complexité croissante des problèmes scientifiques et, d'autre part, par la facilité d'échanges et d'interactions à travers les technologies de l'information et de la communication. Dans ce contexte, comprendre le contexte d'évolution de l'interdisciplinarité et les conditions qui la favorisent est pertinent d'un point de vue politique et analytique.

Dans ce chapitre, nous étudions d'abord les conditions d'émergence de l'interdisciplinarité dans un système de recherche universitaire. Nous montrons que la recherche interdisciplinaire est une tendance évidente du développement scientifique et de l'évolution du rôle et de la place de l'université dans une société basée sur la connaissance. Nous montrons l'importance de la recherche dépassant les frontières disciplinaires, qui est considérée comme un moyen de recomposition épistémologique des sciences trop fragmentées et surtout comme un outil de résolution des problèmes complexes. D'autre part, nous mettons en évidence le fait que, malgré des contributions potentiellement riches de l'interdisciplinarité à la recherche universitaire et à la société, le développement de l'interdisciplinarité reste contraint par des limites d'ordre institutionnel, psychologique, matériel et financier. Il en résulte que le développement de la recherche interdisciplinaire pose un problème majeur à l'université.

Nous présentons également une étude empirique sur le dispositif organisationnel d'une université, à savoir la composition multidisciplinaire des chercheurs dans les laboratoires universitaires. Nous mesurons la multidisciplinarité du laboratoire à partir des données sur les affiliations institutionnelles des chercheurs et de déterminer, par un modèle économétrique, quels sont les

facteurs qui sont susceptibles de l'influencer. La multidisciplinarité, caractérisée par le regroupement de chercheurs de disciplines différentes au sein d'une unité de recherche, semble être une des conditions nécessaires à la collaboration interdisciplinaire, qui est mesurée comme le résultat du travail d'une équipe multidisciplinaire (Sanz-Menéndez *et alii* 2001). L'intégration de disciplines différentes dans un environnement de recherche est susceptible de réduire les effets négatifs des frontières institutionnelles et organisationnelles sur l'interdisciplinarité. Nous montrons également que la multidisciplinarité d'un laboratoire de recherche dépend à la fois de plusieurs facteurs qui sont propres à chaque discipline.

Ce chapitre s'articule comme suit : la section 1.2 présente le contexte d'évolution de la recherche scientifique ; la section 1.3 étudie les obstacles et barrières au développement de l'interdisciplinarité ; la section 1.4 présente une étude empirique sur le degré de multidisciplinarité d'un laboratoire universitaire ; la conclusion est donnée dans la section 1.5.

1.2 Contexte d'évolution

1.2.1 Système traditionnel de recherche universitaire

Dans cette section, les caractéristiques du système de recherche traditionnel sont analysées. Nous soulignons que la culture et le statut de disciplines sont fortement enracinés dans la mentalité des scientifiques ainsi que dans les structures institutionnelle et organisationnelle de l'université.

Système basé sur les champs distincts de connaissances

L'organisation de recherche dans les universités est traditionnellement dominée par la division du travail sous forme de disciplines. La recherche scientifique, l'enseignement sont généralement focalisés dans des sujets spécifiques de chaque discipline. Les étudiants et les futurs chercheurs sont formés à considérer les problèmes dans une perspective très limitée, à résoudre les problèmes en appliquant des méthodes théoriques ou empiriques qui sont propres aux champs de recherche traditionnels.

Par conséquent, chaque génération de scientifiques ainsi formés continue à élargir leur corps de connaissances et à améliorer les méthodes de recherche

de leurs propres disciplines. Ainsi, le progrès scientifique est poussé dans un chemin étroit de la théorie établie et les tests empiriques qui sont considérés comme "state of the art" dans chaque discipline. Dans cette perspective, le progrès signifie un changement et une modification graduels des théories et méthodes. Ils impliquent donc la tendance de diversification et de spécialisation des champs de recherche et d'intérêts scientifiques (Schmoch *et alii* 1994).

Cette émergence de disciplines ne se passe pas comme un processus isolé qui change fondamentalement la nature de la découverte scientifique. Elle est accompagnée par le développement d'une culture scientifique qui est étroitement liée à chaque discipline. A part les théories et méthodes propres, chaque discipline cultive les comportements sociaux uniques qui la rendent différente aux autres. Cette culture a influencé de manière décisive les comités de lecture, la fondation des organismes de recherche et l'émergence d'un esprit de "faculté" où sont formés les scientifiques futurs, leurs idées ainsi que leurs carrières. Cette évolution graduelle a ainsi conduit à la naissance de presque 4.000 sujets différents dans le travail scientifique dans à peu près 30 disciplines (Schmoch *et alii* 1994).

Les disciplines, en tant que systèmes de connaissances, sont apparues au XIXe siècle. Elles ont été marquées par l'évolution des sciences modernes et par l'intérêt particulier que porte la Révolution Industrielle à la division des tâches et à la spécialisation du travail. Suivant un mouvement de spécialisation des points de vue sur la réalité, les pratiques scientifiques, au même titre que l'ensemble des autres pratiques sociales, s'intègrent alors à un processus de division sociale du travail. Au terme de ce processus, ces pratiques sont objectivisées dans des structures institutionnelles - telles que les facultés, départements, instituts - et les corpus de connaissances spécialisées se cristallisent en disciplines.

Pour qu'une discipline existe, elle se construit toujours contre les disciplines instituées dans le but de faire valoir et reconnaître sa nature distincte et sa pertinence. Il s'agit d'un processus conflictuel articulé autour d'enjeux : la légitimité et l'autonomie de chaque discipline. C'est le cas, en particulier, de la science politique, discipline dont l'institutionnalisation est toute récente, et qui s'est réalisée dans une large mesure contre le droit public, la sociologie, l'histoire et même l'économie (Freymond *et alii* 2003) .

Une discipline s'affirme donc par l'exclusion d'autres perspectives discipli-

naires. Avec ce mode de fonctionnement, la connaissance, comme un produit, pouvait être fractionnée en ses parties constituantes. Chacune de ces parties devenait l'oeuvre des travailleurs spécialistes qui ignoraient les autres éléments de l'ensemble. Elles font voir le monde social comme un ensemble de secteurs hermétiquement cloisonnés et ajustés aux formes institutionnalisées de la division du travail scientifique.

Néanmoins, il y a des efforts vers une intégration des activités de recherche, visant à dépasser les frontières des disciplines différentes pré-établies. L'interdisciplinarité est devenue le sujet dominant dans plusieurs débats des scientifiques, universitaires et hommes politiques qui ont la conviction que les coopérations entre les disciplines se développent. Elle est considérée comme une manière de répondre non seulement aux intérêts scientifiques des disciplines, mais également comme un moyen de résoudre des problèmes urgents et complexes de la société actuelle.

1.2.2 Évolution du milieu de la recherche publique

Les changements de la société imposent à l'université des dimensions nouvelles concernant ses modes de fonctionnement et d'organisation. Plusieurs vecteurs de changement peuvent être identifiés (OCDE 1972). Le premier est le vecteur spatial. Dans une société où les problèmes les plus importants sont à l'échelle mondiale, l'université est considérée comme une institution essentiellement internationale plutôt que nationale. Ceci est justifié à la fois pour l'enseignement et la recherche. La complexification des problèmes de la société nécessite une "co-construction" des compétences et des expertises jusqu'ici dispersées et cloisonnées (Ancori 2003). Dans les années 80, plusieurs mesures destinées à favoriser le développement des liens entre institutions de l'université et industries ont été mises en place. L'université doit s'adapter à une nouvelle situation où les objectifs et intérêts de recherche et d'enseignement sont révisés et redéfinis.

Deuxièmement, le vecteur démographique implique que les formes et les contenus anciens de l'enseignement et de la recherche ne sont plus toujours appropriés. Deux phénomènes empiriques sont identifiés comme facteurs principaux de l'émergence d'une nouvelle forme de production du savoir. La massification de l'éducation constitue d'abord l'une des raisons de cette transformation radicale et irréversible. Lorsque les diplômés ayant des compétences

scientifiques requises sont nombreux, les universités ne pourront pas tous les embaucher ; certains d'entre eux iront donc dans les laboratoires publics, dans d'autres institutions de recherche publique ou privée, dans l'industrie ou encore dans des cabinets de consultant. La société contemporaine est ainsi caractérisée par une dispersion des compétences dans des sites différentes susceptibles de produire la connaissance autres que celles produites par l'université. D'autre part, l'ouverture des formations universitaires sur leur environnements économiques constitue un facteur qui pousse les enseignants-chercheurs à s'ouvrir sur leur environnement industriel, et qui incite les universités à développer des liens entre les activités de recherche scientifique et industrielle.

Le troisième élément est le vecteur technologique. Les changements résultent du développement rapide des technologies d'information et de communication rendant faciles les échanges de connaissances et d'information (Ziman 1994). Ainsi, les universités sont soumises à des pressions constantes, marquées par le souci d'adapter le système de formation et de recherche. L'avancement rapide des nouvelles technologies de l'information, de la communication et des transports constitue le moteur de l'émergence d'un nouveau mode de production de connaissances qui permet aux différentes sites de compétences d'interagir entre eux. Dans un contexte d'application où les problèmes de recherche sont déterminés par des applications particulières, les connaissances sont produites non pas par une discipline isolée et indépendante, mais par des collaborations et des négociations continues entre les partenaires scientifiques de différentes disciplines et les partenaires industriels. En rendant facile l'accès aux connaissances et à l'information, les nouvelles technologies de l'information et de la communication renforcent les collaborations entre les partenaires universitaires et la société.

L'un des éléments les plus importants est le vecteur savoir. Les changements de la société affectent la démarche de l'esprit et les formes du discours intellectuel. Ils rendent inappropriées l'organisation de l'université en structures verticales, conformes à l'idée de "disciplines", de "facultés" et de "départements" indépendants, autonomes et parfois isolés. Même si certaines universités traditionnelles ont une vie intellectuelle intense, leur organisation les empêche de modifier leur stratégie à la lumière de considérations nouvelles et de changer leur trajectoire pré-établie de l'enseignement et de la recherche.

Ces dimensions nouvelles sont autant de défis pour l'université, défis qu'elle

ne saurait relever qu'en se transformant profondément. Dans ce contexte, l'interdisciplinarité semble être l'un des moteurs décisifs de cette transformation.

Besoin de ré-intégration des disciplines

À chaque fois que les scientifiques se heurtent à des barrières insurmontables par une seule discipline, ils révolutionnent leurs manières de penser en allant au-delà des frontières de leurs disciplines afin de mettre leurs expertises, méthodes et expériences en commun. Le besoin de coopération est ressenti dans presque toutes les branches de l'activité scientifique. Il est important de souligner que la recherche monodisciplinaire joue un rôle primordial dans la réussite de tels dépassements de frontière disciplinaire. Autrement dit, la recherche interdisciplinaire ou multidisciplinaire de qualité repose sur l'excellence disciplinaire. De plus, les compétences disciplinaires trouvent toujours leurs places dans les situations où la solution des problèmes requiert l'expertise d'une seule discipline. Toutefois, lorsqu'un problème de recherche exige le concours de plusieurs savoirs, l'interdisciplinarité est souvent considérée comme approche méthodologique appropriée.

Dans leur étude sur la coopération des équipes de recherche dans les domaines technologiques intensivement basés sur la science, Schmoch et ses collègues (1994) ont avancé les cinq causes principales de la recherche interdisciplinaire suivantes :

- La recherche interdisciplinaire peut être considéré comme une perspective pour un scientifique disciplinaire qui lutte avec un problème spécifique dans son domaine de recherche. Il recherche une certaine aide venant d'autres disciplines qui traitent le problème relatif à son problème. La coopération, dans ce cas, a pour but d'améliorer le processus de production de connaissances dans sa propre discipline. Jantsch (1972) souligne le fait que l'amélioration de l'efficacité de la résolution du problème reste une cause cruciale de la recherche interdisciplinaire.
- Dans une société basée sur la connaissance, où émerge des groupes de problèmes complexes à résoudre, l'interdisciplinarité est un moyen d'envisager ces problèmes dans une perspective plus globale et mieux intégrée. Parmi ces problèmes, l'exemple de la pollution environnementale est souvent cité comme un problème épineux à résoudre pour une seule discipline. Par conséquent, les scientifiques de disciplines différentes sont sollicités à travailler ensemble

afin de trouver une solution à ces problèmes. En général, en raison de la reconnaissance publique des problèmes largement répandus, les gouvernements nationaux doivent prendre des initiatives pour la recherche interdisciplinaire sur ces sujets spécifiques.

- Un troisième champ de coopération entre disciplines différentes émerge avec le rôle croissant de la technologie dans la société moderne où la technologie est généralement vue comme un instrument indispensable à la résolution du problème. Une idée maîtresse domine : l'interdisciplinarité permet de répondre à des questions qui défient les méthodes et les démarches uniques. Deux situations typiques sont mentionnées : un nouveau produit ou procédé qui est généré par l'intégration des résultats issus de la recherche des disciplines différentes, et une solution technique élémentaire basée sur une seule discipline et qui est appliquée dans les disciplines externes de la discipline d'origine.

- Le quatrième aspect de la recherche interdisciplinaire est lié aux activités de coopération internes à chaque discipline, appelée "small interdisciplinarity". Ce type de coopération surgit en conséquence d'une division excessive de connaissances au sein même de chaque discipline. Dans ce cas, les scientifiques travaillent sur des sujets interdisciplinaires appartenant à leur propre discipline. Les coopérations entre les champs disciplinaires qui ont une affinité relativement élevée, comme entre la physique et l'électronique, sont considérées comme "small interdisciplinarity". Par contre, la coopération entre disciplines ayant des fondements scientifiques très différents, par exemple entre la physique et la médecine, est appelée "big interdisciplinarity" (Schmoch *et alii* 1994).

- La cinquième cause de la recherche interdisciplinaire est liée aux structures typiques du développement scientifique. En effet, les disciplines sont basées sur des paradigmes généralement admis et sur une production de connaissances dont la trajectoire est clairement tracée. Dans la phase finale du paradigme scientifique, les membres de la communauté scientifique respective essaient de quitter leur champs et de former un nouveau paradigme. Ces révolutions scientifiques peuvent être réalisées seulement par une absorption et assimilation des résultats et concepts venant d'autres disciplines.

1.2.3 Émergence de la recherche interdisciplinaire

L'origine du croisement des frontières disciplinaires dans la recherche paraît assez partagé dans la littérature. Certains auteurs (Klein 1990 et Berger 1972) soulignent que les préoccupations interdisciplinaires remontent à des temps immémoriaux, et plus précisément à la création, au Moyen-Age, de l'université comme synonyme de l'universalité et de l'unité de la connaissance.

Les autres supposent, par contre, qu'il est entièrement un phénomène du XXème siècle, conséquence de la réforme éducative, de la recherche appliquée et du développement des TIC. Le début de sa carrière moderne commence plus récemment, liée étroitement avec le développement des technologies et l'utilisation de la science dans les technologies militaires.

Interdisciplinarité comme un phénomène nouveau

Selon ces derniers, la notion de l'interdisciplinarité ainsi que le débat sur son évolution, son impact sur la recherche et l'enseignement datent précisément de la deuxième moitié du 20e siècle. Au cours des années 1960 et 1970, l'interdisciplinarité s'est imposée comme thème de réflexion quasi incontournable du renouveau de l'université et de l'image public de la science. Le débat sur l'interdisciplinarité est concomitant du mouvement de contestation sociale en cours qui critiquait spécialement l'hyperspécialisation, l'expertise à l'approche monodisciplinaire, la division du savoir en discipline étanches et leur organisation hiérarchique de la formation universitaire. L'enjeu de cette notion est tellement grand que l'UNESCO et l'OCDE ont commencé à organiser des activités de recherche sur ce thème (Mathurin 2002).

Selon cette thèse, le monde scientifique est de plus en plus confronté à des problèmes complexes qu'il est difficile de résoudre efficacement dans un cadre strictement disciplinaire. Les déterminants d'une solution potentielle impliquent la collaboration entre différentes professions et l'intégration de compétences disciplinaires variées (Gibbons *et alii* 1994).

Ziman (1994) a également observé que la science contemporaine, considérée comme "post-académique", est caractérisée, d'une part, par la collectivisation de chercheurs spécialisés afin de faire face à la complexité croissante des problèmes scientifiques et, d'autre part, par la facilité d'échanges et d'interactions à travers les technologies de l'information et de la communication. Il y a là non seulement une aspiration à dépasser la fragmentation des savoirs disci-

plinaires mais aussi une volonté à reconstruire les parties de connaissances épistémologiquement séparées dans la science.

Afin de comprendre les enjeux de l'interdisciplinarité et de l'application et de leur rôle dans l'évolution des rapports qu'entretiennent l'université, l'Etat et la société, Gibbons et ses collègues(1994) font l'état d'un nouveau mode de production de connaissances avec lequel l'activité de production des connaissances s'avère fortement contextualisée. Elle devient sans cesse davantage une activité transdisciplinaire et se produit par une hétérogénéité et une diversité des dispositifs organisationnels engagés dans cette activité.

Selon cette thèse, le changement de nature de la production de connaissances est la conséquence du développement technologique et social, de la massification de l'éducation et du changement des environnements institutionnels et cognitifs. Par le mot "contextualisées", elle postule que les conditions d'émergence de l'interdisciplinarité et de l'application sont imposées à l'institution universitaire par son environnement.

A la différence du processus traditionnel de production de connaissances que les auteurs ont appelé Mode 1, où les connaissances sont générées dans des contextes cognitifs, stables et disciplinaires, le Mode 2 décrit une production de connaissances qui se fait plutôt dans un contexte d'application, de transition permanente et de transdisciplinarité avec des configurations d'organisations plus hétérogènes et plus flexibles. Tandis que la force qui incite à la production de connaissance dans le Mode 1 est la créativité individuelle qui est conforme à des normes sociales et cognitives, le nouveau mode de production de connaissances se présente sous forme de collectivité, avec la participation de différents individus de compétences diverses issues de disciplines différentes.

Trois attributs sont associés à ce nouveau mode de production de connaissances. La première caractéristique de cette forme est le fait que la recherche contemporaine est de plus en plus effectuée dans le contexte de son application. Ce qui signifie que tout le processus de production de connaissances, de la phase de conception à la réalisation du projet, se déroule en concertation avec un grand nombre d'auteurs et avec la prise de conscience réflexive des conditions sociales de la production scientifique.

Le deuxième attribut tient au fait que de multiples acteurs apportent une hétérogénéité de talents et d'expertises essentielle au processus de résolution des problèmes. Le monde de recherche est également marqué par l'émergence des

structures institutionnelles lâches, des hiérarchies non structurées et des procédures de décision ouvertes, ce qui est complètement contraire à l'organisation disciplinée et hiérarchique dans le Mode 1 de production de savoir.

Troisièmement, le nouveau mode est caractérisé par une tendance croissante à la transdisciplinarité dans la recherche. A la différence de l'interdisciplinarité et de la multidisciplinarité, la recherche transdisciplinaire, selon le point de vue de Gibbons et ses collègues (1994) ne consiste pas seulement à un dépassement des frontières cognitives, mais elle implique aussi une reconfiguration radicale des structures institutionnelles des centres de recherche.

Cette vision des changements des structures d'organisation de la science et de production de connaissances a fait l'objet de nombreuses critiques dans la littérature. En particulier Ziman (1994, 2000) dans son livre "Real Science" postule également que le changement des structures d'organisation de la science et les modes de production de connaissances sont profondément modifiés. La science contemporaine est marquée par la spécialisation de la recherche, de l'interdisciplinarité, de l'avancement des technologies d'information et particulièrement par le processus de collectivisation de la recherche dû à la complexité du problème et aux coûts croissants des équipements scientifiques.

Klein (1990) identifie deux racines distinctes d'interdisciplinarité : les réformes de l'enseignement et l'avancement scientifique. Au début des années 20, les établissements d'enseignement supérieur ont cherché à parer la spécialisation qu'ils avaient créée. Au début des années 30, les chercheurs scientifiques ont commencé à entrelacer et hybrider les disciplines scientifiques afin d'augmenter leurs capacités de poursuivre des programmes de recherche plus complexes. Des mouvements interdisciplinaires dans les sciences ont été nettement intensifiés par le développement des "big sciences" (Price 1963) orientées vers les missions, qui était associé à l'explosion du financement de la science pendant et après la Deuxième Guerre Mondiale. La recherche et le développement du radar, la bombe atomique, et d'autres projets militaires n'ont pas pu être entrepris par aucune discipline scientifique seule, mais ont exigé l'interaction coordonnée de telles disciplines diverses telles que la construction électrique et mécanique, la physique et la chimie.

Pendant la dernière moitié du 20ème siècle, l'interdisciplinarité scientifique a été intensifiée par les problèmes croissants du monde réel tels que la pauvreté, la guerre, la faim, le surpeuplement, la consommation excessive, et la

dégradation environnementale. L'identification de ces problèmes humains et environnementaux, qu'aucune approche disciplinaire spécialisée peut faire, a mené les sciences physiques à franchir les frontières avec les sciences sociales et vice versa. D'autres facteurs relatifs favorisant l'interdisciplinarité scientifique incluent le développement de l'ordinateur comme un sujet de la science interdisciplinaire spécialisée des machines électroniques de logique et comme outils pour toutes les sciences.

Morin (1990) montre que "l'histoire des sciences n'est pas seulement celle de la constitution et de la prolifération des disciplines, mais en même temps celle de ruptures des frontières disciplinaires, d'empiétements d'un problème d'une discipline sur une autre, de circulation de concepts, de formation de disciplines hybrides qui vont finir par s'autonomiser, enfin c'est aussi l'histoire de formation de complexes où différentes disciplines vont s'agréger et s'agglutiner". La complexification des champs de recherche disciplinaire fait appel à des disciplines très diverses en même temps qu'à la poly-compétence du chercheur. Ainsi, à travers les activités coopératives, innombrables sont les "migrations" d'idées, de conceptions, les transformations théoriques qui se transfèrent entre scientifiques de différentes disciplines et entre scientifiques et industries. Le développement de plus en plus important des accords de coopération explique donc la tendance croissante à l'interdisciplinarité.

Interdisciplinarité comme un vieux phénomène de la science

Néanmoins, Pestre (1997) souligne que, bien qu'il revête une importance croissante dans le contexte actuel, ce nouveau mode de production de connaissances n'est pas une nouveauté mais que la pratique de la science a eu tendance à favoriser la promotion et le développement de connaissances disciplinaires au détriment de la recherche interdisciplinaire.

En effet, afin de comprendre l'histoire de l'évolution de la recherche interdisciplinaire, cet historien des sciences a proposé un survol historique des régimes de production de connaissances depuis la seconde moitié du XIXe siècle. Selon lui, elle est en général divisée en trois périodes marquées par des phénomènes industriels et sociaux différents, et par conséquent un mode de production de savoirs qui lui est spécifique.

Les années 1860-1900 constitue la première période. Elle est caractérisée d'abord par la généralisation des laboratoires de recherche et d'enseignement

dans les universités, en physique, en physiologie, en psychologie. Elle est également marquée par l'apparition des laboratoires de recherche 'fondamentale' des secteurs industriels nouveaux (télégraphie sous-marine, électro-technologie, chimie organique, radio). Le troisième élément qui caractérise cette période est la création des instituts de standardisation et d'essais par les Etats, les industries, les militaires ainsi que les universitaires. D'ailleurs, le contexte politico-économique, en particulier les politiques de propriété industrielle, a rendu ces créations institutionnelles plus efficaces.

De 1900 à 1940, les secteurs industriels développent de plus en plus des laboratoires de recherche. Dans ce milieu où existent les problèmes concrets et complexes à résoudre, les directeurs de ces laboratoires ont tendance à convoquer et embaucher des personnels aux qualifications et aux métiers complémentaires. L'interdisciplinarité est considéré alors comme un outil de gestion de l'entreprise se trouvant dans un milieu de forte compétitivité. Elle n'apparaît donc pas dans les milieux universitaires mais dans les laboratoires de recherche industriels.

Afin d'illustrer cette évolution, Pestre (2003a) cite l'exemple du programme de recherche de la Bell sur les matériaux dans les années 30 : ayant pour but de trouver de nouveaux types d'objets (le transistor en sera le produit le plus connu), les chercheurs de toutes disciplines se sont réunis pour travailler ce projet : les chimistes, les physiciens spécialistes des métaux, du magnétisme ou de l'électronique, des spécialistes de mécanique quantique, des cristallographes et encore des ingénieurs de toutes spécialités. Ils sont libres de mener leur recherche tout en participant à des échanges formellement organisés. Les coordinateurs (les spécialistes des brevets) circulent entre les groupes pour identifier les rencontres à mettre en oeuvre.

A la différence de ce que réclament les auteurs du livre *The New Production of Knowledge*, selon lesquels il y a une tendance à la dispersion des sites de production de connaissances, Ziman postule que la force de la compétition qui guide la science basée sur l'excellence, la concentration des ressources font que les sites de production de connaissances sont plus concentrés dans des unités d'excellence de la recherche. Ce point de vue rejoint ce que Geuna a appelé une "polarisation" des systèmes européens des universités (Geuna, 1999). Ces changements évoluent dans le temps et le nouveau mode de production de connaissances fonctionne parallèlement et devient un complément du mode

traditionnel disciplinaire.

Différentes finalités de la recherche interdisciplinaire

L'interdisciplinarité est une notion multi-dimensionnelle. Si l'analyse est basée sur la finalité de la collaboration interdisciplinaire, il est possible d'identifier deux types d'interdisciplinarité : l'interdisciplinarité épistémologique et l'interdisciplinarité stratégique ou praxéologique (Mathurin 2002). Selon les interprétations épistémologiques de l'origine de l'interdisciplinarité, l'inter-relation des disciplines ayant pour but de restructurer la science constitue la préoccupation essentielle. Le champs opératoire de l'interdisciplinarité est philosophique, dominé par l'histoire des sciences et l'épistémologie dans laquelle la science est prise comme objet d'étude en soi, et principalement sur le plan de ses mécanismes et de son évolution (Boisot 1970). L'argumentation met l'accent sur les besoins de développement de la connaissance scientifique.

Par contre, la vision praxéologique de l'origine de l'interdisciplinarité se base sur l'idée qu'il y a non seulement les interactions entre les disciplines, mais aussi entre les disciplines et la société (industries, individus, institutions) (Jantsch 1970). A la différence de l'orientation épistémologique, ce type d'interdisciplinarité est centré strictement sur les problèmes environnementaux et sociétaux. Selon ce point de vue stratégique, les activités interdisciplinaires sont orientées vers des objectifs spécifiques de la société, tout en restant dépendantes des activités mono-disciplinaires.

1.3 Obstacles et barrières à l'interdisciplinarité

La littérature a identifié trois principaux problèmes du développement de l'interdisciplinarité : problèmes d'ordre institutionnel, problèmes d'ordre cognitif, culturel, psychologique et problèmes d'ordre matériel et administratif (Laudel et Gläser 1998 ; Schmoch *et alii* 1994).

1.3.1 Problèmes institutionnels

Le modèle dont s'inspirent encore aujourd'hui les universités dans beaucoup de pays, surtout en Europe, a été élaboré avant que les grandes transformations de la démarche scientifique, des structures démographiques et de la société elle-même ne se produisent. Il reste essentiellement fondé sur le cloisonnement des

disciplines, sur un mode de recrutement basé sur des normes de performance disciplinaire et sur les besoins d'une société aux structures relativement stables. Les objectifs auxquels il répondait n'ont été révisés que très lentement ou presque pas. Il reste essentiellement caractérisé par les faits suivants (OCDE 1972).

Découpage et regroupement des disciplines

Il est généralement constaté que ces obstacles existent et peuvent empêcher la promotion et le développement de la recherche interdisciplinaire (Laudel et Gläser 1999, Ziman 1994). Ziman (1997) observe que les unités de recherche dans les universités sont organisées en départements où la recherche est dominée par la spécialisation qui est une source de fragmentation du domaine épistémologique et qui favorise le désintérêt des chercheurs pour la collaboration interdisciplinaire. "The Grand Old Disciplines - physics, chemistry, economics and so on - are well entrenched in academia. They are also organised professionally, with their national societies and institutes, international unions, learned journals, technical qualifications and educational curricula". Le découpage et le regroupement des disciplines, tel le système des facultés, ne correspond plus à l'état actuel de science et par là même en contrarie le développement.

Les frontières culturelles, les différences dans les langages scientifiques et les limites institutionnelles encouragent l'absence d'intégration entre les domaines scientifiques et les objectifs et renforcent les conflits d'intérêt entre membres d'un groupe de recherche. Ces obstacles sont d'autant plus grands qu'il n'y a pas d'intégration entre disciplines scientifiques différentes.

Mode de recrutement

Les principaux critères de promotion des chercheurs sont basés sur les normes d'originalité et le nombre de publications dans les journaux reconnus, sur le nombre de co-auteurs et de citations de ces papiers. Elles encouragent le travail disciplinaire sur des sujets et avec des méthodes étroitement disciplinaires et découragent l'acquisition de connaissances provenant d'autres départements.

Les attitudes des universités envers l'interdisciplinarité sont historiquement entrelacées avec la nature de la structure académique de carrière. Ces dernières semblent apporter peu d'incitations, voire des découragements, aux chercheurs

déjà stables ou aux jeunes chercheurs qui ne cherchent pas à poursuivre une carrière académique interdisciplinaire. De fait, quelques documents et interviews menés au sujet de la pratique de l'interdisciplinarité auprès des universités rapportent l'évidence de manque de tous les systèmes de récompense ou de systèmes de promotion conçus pour encourager le travail interdisciplinaire (Schild et Sörlin 2002). Dans ce sens, on peut observer une incohérence entre les déclarations de politique des universités qui indiquent leurs dispositions envers l'interdisciplinarité, et le manque de systèmes de pratique et d'incitations en place dans les facultés, les départements et au niveau des groupes de recherche.

L'interdisciplinarité dans le système universitaire est quelque chose à laquelle les académiques ne peuvent s'opposer, mais qu'ils peuvent éviter de faire. Des chemins de carrière et les postes réguliers (professeur, maître de conférence, doctorant, post-doc, etc.) dans les départements et les facultés tendent à être inextricablement liés à la structure disciplinaire. Il y a très peu d'exemples de positions financées par les fonds de la faculté qui n'ont pas été basés dans un département disciplinaire.

Besoins de la société

Le modèle universitaire reste encore fondé sur les besoins d'une société aux structures relativement stables, offrant un éventail de professions bien définies et dont chacune exige des connaissances clairement répertoriées alors que dans un monde en rapide évolution, où les sciences et les techniques ne cessent de se transformer, et où les rapports entre les individus et les groupes ne cessent de changer, les objectifs et méthodes de l'université doivent être radicalement révisés.

Conséquences de ces problèmes institutionnels

Ce modèle a donné naissance à des institutions d'enseignement supérieur et de recherche très diverses dans leur structure et dans leur fonctionnement. Il est possible de les grouper approximativement sous deux rubriques en fonction de leurs objectifs (OCDE 1972) :

1. Ce sont les établissements centrés sur la formation générale : ce fut longtemps le cas des facultés des lettres et aussi pour une large part des facultés de droit et des sciences. La plupart de ces établissements sont

focalisés sur l'enseignement des disciplines spécifiques. Mais leur structure, déjà très cloisonnée en départements, chaires ou instituts, qui en général s'ignorent les uns les autres, a tendance à se morceler encore davantage sous l'effet d'une spécialisation de plus en plus poussée. Elle aboutit à une véritable désintégration de l'institution, où la monodisciplinarité elle-même n'a plus de sens et ne répond plus ni aux exigences de la science, ni à celle de la société.

2. Ce sont les établissements centrés sur la formation professionnelle : il s'agit surtout des facultés de médecine et de pharmacie, des grandes écoles d'ingénieurs et, dans une certaine mesure, des facultés de droit. L'organisation en est généralement assez rigide, ne s'adapte pas rapidement à l'évolution des connaissances et des besoins.

Le cloisonnement et l'inadaption deviennent les problèmes les plus importants dont souffrent la plupart des établissements d'enseignement et de recherche. Ceci explique que, malgré les lois d'orientation favorisant le pluridisciplinarité dans les Universités, on voit paradoxalement se renforcer un peu partout les cloisonnements et se maintenir les disciplines anciennes.

1.3.2 Problèmes d'ordre cognitif, culturel et psychologique

Plusieurs auteurs (OCDE 1972) soulignent qu'il est encore plus difficile de transformer les structures mentales que les structures institutionnelles. L'introduction de l'interdisciplinarité en particulier se heurte à une incompréhension et à des résistances qu'on rencontre souvent chez les professeurs, les étudiants et dans la société d'une façon générale.

Les étudiants, les professeurs, et les chercheurs sont souvent formés dans le cadre de disciplines généralement rigides. Etudiant ou pratiquant l'enseignement dans ce même cadre, poursuivant pour la plupart des recherches de plus en plus étroitement spécialisées, l'interdisciplinarité s'impose difficilement avec habitude et répétitivité au sein de l'université.

L'interdisciplinarité est d'abord un état d'esprit, elle exige de chacun une attitude tout à la fois d'humilité, d'ouverture, de curiosité, une volonté de dialogue et surtout une aptitude à l'assimilation et à la synthèse. Elle est ensuite une discipline au sens éthique du terme, elle exige au départ l'acceptation du

travail d'équipe entre représentants de sciences diverses et de la nécessité de chercher ensemble un langage commun. Ainsi se trouve posé le problème majeur de la formation et de l'enseignement supérieur des chercheurs qui sont capables d'un tel comportement.

1.3.3 Problèmes d'ordre matériel et administratif

Les difficultés d'ordre plus matériel sont liées à l'organisation de l'espace et du temps de recherche, qui sont d'ailleurs plus ou moins étroitement liés. Dans les universités, l'organisation de l'espace résulte souvent de l'improvisation, du hasard des circonstances ou de contraintes extérieures, rarement d'un plan concerté. Ainsi nous pouvons observer fréquemment, notamment en France, des facultés dispersées aux quatre coins d'une ville, rendant difficile les tentatives de pluridisciplinarité alors que nous savons que les relations informelles et la fréquence de communication constituent des conditions primordiales de l'émergence de l'interdisciplinarité. Des problèmes analogues se retrouvent à une échelle plus petite. Que ce soit dans le cadre de l'enseignement ou dans celui de la recherche, la pratique de l'interdisciplinarité exige une nouvelle articulation de l'espace, qui favorise les rencontres et le travail en petits groupes, ainsi que les contacts individuels entre scientifiques. Cette nouvelle économie de l'espace ne peut être séparée d'une nouvelle économie du temps. La longueur et la difficulté des déplacements sont un obstacle important au développement de relations interdisciplinaires.

Un autre problème important qui peut entraver la recherche interdisciplinaire est le risque d'un projet de recherche interdisciplinaire (Schmoch *et alii* 1994). La collaboration interdisciplinaire se heurte à des problèmes d'hétérogénéité des partenaires, à la différence de compétences, à des mécanismes divergents d'incitation. Roberts (1997) a ainsi décrit le "paradoxe de l'interdisciplinarité" comme une situation dans laquelle, en principe, les industries pourraient gérer la recherche interdisciplinaire, mais le manque de compétences disciplinaires et d'expertise créent des obstacles pour la réaliser. Les bonnes Universités de recherche disposent d'un large éventail d'installations interdisciplinaires et des connaissances requises, mais les barrières institutionnelles et les normes sociales ont tendance à amener les chercheurs à poursuivre des objectifs disciplinaires.²

²voir Sperber (2003) pour plus d'exemples sur les inconvénients et les dilemmes de l'in-

En restant dans ce cadre d'analyse, nous présentons dans la section suivante une étude sur la structure multidisciplinaire des laboratoires d'une grande Université française.

1.4 Multidisciplinarité d'un laboratoire universitaire

Dans cette section, nous proposons un indicateur pour mesurer le degré de multidisciplinarité d'un laboratoire de recherche universitaire et un modèle économétrique simple pour analyser ses déterminants.

1.4.1 Motivation

Le point de départ de cette étude est l'idée suivante : une composition multidisciplinaire d'un laboratoire de recherche, qui définit la multidisciplinarité, peut être considérée comme l'un des indicateurs de l'interdisciplinarité de la recherche. Comme une composition multidisciplinaire du personnel scientifique peut être considérée comme une pré-condition du travail interdisciplinaire, l'origine multidisciplinaire des chercheurs peut être considérée comme un indicateur d'interdisciplinarité. Par conséquent, si la recherche interdisciplinaire est entravée par les frontières institutionnelles et organisationnelles (Ziman 1997), l'intégration de disciplines différentes dans une équipe multidisciplinaire au sein d'une unité de recherche devrait être un moyen de réduire l'impact négatif de ces frontières sur l'intensité de la collaboration interdisciplinaire.

Il est également important de noter que différentes disciplines fonctionnant côte à côte ne produisent pas toujours des collaborations interdisciplinaires car les activités interdisciplinaires sont caractérisées non seulement par un regroupement de gens de disciplines différentes, mais aussi par une plate-forme cognitive commune, la cohésion des processus d'identification des partenaires, la définition du problème, la gestion du projet et des résultats, et également par une tolérance mutuelle, une propension à aider, et à se laisser aider (Morreale et Howery 2002).

Nous notons néanmoins que dans les unités de recherche multidisciplinaires

terdisciplinarité.

où les interactions humaines sont intentionnelles, la proximité géographique et physique facilite la communication intensive et permanente entre les chercheurs. La faible divergence des concepts théoriques, la similitude du langage scientifique et culturel entre les différentes disciplines peuvent faciliter les négociations et rapports inter-individuels minimisant les barrières organisationnelles et institutionnelles existantes. Comme les chercheurs appartiennent à la même unité de recherche, les normes et les règles sociales auront des effets moins négatifs sur les activités de collaboration. Dans un tel environnement, les initiatives interdisciplinaires émergent et mènent à des projets communs qui paraîtront pertinents à tous les collaborateurs.

L'objectif de ce travail est donc, d'une part, de mesurer le degré de multidisciplinarité du laboratoire à partir du nombre de disciplines et de sous-disciplines représentées par les chercheurs travaillant dans un même laboratoire. D'autre part, en utilisant un modèle de régression simple, nous déterminons les facteurs (taille, département scientifique, origine institutionnelle des chercheurs et statut légal du laboratoire) qui influencent ces degrés de multidisciplinarité. L'objectif est de répondre aux questions suivantes : 1) comment mesurer le degré de multidisciplinarité d'un laboratoire et 2) quels sont les facteurs susceptibles d'influencer ce degré ? L'étude utilise les données sur 74 laboratoires de l'ULP et les affiliations institutionnelles de leurs 1349 chercheurs. L'estimation de ces indicateurs s'appuie sur les caractéristiques internes des laboratoires telles que la taille, le statut légal, l'origine institutionnelle des chercheurs et les départements scientifiques.

1.4.2 Données et variables

Données

L'étude se limite à la multidisciplinarité des laboratoires de l'Université Louis Pasteur (ULP) (une présentation brève de l'ULP est donnée dans l'Annexe A). L'ensemble des données utilisées dans cette thèse a été construit par une équipe du Bureau d'Economie Théorique et Appliquée (BETA) de Strasbourg (France) à partir des rapports quadriennaux des laboratoires de l'ULP. Il contient les renseignements de l'année 1996 sur les caractéristiques internes du laboratoire telles que la taille, le statut légal et les départements scientifiques auxquels se rattache le laboratoire. Pour notre étude, cinq départements scien-

TAB. 1.1 – Répartition des scientifiques et des laboratoires par département

Département	Nombre de chercheurs	Nombre de laboratoires
Mathématiques	89	1
Médecine, Biologie et Santé	598	48
Sciences de la Terre et de l'Univers	117	4
Physique et Sciences de l'Ingénieur	450	17
Chimie	95	4
Total	1349	74

tifiques sont retenus : Mathématiques, Sciences de la Terre et de l'Univers, Médecine, Biologie et Santé, Physique et Sciences de l'Ingénieur, Chimie.³ Il existe différentes catégories de statut institutionnel : Unité mixte ou associée (définie par l'hybridation entre l'Université et d'autres institutions de recherche telles que le CNRS, l'INSERM, etc.) ; Unité propre (caractérisée par le rattachement institutionnel unique de ces unités : Laboratoire de l'Université, laboratoire du CNRS ou laboratoire de l'INSERM, etc.) ; Laboratoire du ministère (la jeune équipe de recherche ou les équipes de recherche associées avec reconnaissance du ministère) et autres catégories de statut. De plus, nous avons des renseignements concernant les affiliations institutionnelles (chercheurs universitaires, chercheurs du CNRS, de l'INSERM ou venant d'industries ou d'associations) de 1349 scientifiques qui travaillent dans 74 laboratoires.

La répartition des laboratoires et des scientifiques par département est décrite dans le Tableau 1.1. Nous observons une distribution inégale des scientifiques entre les laboratoires et une différence dans la taille moyenne selon le département.

Détermination de disciplines et sous-disciplines des chercheurs

Dans notre ensemble de données construit à partir des rapports quadriennaux des laboratoires, chaque scientifique relève d'affiliations institutionnelles réparties en trois catégories : la première, appelée 'section CNU' concerne les

³Dans cette étude, la notion de départements scientifiques du laboratoire, définie par l'Université elle-même, est différente de celle de disciplines définies par la nomenclature de l'Observatoire des Sciences et des Techniques (OST) (voir Annexe C)

chercheurs de l'Université. Ce sont les Professeurs ou Maîtres de Conférence qui assument des fonctions d'enseignement et de recherche. La deuxième, appelée 'section CNRS' couvre des chercheurs du CNRS. La recherche scientifique est leur principale mission. La 'commission INSERM' est la dernière catégorie caractérisant des chercheurs venant de l'INSERM. Afin de mesurer le degré de multidisciplinarité des laboratoires, nous avons besoin d'assigner, dans une première étape, les chercheurs à des disciplines et des sous-disciplines scientifiques et dans une deuxième étape, de déterminer le nombre de disciplines et sous-disciplines présentes au sein du laboratoire.

Pour affecter des chercheurs à des disciplines et sous-disciplines, la nomenclature de l'OST (Annexe C) est utilisée. Il est important de noter que la nomenclature de l'OST est organisée en trois niveaux, du plus agrégé ('grande discipline' et 'discipline') au moins agrégé ('section CNU', 'section CNRS' et 'commission INSERM').⁴ Nous considérons uniquement le niveau agrégé 'discipline' pour déterminer la discipline des chercheurs. Les niveaux les moins agrégés ('section CNU', 'section CNRS' et 'commission INSERM') sont utilisés pour déterminer les sous-disciplines des chercheurs.⁵ La détermination de disciplines des chercheurs de l'ULP est présentée dans l'Annexe B.

Définition de degré de multidisciplinarité au niveau disciplinaire (*Mud*) et degré de multidisciplinarité au niveau sous-disciplinaire (*Mus*)

Nous définissons les *Mud* et *Mus* à partir du nombre de disciplines et sous-disciplines présentes dans chaque laboratoire. Ces indicateurs sont des degrés de multidisciplinarité puisque nous comparons le nombre de disciplines (sous-disciplines) de chaque laboratoire au nombre moyen de disciplines (sous-disciplines) de l'ULP. Le degré de multidisciplinarité au niveau disciplinaire (*Mud*) est défini comme suit :

$$Mud = NbD_i / \bar{D}_{ULP} \quad (1.1)$$

⁴Il est important de noter que les tailles des disciplines (le nombre de sous-disciplines incluses dans chaque discipline) de la nomenclature de l'OST sont très hétérogènes. Par conséquent, la taille des disciplines pourrait avoir une influence considérable sur le degré de multidisciplinarité : plus la taille de la discipline est grande, plus un degré élevé de multidisciplinarité pourrait être attendu.

⁵ Nous ne considérons pas la 'grande discipline' définie dans la nomenclature de l'OST.

Où NbD_i est le nombre de disciplines de laboratoire i et \bar{D}_{ULP} , égal à 2.84, est le nombre moyen de disciplines des 74 laboratoires de l'ULP.

Le degré de multidisciplinarité au niveau sous-disciplinaire est défini comme :

$$Mus = NbSD_i / \bar{SD}_{ULP} \quad (1.2)$$

Où $NbSD_i$ est le nombre de sous-disciplines de laboratoire i et \bar{SD}_{ULP} , égal à 3.35, est le nombre moyen de sous-disciplines des 74 laboratoires de l'ULP.

Variables et statistiques descriptives

Les principales variables explicatives du degré de multidisciplinarité sont définies comme suit (Tableau 1.2) :

- *Statut légal*. Le statut légal du laboratoire est représenté par quatre variables, *Statut1* (pour les unités mixtes ou associées), *Statut2* (unités propres), *Statut3* (laboratoires du ministère) et *Statut4* (autres). Le statut légal d'un laboratoire est étroitement lié aux mécanismes de financement, au type de responsabilité, aux motivations à collaborer avec les autres disciplines et au mode de diffusion de la connaissance vers l'extérieur. C'est en fonction du statut légal (institution de recherche, d'enseignement ou institution mixte) que ces tendances sont affichées. Par conséquent, nous supposons que le statut institutionnel peut avoir un réel impact sur les activités interdisciplinaires, mais moindre sur le degré de multidisciplinarité.

- *Taille*. La taille du laboratoire, mesurée par le nombre de chercheurs, est décrite par la variable *Taille*. Les statistiques de l'ULP montrent que, alors que beaucoup de grands laboratoires (plus de 50 chercheurs) dans les disciplines comme la Physique, la Biologie ou la Chimie sont très multidisciplinaires, des laboratoires de même taille dans la discipline des Mathématiques ont un degré de multidisciplinarité plus faible. L'influence du nombre de chercheurs sur le degré de multidisciplinarité d'un laboratoire n'est donc pas concluant. Néanmoins, comme nos indicateurs de multidisciplinarité sont définis à partir du nombre de disciplines présentes dans chaque laboratoire, nous pouvons logiquement supposer que plus le nombre de chercheurs dans le laboratoire est élevé, plus la probabilité que ce laboratoire soit composé par des chercheurs provenant d'horizons disciplinaires divers est grande.

TAB. 1.2 – Description des variables

Variabes	Description
<i>Taille</i>	Taille de laboratoire mesurée par le nombre de chercheurs
<i>Statut1</i>	Statut légal des laboratoires mixtes ou associés
<i>Statut2</i>	Statut légal des laboratoires propres
<i>Statut3</i>	Statut légal des laboratoires ministériels
<i>Statut4</i>	Statut légal des autres laboratoires
<i>U</i>	Chercheurs universitaires
<i>CNRS</i>	Chercheurs du CNRS
<i>INSERM</i>	Chercheurs de l'INSERM
<i>Autres</i>	Chercheurs venant d'industries et d'associations
<i>Dept1</i>	Département de Mathématiques
<i>Dept2</i>	Département de Physique et Sciences de l'Ingénieur
<i>Dept3</i>	Département de Sciences de la Terre et de l'Univers
<i>Dept4</i>	Département de Chimie
<i>Dept5</i>	Département de Médecine, Biologie et de la Santé

• *Affiliations institutionnelles (Affia)*. L'affiliation institutionnelle des chercheurs dans chaque laboratoire est représentée par quatre variables : *U* (chercheurs universitaires), *Cnrs* (chercheurs du CNRS), *Inserm* (chercheurs de l'INSERM), *Autres* (chercheurs venant d'industries ou d'associations).

• *Départements scientifiques*. Pour mesurer l'influence potentielle des départements scientifiques sur le *Mud*, nous utilisons la variable du département scientifique, *Dept* : *Dept1* (Mathématiques); *Dept2* (Physique et Sciences de l'Ingénieur); *Dept3* (Sciences de la Terre et de l'Univers); *Dept4* (Chimie) et *Dept5* (Médecine, Biologie et Santé). L'économie de la science distingue les activités de la recherche nécessitant de grandes installations (concentrée dans un site géographique d'expérimentation) comme en Physique des particules et les grands programmes comme la recherche sur le génome (caractérisée par la dispersion géographique des équipes et des installations) (Foray, 1997). Quelques départements ont besoin de grands laboratoires avec des instruments d'une complexité extrême et la collaboration de beaucoup de chercheurs de disciplines différentes pour mener leurs recherches. De plus, il est important de noter que les distances cognitives entre les disciplines ont aussi un impact important sur l'intensité du travail interdisciplinaire. La recherche interdisciplinaire n'est pas encouragée et développée dans tous les domaines scientifiques

FIG. 1.1 – Degré de multidisciplinarité des laboratoires

de la même façon (Ziman, 1997). Le degré de multidisciplinarité peut être différent selon les départements. En effet, nous pouvons observer plus de projets interdisciplinaires entre, par exemple, chercheurs en Gestion et chercheurs en Économie où la distance cognitive est beaucoup plus petite qu'entre la Chimie et l'Économie. Par conséquent, nous nous attendons à ce que la composition multidisciplinaire des chercheurs, mesurée à travers les *Mud* et *Mus*, varie en fonction des départements scientifiques.

Dans la Figure 1.1, nous prenons l'exemple du *Mud* pour montrer qu'il existe une forte hétérogénéité dans les degrés de multidisciplinarité des laboratoires. En effet, parmi les 74 laboratoires, seuls trois ont des valeurs qui se situent entre 2.1 et 3.0.

Dans la Figure 1.2, les *Mud* et *Mus* au niveau départemental sont décrits. Nous pouvons observer que la Chimie est le département le plus ouvert en termes disciplinaires. Les départements de Physique et Sciences de l'Ingénieur sont également très multidisciplinaires tandis que le département de Mathématiques l'est moins. Cette observation confirme ce qui est décrit ci-dessus au sujet de l'hétérogénéité de la répartition multidisciplinaire des chercheurs selon les disciplines et les distances cognitives entre disciplines.

FIG. 1.2 – Degré de multidisciplinarité au niveau départemental

1.4.3 Modèle économétrique et résultats d'estimation

Modèle économétrique

Dans cette partie empirique, nous n'estimons que le *Mud*. Nous considérons un modèle de régression simple :

$$Mud = f(Statut, Taille, Affia, Dept) \quad (1.3)$$

Résultats d'estimation

Les résultats du modèle de régression sont rapportés dans le Tableau 1.3

La taille du laboratoire a un impact positif sur le degré de multidisciplinarité. Plus la taille du laboratoire est grande, plus forte est la probabilité que ce laboratoire soit composé d'une gamme diverse de chercheurs de disciplines différentes. Le coefficient de la taille est cependant faible, donc, si un laboratoire augmente le nombre de ses chercheurs, son degré de multidisciplinarité ne se déplacera que faiblement.

Parmi les catégories institutionnelles de chercheurs, à part les chercheurs universitaires pour lesquels le coefficient négatif est très fort, la présence des chercheurs du CNRS et de l'INSERM n'a pas de corrélation avec le *Mud*. Il apparaît que d'un côté les chercheurs de l'Université n'assument pas seulement

TAB. 1.3 – Résultats d'estimation

Variables	coef.	t-stat
<i>Taille</i>	0,013	4,5
<i>Statut2</i>	-0,063	-0,5
<i>Statut3</i>	-0,165	-1,1
<i>Statut4</i>	0,147	0,5
<i>U</i>	-,597	-2,3
<i>CNRS</i>	0,080	0,8
<i>INSERM</i>	0,003	0,1
<i>Dept2</i>	1,279	5,0
<i>Dept3</i>	0,911	3,2
<i>Dept4</i>	1,663	4,3
<i>Dept5</i>	1,379	5,2
	$R^2=0,89$	

Notes : Valeurs significatives en gras.

une mission de recherche, mais aussi des missions administratives et d'enseignement. De l'autre côté, ils sont contraints par les normes sociales et culturelles qui limitent l'intensité de leurs collaborations interdisciplinaires.

Les résultats suggèrent que la variable *Dept* explique le *Mud* alors que les effets du statut légal ne sont pas considérables. En effet, dans cette étude, le *Mud* est uniquement un indicateur organisationnel du laboratoire, le statut ne l'influence pas. Ce résultat est cohérent avec notre anticipation.

La signification des catégories des départements scientifiques est cohérente avec la description générale selon laquelle l'indicateur de multidisciplinarité varie entre départements (Figure 1.2). Ce résultat semble être évident car le *Mud* est spécifique aux départements, et est fonction de leurs domaines de compétence, des priorités de la recherche et des obstacles financiers ou humains.

1.5 Conclusion

Depuis quelques années, les concepts d'interdisciplinarité et de multidisciplinarité prennent une place de plus en plus essentielle dans l'analyse du système de recherche universitaire. Kahn et Prager (1994) postulent que l'interdisciplinarité devient un sujet important non seulement à cause de "the

urgency of the social problems but it is intrinsic to the scientific process itself, and it becomes more acute as the accumulation of scientific knowledge continues". Plusieurs études tentent ainsi de comprendre les mécanismes de collaboration interdisciplinaire, les compétences et les connaissances théoriques facilitant l'interdisciplinarité ou les barrières institutionnelles et organisationnelles qui entravent la recherche interdisciplinaire, etc.

Nous avons, d'une part, analysé le contexte dans lequel l'interdisciplinarité émerge et d'autre part, mis en évidence les obstacles organisationnels et institutionnels susceptibles d'influencer la promotion et le développement de collaborations interdisciplinaires. Nous postulons que l'environnement de la recherche interdisciplinaire de l'Université est tellement complexe qu'une bonne connaissance de la répartition multidisciplinaire des chercheurs au sein de chaque laboratoire sera utile afin de soutenir la promotion et le développement de l'interdisciplinarité. Nous avons utilisé les affiliations institutionnelles de 1349 chercheurs de l'ULP qui travaillent dans 74 laboratoires, nous déterminons, dans un premier temps, les indicateurs de la multidisciplinarité à deux niveaux : disciplinaire et sous-disciplinaire.

Ces indicateurs nous permettent d'établir la structure multidisciplinaire de laboratoires de l'ULP quant à la distribution de disciplines entre les laboratoires et départements scientifiques. Cependant, nous notons que cette méthode de détermination présente quelques limites dans la mesure où nous utilisons la nomenclature de l'OST de 1996 alors qu'elle a été modifiée par l'OST par la suite. Ce changement pourrait créer des problèmes pour l'extension de notre analyse des *Mud* et *Mus* dans une optique dynamique.

Les résultats de l'estimation montrent que la taille d'un laboratoire peut expliquer sa multidisciplinarité. Celle-ci ne dépend pas du statut légal du laboratoire. Nous constatons également une influence négative de la présence de chercheurs universitaires sur le degré de multidisciplinarité et nous notons que les départements scientifiques expliquent fortement la divergence des degrés de multidisciplinarité des laboratoires.

Comme nous constatons que de multiples disciplines fonctionnant côte à côte ne produisent pas toujours des collaborations interdisciplinaires, une des directions de recherche future sera de prolonger notre analyse pour tester la corrélation entre les indicateurs de multidisciplinarité déterminés dans cette étude et les degrés d'interdisciplinarité obtenus à partir de "citation patterns"

(Porter et Chubin 1995), de "co-citation" (Small 1999) ou de "co-word analysis" (Tijssen 1992).

Ce chapitre met en perspective la relation entre le développement de l'interdisciplinarité et les barrières et les problèmes d'ordre organisationnel, institutionnel et cognitif qui existent dans les institutions de l'université. Ces obstacles et barrières peuvent influencer l'interdisciplinarité de manière négative. Ceci est également une des conclusions principales de la littérature. Dans les chapitre 2 et 3 suivants, nous allons confronter cette hypothèse aux données réelles afin d'obtenir des éléments de réponse en ce qui concerne l'influence des facteurs collectifs et individuels sur le comportement interdisciplinaire des scientifiques universitaires.

Chapitre 2

Aspects interdisciplinaires des publications scientifiques

Ce chapitre fournit une première étude empirique des déterminants de l'interdisciplinarité de la production académique de chercheurs. Dans ce but, nous mesurons l'interdisciplinarité comme la diversité de leurs productions de recherche à travers des domaines scientifiques. Notre étude est basée sur plus de neuf cents chercheurs permanents employés par une grande Université française figurant parmi les premières universités françaises en termes d'impact des publications scientifiques. Nos résultats principaux sont que les mécanismes d'incitation académiques traditionnels ne stimulent pas la recherche interdisciplinaire tandis que les connections avec l'industrie l'influencent positivement. De plus, le contexte du travail dans le laboratoire affecte fortement la propension d'entreprendre la recherche interdisciplinaire.

⁵Ce chapitre est tiré de Carayol et Nguyen Thi (2004), "Why do academic scientists engage in interdisciplinary research", pré-sélectionné pour le numéro spécial (mai 2005) de *Research Evaluation*, circulé également sous forme de Document de Travail du BETA, n° 2004-17, Université Louis Pasteur.

2.1 Introduction

Comme souligné par Gibbons et ses collègues (1994), la production de connaissances interdisciplinaires est un des sujets majeurs à traiter dans la société basée sur les connaissances. Deux raisons principales ont été soulevées pour soutenir un tel genre de recherche, comparé à une recherche disciplinaire plus standard. D'une part, il est largement accepté que le processus de recherche qui se produit dans un contexte interdisciplinaire est susceptible d'être plus créateur : la mixité des personnes de différents milieux ou/et des idées de différents champs scientifiques peuvent générer des résultats de recherche efficaces. D'autre part, la recherche interdisciplinaire est estimée susceptible de mener aux résultats applicables (Schmoch *et alii* 1994), parce qu'elle est plus proche des approches de résolution des problèmes ("problem-solving") (Foray et Gibbons 1996). Par conséquent, l'intérêt pour la recherche interdisciplinaire est maintenant largement accepté par des disciplines et des décideurs de la science : elle devient une dimension de plus en plus importante prise en considération dans les processus de financement public, à la fois dans le cadre de l'Union Européenne et des programmes de financement du National Science Foundation (US-NSF).

Comme nous avons souligné dans le chapitre 1, bien qu'une littérature abondante ait sensiblement amélioré notre compréhension des recherches interdisciplinaires (Morreale et Howery 2002, Ziman 1997, Qin *et alii* 1997, Schmoch *et alii* 1994, Sanz-Menéndez *et alii* 2001, Tomov and Mutafov 1996, Morillo *et alii* 2001), l'interdisciplinarité reste un concept tout à fait brouillé et difficile à comprendre (Klein 1996, Acutt *et alii* 2000).

Dans cette étude, nous proposons deux mesures d'interdisciplinarité. La première est appelée le degré de multidisciplinarité d'une unité de recherche. Il mesure la diversité des affiliations disciplinaires professionnelles des chercheurs permanents des laboratoires académiques. La seconde est nommée le degré d'interdisciplinarité de la production scientifique d'un chercheur académique. Elle explique la diversité disciplinaire des publications d'un chercheur parmi les domaines scientifiques.

L'originalité principale de cette contribution est que nous avons spécifiquement développé une méthodologie qui nous permet d'étudier les déterminants de la recherche interdisciplinaire engagée par les chercheurs académiques (i.e. le degré d'interdisciplinarité). En dépit de l'importance reconnue de la recherche

interdisciplinaire, il n'y avait aucune analyse systématique des déterminants de la recherche interdisciplinaire. Seulement quelques monographies traitent spécifiquement un tel sujet (Grupp 1994, Laudel *et alii* 1998, Morreale et Mowery 2002).

Cette analyse est d'autant plus importante que les scientifiques et les décideurs politiques s'interrogent toujours sur les incitations et les facteurs qui influencent l'arrangement de l'agenda de recherche des chercheurs académiques, en particulier ceux qui mènent les chercheurs à s'engager dans la recherche interdisciplinaire. Porter et Chubin (1985) ont postulé que c'est l'absence des données appropriées qui constitue une barrière à l'étude systématique de ce phénomène.

Nous avons pu surmonter cette difficulté grâce à un ensemble de données originales qui informent avec précision les comportements de recherche de plus de neuf cent scientifiques académiques au cours de la période de 1995-2000. Pendant cette période, ces chercheurs étaient employés par une grande Université de France, l'Université Louis Pasteur (ULP) à Strasbourg. Cette Université est rangée (en termes d'impact des publications scientifiques) parmi les premières universités françaises par le Rapport Européen sur la Science et la Technologie (2003). Ces données nous permettent de tenir compte, d'une part, des caractéristiques individuelles des chercheurs (l'âge, le statut, l'impact des publications et la stratégie). Elles nous permettent, d'autre part, d'obtenir les caractéristiques des laboratoires auxquels les chercheurs sont affiliés, tels que l'âge des collègues, le statut, la présence de chercheurs non-permanents, le degré de multidisciplinarité du laboratoire, la structure de financement : public ou privé.

Deux séries de déterminants seront considérées. D'une part, nous étudierons si la structure académique de récompense et de promotion (les modèles de carrière basés sur la performance et la réputation) fournit des incitations ou désincitations pour les chercheurs à s'engager dans la recherche interdisciplinaire. Il y a de fortes probabilités pour que le système généralisé d'évaluation par les pairs en science, profondément ancré dans une culture disciplinaire, mène à de véritables motivations vers la recherche mono-disciplinaire, comme suggéré par Ziman (1997) et Sanz-Menéndez et ses co-auteurs (2001).

D'autre part, nous nous demandons si la conception d'organisation des unités de recherche (et des caractéristiques des collègues dans les laboratoires)

affecte la propension d'entreprendre la recherche interdisciplinaire comme suggéré par Ziman (1994, 1997).

Montrer l'évidence des facteurs institutionnels qui soutiennent les travaux dépassant les frontières disciplinaires s'avère important dans la mesure où ces facteurs peuvent aider à améliorer la promotion et l'organisation de la recherche interdisciplinaire. Parmi de tels facteurs institutionnels, les décideurs politiques seraient spécifiquement intéressés par les effets de la structure de financement des laboratoires et de la multidisciplinarité des équipes de recherche.

Ce chapitre est organisé comme suit. La section 2.2 passe en revue et discute les diverses mesures d'interdisciplinarité et de multidisciplinarité. Nous proposons ensuite deux nouvelles mesures d'interdisciplinarité et de multidisciplinarité que nous allons utiliser par la suite. La section 2.3 décrit la base de données, les variables et la méthodologie utilisées. La section 2.4 présente un modèle économétrique et les résultats d'estimation. La conclusion est donnée dans la section 2.5.

2.2 Revue de littérature des mesures d'interdisciplinarité

De nombreux indicateurs bibliométriques sont proposés dans la littérature afin d'évaluer le degré d'interdisciplinarité de la recherche. Dans une première sous-section, nous passons en revue les notions présentées dans la littérature, alors que la deuxième sous-section présente les nouvelles mesures qui seront utilisées pour notre recherche.

2.2.1 Différentes mesures d'interdisciplinarité

Comme suggéré par Sanz-Menéndez et ses co-auteurs (2001), une façon simple et utile pour classer par catégories ces notions est de séparer celles appliquées aux groupes de recherche basés sur la composition de l'équipe (multidisciplinarité) et celles appliquées aux résultats de recherche (interdisciplinarité).

Multidisciplinarité

La multidisciplinarité est une notion que se rapporte à des modèles de recherche d'une équipe, d'une communauté ou d'un établissement donné et est observée à travers les affiliations des chercheurs à des disciplines différentes. Sanz-Menéndez et ses co-auteurs (2001) ont interviewé des chercheurs afin d'évaluer la diversité disciplinaire des membres des équipes et donner une appréciation qualitative du degré de multidisciplinarité de leur équipe. Plus précisément, les chercheurs interviewés sont priés d'évaluer la diversité disciplinaire de leur équipe de recherche dans quatre catégories d'intensité.

En plus, les interviewés sont invités à donner une appréciation qualitative de l'interdisciplinarité de leurs équipes de recherche en énumérant jusqu'à cinq collègues (mentionnant leurs disciplines et spécialisations) qui sont employés dans l'équipe et avec qui ils travaillent actuellement.

Interdisciplinarité

L'interdisciplinarité dépasse l'observation simple de la présence du personnel de recherche des milieux disciplinaires différents dans les établissements communs : elle caractérise directement des résultats de recherche. On peut identifier deux approches principales pour mesurer une telle interdisciplinarité.

La première approche se sert de la classification de journaux scientifiques selon des disciplines fournies dans le Journal Citation Report (JCR) et produite par l'Institute for Scientific Information (ISI). Cette méthode se fonde sur la co-assignation des journaux dans les différents domaines de recherche comme définis dans le JCR. Plusieurs études empiriques ont exploré la structure interdisciplinaire des programmes de recherche ou des disciplines scientifiques. Par exemple, Rinia et ses collègues (2001) ont employé les données de publications qui ont résulté des programmes de recherche de la Physique : l'interdisciplinarité de chaque programme est définie comme le pourcentage des articles publiés aux journaux dans des disciplines hors la Physique. D'ailleurs, sachant que des journaux peuvent être associés à plusieurs catégories, Morillo et ses collègues (2001) ont mesuré le degré d'interdisciplinarité d'une discipline scientifique comme la part des journaux multi-assignés (assignés dans plus de deux catégories).

La deuxième approche utilise les articles comme sujet d'analyse. Elle se

sert des informations fournies dans le Science Citation Index (SCI-ISI). L'interdisciplinarité est mesurée par les co-occurrences des articles, telles que les affiliations des auteurs, citations ou références : plus les co-occurrences sont fréquentes, plus les rapports ou les échanges entre les disciplines sont intensifs.

L'analyse basée sur les affiliations des auteurs identifie les établissements des auteurs et les associe aux disciplines. Qiu (1992) a défini un degré annuel d'interdisciplinarité des journaux comme part des articles co-écrits interdisciplinairement. De tels articles sont identifiés en tant qu'écrits par des chercheurs associés à différentes disciplines. L'auteur a également employé un indicateur semblable pour étudier l'évolution de l'interdisciplinarité d'une discipline simple (les Sciences de l'Information et de Bibliothèque) sur une période de 20 ans. Schummer (2003) a proposé de mesurer l'interdisciplinarité dans le domaine de la Nanoscience et de la Nanotechnologie comme "number of disciplines involved by authorship in at least 5% of the total number of papers".

Les analyses de citations et de références sont la méthode la plus fréquemment utilisée parmi des études de la deuxième approche. Elles mesurent des échanges d'informations entre les articles (Qin *et alii* 1997), journaux (Porter et Chubin 1985, Morillo *et alii* 2001) ou disciplines (Qin *et alii* 1997). Par exemple, Tomov et Mutafov (1996) ont proposé un index d'interdisciplinarité des journaux en utilisant des références et des citations.

D'ailleurs, Sanz-Menéndez et ses co-auteurs (2001) ont mesuré l'interdisciplinarité des chercheurs par des interviews en leur demandant d'indiquer les cinq journaux qui sont leurs journaux principaux de référence.⁶

2.2.2 Définition de nouveaux indicateurs de multidisciplinarité et d'interdisciplinarité

Dans cette partie, nous proposons deux mesures de multidisciplinarité et d'interdisciplinarité qui seront utilisées par la suite dans notre étude.

⁶Indépendamment des deux catégories ci-dessus des indicateurs, Morillo, Bordons, et Gomez (2001) ont proposé les indicateurs basés sur le "Chemical Abstract". Le degré d'interdisciplinarité d'un champ indiqué est alors le pourcentage des documents multi-assignés parmi les 80 sections définies dans ces documents

Degré de multidisciplinarité

Le degré de multidisciplinarité d'un laboratoire est mesuré comme entropie de la distribution des chercheurs permanents sur l'ensemble des sous-disciplines. Cette mesure d'entropie représente les poids relatifs de sous-disciplines dans le laboratoire. Par exemple, pour un laboratoire dont les chercheurs sont affiliés à deux disciplines différentes : avoir tous les chercheurs affiliés à une sous-discipline et avoir la moitié des chercheurs affiliés à chaque sous-discipline sont deux situations différentes. La dernière situation est susceptible d'être plus multidisciplinaire. La mesure d'entropie explique cette différence.⁷ Elle est calculée comme suit :

$$Lab.multidis_i = - \sum_{i \in L_i} \frac{n_{ij}}{n_i} \ln \left(\frac{n_{ij}}{n_i} \right) \quad (2.1)$$

Avec n_i le nombre de chercheurs permanents dans le laboratoire i et le n_{ij} le nombre de chercheurs dans le laboratoire de i qui sont affiliés à la sous-discipline j . Il correspond au niveau disciplinaire le plus bas de l'agrégation comme rapporté par la classification d'OST (OST 1996) applicable en France.⁸ Selon cette classification, il y a 73 sous-disciplines.

Degré d'interdisciplinarité

Nous proposons une mesure pour évaluer l'interdisciplinarité dans la production scientifique d'un chercheur. C'est la diversité des parutions des publications du chercheur i en fonction de domaines scientifiques. Elle est calculé comme suit :

$$Interdisc_i = - \sum_j p_{ij} \ln (p_{ij}) \quad (2.2)$$

Avec p_{ij} la part des publications de i dans le domaine j . Il est calculé comme suit :

$$p_{ij} = \frac{1}{\#P_i} \sum_{a \in P_i} \phi(j, r_a) \quad (2.3)$$

⁷voir Carayol et Matt (2003) pour plus de détails.

⁸Il y a trois classifications institutionnelles dans le système français (CNU pour les chercheurs universitaires, CNRS et INSERM pour les chercheurs des grands organismes de recherche) Au niveau le plus désagrégé, ils ne s'assortissent pas parfaitement. Par conséquent, un étalonnage a été effectué pour notre étude.

Où P_i est l'ensemble de publications de i , $\#P_i$ est le cardinal et r_a est le journal dans lequel l'article $a \in P_i$ a été publié. La fonction $\phi(\cdot, \cdot)$ est définie comme suit : $\phi(j, r_a) = 1 \{j \in d(r_a)\} / \#d(r_a)$ avec $1 \{\cdot\}$ la fonction d'indicateur et le $d(r_a)$ l'ensemble de domaines auxquels r_a est associé par classification des domaines des journaux du JCR. Le cardinal de cet ensemble, $\#d(r_a)$ est ainsi le nombre de différents domaines auxquels le journal r_a est associé. $d(r_a)$ est lui-même un sous-ensemble de l'ensemble de tous les domaines D , dont le cardinal $\#D$ est égal à 170 dans le système de classification de JCR. Il est important de noter que cette définition nous permet de tenir compte de l'interdisciplinarité interne des journaux comme démontrée par leur multi-assignation aux domaines scientifiques.

2.3 Données et variables

Dans cette section, nous présentons les données et les variables utilisées. Nous analysons les déterminants du niveau d'interdisciplinarité des scientifiques universitaires tels que les facteurs collectifs et individuels.

2.3.1 Données

Nous avons rassemblé les variables à partir des rapports administratifs accomplis pour 1996.⁹ Ces documents sont évalués par des procédures standards d'examen par les pairs conduites par le Ministère de la Recherche et de l'Éducation et des agences de financement telles que le CNRS et l'INSERM dont l'appui est prévu). 1460 chercheurs permanents ont été rapportés dans ces documents : ils étaient tous présents en 1996. Un document semblable existe pour la période 2001-2004.

Ainsi nous avons eu l'information sur la présence des chercheurs permanents à l'Université en 2000. Nous avons exclu tous les permanents qui n'étaient pas sur cette liste afin d'être sûrs qu'aucun n'est déplacé à une autre Université

⁹Un tel rapport se produit tous les quatre ans. Tous les laboratoires (et également les facultés et instituts) doivent produire un document standardisé, qui est habituellement divisé en deux parties distinctes : un document précis des quatre dernières années d'activités et un projet pour les quatre prochaines années. Les données couvrent la période de 1993 à 2000, qui peut être séparée en deux périodes secondaires de quatre ans : 1993-1996 et 1997-2000. Elles représentent respectivement ce qui a été réalisé pendant les périodes de quatre ans avant et après 1996 (c.-à-d. le nouveau contrat d'affiliation).

ou retiré. A la fin du processus, il reste 1.134 permanents constants. Parmi eux, 908 étaient entièrement informés sur les variables d'intérêt. Selon la classification des affiliations disciplinaires de chercheurs permanents, nous avons trouvé 52 (sur 73) sous-disciplines différentes.

Les articles publiés de chaque chercheur permanent dans notre base de données ont été également rassemblés en utilisant le SCI, le SSCI et les bases de données d'Arts et de Sciences Humaines de l'ISI. Plus de 26.000 occurrences de publications ont été enregistrées au cours de la période 1993-2000. Nous avons assorti cette base avec notre liste restreinte de chercheurs permanents et avons gardé seulement les occurrences qui ont été publiées au cours de la période 1995-2000 où nous sommes presque sûrs qu'ils ont été toujours employés par l'Université.

Cette quantité inclut le double compte en tant qu'articles fréquemment co-écrits de chercheurs d'ULP. En divisant chaque occurrence par le nombre de co-auteurs nous obtenons la contribution scientifique (normale) efficace de chaque auteur considéré (un auteur est nécessairement un chercheur permanent). En outre, chaque article a été associé au facteur d'impact des revues dans lesquelles il a été publié. Cette information a été obtenue pour les 5.750 revues rapportées dans le Journal Citation Report (JCR) de l'ISI. Elle nous donne ainsi l'occasion de prendre en compte la performance d'impact des publications. Cette base de données rapporte également les domaines, c.-à-d. chaque journal est attaché à un ou plusieurs des 170 domaines scientifiques.

D'ailleurs, nous avons l'information sur tous les laboratoires auxquels ces chercheurs permanents étaient affiliés (et des variables de laboratoires). Nous avons enregistré 79 laboratoires distincts en 1996 pour lesquels l'information complète et fiable est disponible. Nous pouvons ainsi attacher à chaque scientifique individuel les variables caractérisant leurs laboratoires ou collègues (d'autres chercheurs permanents) dans les laboratoires.

Le nombre de chercheurs permanents dans le laboratoire est la variable simple qui explique la taille du laboratoire. Toutes autres variables sont des proportions. Quand les variables caractérisant les laboratoires ont été calculées à partir de l'information sur les chercheurs permanents, nous avons toujours exclu le chercheur qui est analysé (l'âge moyen des collègues, leurs positions, leurs productivités scientifiques).

Quelques informations additionnelles sur les laboratoires ont été rassem-

blées dans les rapports de recherche de 1996. Nous pouvions ainsi également présenter plus de variables sur des laboratoires. Nous incluons des données sur des types de personnel qui n'est pas souvent inclus dans des analyses empiriques : Environ 1.230 doctorants, 710 post-doctorants et 1120 non-chercheurs (personnels administratifs et techniciens) ont été rapportés en 1996.

Pour finir nous pouvions rassembler des informations précises sur le financement des laboratoires (à l'exclusion des salaires). Nous avons des données sur le financement public régulier pour la période 1996-2000. Nous avons rassemblé des informations sur le financement contractuel au cours de toute la période 1993-2000. Le dernier était classé par sources des ressources : financement public aux niveaux européens, nationaux et locaux, et les sources privées.

2.3.2 Variables et statistiques descriptives

Variable dépendante

$Interdisc_i (y_i)$ est la variable dépendante, donnée dans les équations 2.2 et 2.3.

Variables explicatives

Les variables explicatives incluses dans la régression sont définies comme suit (Tableau 2.1) :

- Age_i : l'âge de i en 1996.
- $Fulltime_i$: la variable dummy. Elle est égale à 1 si le chercheur permanent a une position de chercheur de plein-temps en 1996. Elle est égale à 0 s'il occupe une poste d'enseignant-chercheur.
- $Junior_i$: la variable dummy. Elle est égale à 1 si le chercheur permanent est non-promu (Maître de Conférence ou Chargé de recherche) en 1996. Elle est égale à 0 si le chercheur permanent est promu (Professeur ou Directeur de recherche).
- $Discipline1_i$: la variable dummy. Elle est égale à 1 si la discipline scientifique à laquelle le chercheur permanent est affilié est Mathématiques ; $Discipline2_i$ pour la Physique ; $Discipline3_i$ pour la Chimie ; $Discipline4_i$ pour les Sciences de la Terre ; $Discipline5_i$ pour les Sciences de l'Ingénieur ; $Discipline6_i$ pour la Biologie ; $Discipline7_i$ pour la Médecine et $Discipline8_i$ pour les Sciences Sociales et Humaines.

TAB. 2.1 – Les statistiques descriptives des variables

Variabes	Moyenne	Std. Err.	Min	Max
<i>Interdisc</i>	1.273	0.633	0	2.618
<i>Impact</i>	3.204	2.349	0	16.016
<i>Age</i>	44.872	9.102	26	74
<i>Junior</i>	0.562		0	1
<i>Fulltime</i>	0.504		0	1
<i>Inter</i>	0.303	0.303	0	1
<i>Indus</i>	0.277	0.448	0	1
<i>Lab.pub</i>	3.186	1.834	0	9.328
<i>Lab.imp</i>	3.223	2.072	0.363	12.718
<i>Lab.perm</i>	36.454	26.433	2	79
<i>Lab.age</i>	51.794	3.481	41.625	66
<i>Lab.fulltime</i>	0.468	0.258	0	0.937
<i>Lab.junior</i>	0.576	0.135	0	1
<i>Lab.phd</i>	0.841	0.470	0.118	3
<i>Lab.postdocN</i>	0.108	0.192	0	1
<i>Lab.postdocF</i>	0.400	0.632	0	5.125
<i>Lab.nonres</i>	0.797	0.839	0	6.35
<i>Lab.interdisc</i>	0.806	0.404	0	1.845
<i>Lab.funding</i>	59.170	41.331	5.417	189.375
<i>Lab.contractualPub</i>	441.505	425.699	0	5265.644
<i>Lab.contractualPriv</i>	398.002	599.401	0	2267.652
<i>Discipline1</i>	0.056		0	1
<i>Discipline2</i>	0.120		0	1
<i>Discipline3</i>	0.154		0	1
<i>Discipline4</i>	0.072		0	1
<i>Discipline5</i>	0.067		0	1
<i>Discipline6</i>	0.361		0	1
<i>Discipline7</i>	0.091		0	1
<i>Discipline8</i>	0.078		0	1

- Imp_i : le facteur d'impact moyen des publications de i pendant la période 1995-2000 (via Impact Factor of the journals).
- $Indus_i$: la variable dummy, égale à 1 si au moins une des publications du chercheur permanent i est co-publiée avec au moins un auteur affilié à une entreprise.
- $Inter_i$: la part des publications de i qui est co-publiée avec au moins un auteur qui mentionne une adresse hors de la France.
- $Multidisc_i$: le degré de multidisciplinarité du laboratoire de chercheur i . Il est donné dans l'équation 2.1.
- $Lab.perm_i$: le nombre de chercheurs permanents du laboratoire dont le chercheur i est membre. Il incarne notre variable de taille du laboratoire. Toutes les autres valeurs concernant le laboratoire seront données en parts si elles sont directement connectées aux chercheurs permanents. Sinon, elles sont données par chercheur permanent.
- $Lab.age_i$: l'âge moyen des collègues dans le laboratoire (les autres chercheurs permanents).
- $Lab.junior_i$: la part de chercheurs non-promus (Maîtres de Conférences ou Chargés de recherche) parmi les collègues du laboratoire.
- $Lab.fulltime_i$: la part de chercheurs promus (Professeurs ou Directeurs de recherche) parmi les collègues.
- $Lab.Pub_i$: la productivité des collègues au cours de la période 1993-2000, qui correspond à la performance de publication moyenne des collègues (déjà corrigée pour la co-publication).
- $Lab.Imp_i$: le facteur d'impact moyen de publications des collègues du laboratoire.
- $Lab.phd_i$: le nombre moyen de doctorants par chercheur permanent du laboratoire.
- $Lab.postdocN_i$: le nombre moyen des post-docs nationaux par chercheur permanent du laboratoire.
- $Lab.postdocF_i$: le nombre moyen de post-docs étrangers par chercheur permanent du laboratoire.
- $Lab.nonres_i$: le nombre de non-chercheurs par chercheur permanent du laboratoire.
- $Lab.funding_i$: le montant (en milliers d'Euros) du financement public annuel par chercheur permanent au cours de la période 1996-2000.

◦ *Lab.contractualPub_i* : le montant (en milliers d'Euros) du financement contractuel public par permanent au cours de la plus grande période 1993-2000.

◦ *Lab.contractualPriv_i* : le montant (en milliers d'Euros) de financement contractuel privé par permanent au cours de la plus grande période 1993-2000.

L'ensemble de variables indépendantes est donné par le vecteur suivant :

$x_i = (\text{Impact}_i, \text{Age}_i, \text{junior}_i, \text{fulltime}_i, \text{Inter}_i, \text{Indus}_i, \text{Lab.Pub}_i, \text{Lab.Imp}_i, \text{Lab.perm}_i, \text{Lab.age}_i, \text{Lab.fulltime}_i, \text{Lab.junior}_i, \text{Lab.phd}_i, \text{Lab.postdocN}_i, \text{Lab.postdocF}_i, \text{Lab.nonres}_i, \text{Lab.multidisc}_i, \text{Lab.funding}_i, \text{Lab.contractualPub}_i, \text{Lab.contractualPriv}_i)$

2.4 Étude empirique sur les déterminants de l'interdisciplinarité

2.4.1 Modèle économétrique

Un regard plus étroit sur les données informe qu'une part non-négligeable des variables dépendantes est nulle : 90 zéros (818 sont strictement positifs). Ceci apparaît quand les recherches se produisent dans un domaine unique. La recherche est alors strictement disciplinaire. Les estimations de la densité de noyau exposées dans la Figure 2.1 montrent que nous avons ici une densité spécifique. Afin d'expliquer le changement qualitatif entre être strictement mono-disciplinaires et interdisciplinaire, nous utilisons le modèle Tobit à gauche censuré avec une coupure connue due à Amemiya (1973). Il est de la forme :

$$y_i^* = x_i' \beta + \varepsilon_i \quad (2.4)$$

où x_i est le vecteur des variables indépendantes, β le vecteur de ses coefficients associés, ε_i est le terme d'erreur (on assume que les limites d'erreur sont indépendantes $N(0, \sigma^2)$). y_i^* est supposé être le niveau inobservable de l'engagement à la recherche interdisciplinaire, à partir de laquelle l'entropie interdisciplinaire la variable dépendante vraiment observée ($y_i = \text{Interdisc}_i$) est obtenu comme suit :

FIG. 2.1 – Distribution de niveau d’interdisciplinarité des chercheurs

$$y_i = y_i^* \text{ if } y_i^* > 0 \quad (2.5)$$

$$y_i = 0 \text{ if } y_i^* \leq 0 \quad (2.6)$$

Cette spécification permet de modéliser qu’au-dessous d’un certain niveau d’engagement aucun article de publication n’est enregistré en dehors du domaine principal de recherche.

La log-vraisemblance qui sera maximisée est la suivante :

$$L = \frac{1}{2} \sum_{i \in S} \ln \left[\frac{y_i - x_i' \beta}{\sigma} + \ln 2\pi\sigma^2 \right] + \sum_{i \notin S} \ln \Phi \left(\frac{-x_i' \beta}{\sigma} \right) \quad (2.7)$$

Avec S l’ensemble d’individus i qui sont non censurés (ont une variable dépendante non nulle $y_i > 0$) et $\Phi(\cdot)$ la fonction de la densité cumulative normale.

2.4.2 Résultats d’estimation

Les résultats d’estimation sont présentés dans le Tableau 2.2. Nous présentons et discutons d’abord les effets des variables individuelles, puis ceux des variables collectives.

TAB. 2.2 – L'estimation du modèle Tobit donné dans les équations 2.4 et 2.5

Dep var : Interdisc	Coef.	Std. Err.
<i>Age</i>	-0,000	0,003
<i>Junior</i>	-0,146***	0,0458
<i>Fulltime</i>	0,187***	0,0456
<i>Impact</i>	0,003	0,0138
<i>Inter</i>	0,127	0,078
<i>Indus</i>	0,048***	0,048
<i>Lab.perm</i>	-0,003**	0,001
<i>Lab.age</i>	0,033***	0,009
<i>Lab.fulltime</i>	0,132	0,132
<i>Lab.junior</i>	0,742***	0,158
<i>Lab.pub</i>	0,005	0,016
<i>Lab.imp</i>	-0,000	0,028
<i>Lab.phd</i>	-0,172***	0,065
<i>Lab.postdocN</i>	0,093	0,136
<i>Lab.postdocF</i>	-0,085	0,058
<i>Lab.nonres</i>	-0,056	0,052
<i>Lab.interdisc</i>	0,299***	0,078
<i>Lab.funding</i>	0,0002	0,002
<i>Lab.contractualPub</i>	0,0002***	0,0001
<i>Lab.contractualPriv</i>	0,0002***	0,0001
<i>Discipline2</i>	0,590***	0,154
<i>Discipline3</i>	0,520***	0,138
<i>Discipline4</i>	0,374**	0,150
<i>Discipline5</i>	0,0579	0,133
<i>Discipline6</i>	0,5509***	0,142
<i>Discipline7</i>	0,9123***	0,152
<i>Discipline8</i>	0,1125	0,177
<i>Constant</i>	-1,721	0,567
<i>Sigma</i>	0,5706	0,014

Notes : ** et *** indiquent que les coefficients sont statistiquement significatifs respectivement aux niveaux de 0,05 et 0,01. Concernant les variables Disciplines, les coefficients doivent être interprétés en comparaison avec *Discipline1* qui est pris comme une référence.

FIG. 2.2 – Relation entre interdisciplinarité et publications

Facteurs individuels

Nous constatons que la variable *Age* n'est pas significative. Plusieurs configurations (cohortes d'âge, âge carré...) ont été examinées mais les résultats sont restés les mêmes. Nous nous sommes attendus à un effet positif d'âge en raison de deux effets simultanés. D'abord, de plus jeunes chercheurs pourraient ne pas s'intéresser aux agendas de recherche interdisciplinaire parce que de tels agendas sont susceptibles d'être plus risqués et leurs récompenses en termes de réputation sont susceptibles d'être retardées (même si elles peuvent être réparties sur une plus longue période). Deuxièmement, l'expérience acquise au cours du temps pourrait être un facteur déterminant pour avoir une vue d'ensemble, ce qui est fondamentalement nécessaire pour la recherche couvrant plusieurs champs disciplinaires.

L'absence d'un tel effet positif d'âge peut être due à l'effet simultané de cohorte d'équilibrage¹⁰ : les chercheurs des dernières cohortes tendraient à être orientés plus vers la monodisciplinarité. Néanmoins, nous n'avons trouvé aucune évidence (même anecdotique) d'un tel effet de cohorte en littérature pour soutenir ce rapport. Il est important de noter que c'est seulement quand la variable *Junior* a été enlevée que *Age* est devenue (faiblement) significative.

¹⁰Voir Stephan (1996) pour une discussion de l'importance des effets de cohorte en productivité de publications académique.

Ceci montre, comme suggéré par Knorr et ses co-auteurs (1979) et Carayol et Matt (2003) pour la performance de publications, que quand nous contrôlons pour des variables reliées par position, les effets de l'âge tendent à devenir non significatifs.

La variable *Junior* a un coefficient négatif et significatif. Comme cette variable indicatrice signifie la non-promotion, nous trouvons, d'une part, qu'une fois qu'ils sont promus les chercheurs tendent à s'engager plus fortement dans la recherche interdisciplinaire. Avant la promotion, les chercheurs tendent à concentrer leurs agendas de recherche dans les champs disciplinaires bien tracés. Ceci peut être dû aux soucis de carrière. En effet, l'évaluation des chercheurs est la plupart du temps faite par le domaine scientifique. Ainsi, des travaux disciplinaires qui produisent facilement des accomplissements scientifiques identifiables tendent à être mieux récompensés. En conséquence, les chercheurs comptant augmenter leur probabilité de promotion peuvent être susceptibles de choisir des matières bien spécifiées et des méthodes dans leurs propres domaines principaux de recherche et retardent des publications dans d'autres domaines.

D'autre part, la recherche interdisciplinaire peut être plus risquée et exige la recherche à plus long terme (Schmoch *et alii* 1994). Ainsi les chercheurs peuvent préférer attendre jusqu'à ce que la promotion soit assurée pour entreprendre une telle recherche, quand ils sont moins pressés par des contraintes académiques de carrière et de promotion.

Ce résultat montre le fait que les scientifiques ont a priori un comportement rationnel dans la mesure où toutes ces décisions sont le résultat d'une réflexion appropriée. La carrière suit une trajectoire séquentielle de choix d'objectifs. Au début de leur carrière de recherche, les chercheurs non-promus focalisent leur attention sur les incitations académiques en vue d'une promotion académique dont les normes sont basées fortement sur l'originalité des travaux scientifiques, sur le nombre des publications dans des journaux disciplinaires (§ 2.1.1.). C'est seulement après avoir obtenu une promotion académique qu'ils consacrent du temps à des projets de recherche industriels ou interdisciplinaires. Cette rationalité procédurale des scientifiques pose à l'université un problème d'incitation et de coordination dans la recherche interdisciplinaire (Simon 1982, Winter 1991).

La variable *Fulltime* est fortement significative et a un coefficient positif :

les chercheurs qui occupent des positions de recherche à temps plein entreprennent une recherche plus interdisciplinaire. Ceci peut être expliqué comme suit. Les chercheurs à temps plein bénéficient d'un plus grand nombre d'heures consacrées à la recherche. La recherche interdisciplinaire pourrait exiger un engagement plus fort dans la recherche parce qu'il est susceptible de se produire dans de plus grands projets tandis que dans une recherche plus disciplinaire, aborder la stratégie du "next problem at hand" pourrait être soutenable. Les chercheurs à temps plein ne sont pas sujets aux mêmes contraintes de temps que les scientifiques qui font face à des fonctions d'enseignement aussi bien que de recherche et d'administration. Par conséquent, ils s'engagent plus dans la recherche interdisciplinaire.

Le facteur d'impact moyen n'est pas significatif. Ceci signifie que les gens qui publient dans différents champs ne diffèrent pas de manière significative en termes d'impact moyen de leurs publications. Si nous supposons cette qualité de "proxy" d'impact, alors il n'y a aucun effet des qualités de chercheurs sur sa propension à entreprendre la recherche interdisciplinaire.

Par contre, avoir publié au moins un papier avec un chercheur employé dans l'industrie implique une différence importante dans l'entreprise de la recherche interdisciplinaire : la variable indicatrice *Indus* est fortement significative et positive. Ceci tend à corroborer l'idée suggérée par Foray et Gibbons (1996) que des agendas de la recherche interdisciplinaire et la sensibilité aux applications par des approches de résolution de problèmes (problem-solving) sont fortement liés.

Les résultats montrent également que la recherche interdisciplinaire est disciplinairement spécifique (la plupart des variables indicatrices de disciplines sont significatives). Ceci pourrait être expliqué par les grandes différences dans la nature scientifique des disciplines, les capacités des agents de se déplacer entre les domaines et de les maîtriser, et dans la densité de la couverture de classification des domaines de SCI.

Facteurs collectifs

Au sujet de l'effet du contexte du travail, nous constatons que la taille du laboratoire joue négativement sur l'interdisciplinarité. C'est dans de plus petits laboratoires que les chercheurs tendent à visiter un nombre plus élevé de champs distincts de recherche. Les chercheurs dans de plus grands laboratoires

tendent à se concentrer sur peu de domaines.

L'âge des collègues de laboratoire influence positivement l'interdisciplinarité. Les chercheurs tendent à tirer bénéfice de l'expérience des collègues dans l'entreprise des objectifs divers de recherche. Ce résultat accentue le fait que les collègues agissent les uns sur les autres dans le processus de sélection des agendas de recherche. Ce rapport est fortement renforcé par les résultats suivants. Les chercheurs entreprennent une recherche plus interdisciplinaire quand leurs collègues sont moins promus et plus âgés. Ceci pourrait indiquer que les chercheurs tirent bénéfice de plus d'interactions dans l'ouverture d'esprit avec les collègues plus vieux et non promus qui les stimulent à s'engager dans plus de domaines divers de recherches.

Nous avons également constaté que la recherche interdisciplinaire est moins probable dans les laboratoires qui ont un rapport élevé des doctorants par chercheurs permanents. Des doctorants semblent être attirés davantage par des laboratoires ayant une orientation disciplinaire forte.

Un effet positif important concerne la distribution des collègues entre divers domaines (le degré de multidisciplinarité du laboratoire), c.-à-d. ayant des communautés de référence (et évaluation) distinctes. Ziman (1997) a souligné que la recherche interdisciplinaire est entravée par les frontières institutionnelles qui existent habituellement entre les disciplines. Nous constatons, en effet, que l'intégration des chercheurs ayant des fonds disciplinaires différents à l'intérieur d'une unité de recherche commune stimule la diversité de la production scientifique individuelle.

La structure de financement du laboratoire affecte également la propension à entreprendre la recherche interdisciplinaire. Nous constatons que le financement public récurrent n'a aucun impact tandis que le financement contractuel, des sources privées et publiques, a des effets significatifs et positifs. Quand leur laboratoire attire une plus grande quantité de financement non récurrent, les chercheurs tendent à effectuer une recherche plus interdisciplinaire. Des agences de financement aussi bien que des sociétés privées tendent à être intéressées davantage par les approches de résolution de problèmes. Les chercheurs dans les laboratoires ayant établi des canaux à de telles ressources sont susceptibles de s'engager plus dans les applications orientées et les approches de résolution de problèmes, et ainsi dans la recherche interdisciplinaire.

Finalement, la recherche interdisciplinaire n'est pas uniformément encoura-

gée, facilitée et faisable parmi toutes les disciplines scientifiques (Ziman 1997). D'ailleurs, la comptabilité d'une telle interdisciplinarité n'est également pas uniforme pour toutes les disciplines. Une illustration évidente de ce phénomène est, par exemple, la différence extrême dans le nombre de sous-divisions dans les Mathématiques et les Sciences Médicales (Qin *et alii* 1997). En conséquence, l'intensité des interactions interdisciplinaires pourrait différer d'une discipline scientifique à l'autre. Nous avons contrôlé ces différences et la plupart des variables indicatrices de disciplines sont significatives.

2.5 Conclusion

La recherche interdisciplinaire a suscité beaucoup d'attention dans la littérature ces dernières années. Pourtant, il n'y avait aucune analyse systématique des causes déterminantes de l'exercice de la recherche interdisciplinaire.

Dans ce chapitre, nous proposons d'abord deux mesures d'interdisciplinarité : le degré de multidisciplinarité d'un laboratoire comme diversité des affiliations institutionnelles des chercheurs et le degré d'interdisciplinarité d'une production scientifique du chercheur comme la diversité de ses articles selon les domaines dans lesquels ils ont été publiés. Ensuite, nous étudions les facteurs qui influencent la propension à entreprendre la recherche interdisciplinaire. Cette étude concerne une population de plus de neuf cents chercheurs académiques qui ont été employés par l'Université Louis Pasteur (Strasbourg 1) au cours de la période 1993-2000.

Nous trouvons quelques évidences spécifiques des désincitations ou des incitations négatives impliquées par les systèmes académiques de récompense et de promotion sur la recherche interdisciplinaire. Les jeunes (et non-promus) chercheurs qui sont plus inclinés à répondre aux incitations académiques (parce qu'ils sont susceptibles d'être retardés dans leur carrière) ne s'engagent pas particulièrement dans le travail interdisciplinaire (ou tendent à délaissé cet exercice). Ceci tend à indiquer que la tension traditionnelle entre le travail "problem-driven" interdisciplinaire et la structure de carrière académique basée sur la monodisciplinarité persiste toujours.

Les normes d'originalité et la nécessité à publier dans les journaux disciplinaires recommandés, sur lesquelles sont basés les critères principaux pour la promotion des chercheurs, encouragent le travail disciplinaire avec des ma-

tières et des méthodes étroites et découragent l'acquisition de la connaissance d'autres disciplines. Les mécanismes de récompense tendent à favoriser des projets dessinés avec les buts spécifiques qui doivent être réalisés au cours de périodes courtes. Le manque de temps et le gros risque lié à de tels projets, alors que les jeunes chercheurs ont besoin d'un certain succès immédiat, créent une barrière d'entrée pour de jeunes chercheurs dans de tels programmes interdisciplinaires. Ceci est conforme à notre résultat indiquant que les chercheurs à temps plein sont susceptibles d'avoir plus de programmes de recherche interdisciplinaires : détendre la contrainte de temps peut stimuler l'extension des objectifs de la recherche. Par conséquent, c'est plutôt un engagement fort à rechercher qui stimule la recherche interdisciplinaire.

Si le système de recherche universitaire est composé d'une série de scientifiques hétérogènes ayant des logiques cognitives différentes, alors l'interdisciplinarité posera à l'université un redoutable problème : comment coordonner les activités de recherche des scientifiques afin de trouver une combinaison satisfaisante entre les recherches disciplinaire et interdisciplinaire ? Le résultat dépendra crucialement de la répétitivité et de l'habitude de coordination des scientifiques. Ce sont les routines acquises par les scientifiques au cours de leurs interactions qui permettent la cohérence des décisions (Coriat et Weinstein 1995).

Les résultats empiriques montrent qu'un environnement multidisciplinaire de recherche stimule fortement l'interdisciplinarité individuelle. Même si avoir des disciplines multiples fonctionnant côte à côte dans des unités de recherche ne conduit pas toujours à la recherche interdisciplinaire, nous reconnaissons néanmoins que cela facilite cette dernière.

Ils montrent également que les chercheurs tendent à tirer bénéfice des expériences des collègues de travail (par l'âge des collègues) pour entreprendre des objectifs de recherche diversifiés. La diversité disciplinaire des membres de l'unité de recherche et la densité de la communication sont ainsi les clés pour la recherche interdisciplinaire (Gibbons *et alii* 1994).

La connection avec l'industrie, à la fois par la co-publication ou par la réception des fonds privés, est fortement corrélée avec la recherche interdisciplinaire. Ceci tend à corroborer l'idée suggérée par Foray et Gibbons (1996) selon laquelle les agendas et la sensibilité interdisciplinaires de recherche aux applications par des approches de résolution de problèmes sont fortement connectés.

Les estimations indiquent que le financement contractuel, quelles qu'en soient les sources (privées ou publiques), stimule la recherche interdisciplinaire tandis que le financement récurrent n'est pas significatif. Ce résultat confirme l'influence des structures de financement du laboratoire sur la propension à effectuer une recherche interdisciplinaire comme fortement mis en évidence dans la littérature (Ziman 1994, Caswill 1997, Schild *et alii* 2002). Le financement contractuel tend ainsi à élargir la portée des objectifs académiques de recherche. Les besoins sociaux véhiculés par un tel financement tendent à favoriser la flexibilité des chercheurs dans le choix de la méthodologie de recherche aussi bien que dans l'attribution de leur capacité d'attention. Ceci corrobore la thèse de Joly et Mangematin (1996) selon laquelle le financement du laboratoire et ses relations avec les industries et autres organisations de recherche sont étroitement liés à la nature de la production scientifique.

Chapitre 3

Aspects interdisciplinaires des brevets universitaires

Dans ce chapitre, nous évaluons l'aspect interdisciplinaire des brevets déposés par l'université. Nous proposons d'abord une mesure d'interdisciplinarité de brevet en utilisant les disciplines des inventeurs universitaires et puis nous analysons l'impact des variables individuelles et variables caractéristiques du laboratoire sur cette mesure d'interdisciplinarité. Les résultats montrent que la taille d'une équipe de brevet explique l'intensité de co-invention interdisciplinaire. Il y a une corrélation positive entre le degré de multidisciplinarité du laboratoire et l'interdisciplinarité dans le brevet. De plus, la structure d'âge des inventeurs a un effet sur la co-invention interdisciplinaire qui change selon l'âge maximal et minimal d'une équipe du brevet. En même temps, les résultats montrent qu'un brevet est plus interdisciplinaire lorsqu'il est réalisé avec la coopération internationale ou juste avec la coopération régionale. Nos résultats suggèrent que pour améliorer la recherche interdisciplinaire, il faudrait agir sur des facteurs comme la composition multidisciplinaire des laboratoires de recherche, la mobilité des chercheurs des différents établissements, la flexibilité des structures de recherche. Par ailleurs, les politiques scientifiques devraient tenir compte du problème d'hétérogénéité entre disciplines, notamment celui lié à la nature des activités scientifiques.

¹⁰Ce chapitre est tiré de Nguyen Thi (2004), "Interdisciplinary aspects in university patents. The case of the University Louis Pasteur", mimeo BETA, Université Louis Pasteur.

3.1 Introduction

La nouvelle économie de la science dont Dasgupta et David (1994) est un pionnier, analyse les configurations institutionnelles, des règles et des normes des systèmes scientifiques qui affectent les comportements des chercheurs et ainsi l'organisation pertinente de la science (Stephan 1996). L'analyse de la recherche interdisciplinaire et des conditions qui soutiennent l'interdisciplinarité semble donc tout à fait appropriée d'un point de vue politique et analytique. Ainsi, mesurer et évaluer l'interdisciplinarité deviennent une source d'étude de plus en plus développée dans la littérature.

Le point de départ de notre étude est l'hypothèse selon laquelle les brevets universitaires contribuent à la tendance de développement de l'interdisciplinarité, au même titre que les publications scientifiques. Cependant, il n'y a pas d'évidence empirique de l'existence de collaboration interdisciplinaire dans les brevets universitaires. La collaboration interdisciplinaire est, en effet, généralement analysée sur la base des données de publications scientifiques, des citations, de références ou à travers des programmes de recherche scientifique. Les brevets sont rarement employés en tant que support pour analyser l'interdisciplinarité d'un système de recherche universitaire.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer les aspects interdisciplinaires des brevets déposés par l'Université en examinant le réseau de la collaboration interdisciplinaire entre les inventeurs employés par la même Université (intra-université). Nous avons à l'esprit, quand il s'agit de mesurer les réseaux sociaux de la recherche interdisciplinaire, qu'une base de données de brevets universitaires peut être utile, d'autant que beaucoup d'inventions sont les résultats d'un travail d'équipe. Par conséquent, nous proposons de nous servir d'un autre indicateur basé sur des disciplines des inventeurs dans des brevets d'Université contenant au moins un inventeur appartenant à l'Université Louis Pasteur (ULP). Puisqu'il est impossible d'avoir l'ensemble des données biographiques pour des inventeurs en dehors de l'Université étudiée, nous étudions exclusivement le réseau de la recherche interdisciplinaire au niveau d'intra-université puisque seulement des inventeurs appartenant à cette même Université sont pris en considération pour calculer le degré d'interdisciplinarité.

Nous mesurons d'abord l'interdisciplinarité des brevets en regardant la composition des disciplines de l'équipe d'invention de chaque brevet. Plus

précisément, nous déterminons les disciplines des inventeurs et le nombre de collaborations impliquant au moins un inventeur d'ULP de différentes disciplines. Dans un deuxième temps, une spécification économétrique simple est utilisée pour évaluer quelques hypothèses concernant la corrélation entre le degré d'interdisciplinarité d'un brevet et les variables telles que le statut académique, l'âge de l'inventeur, la taille de l'équipe d'invention, la géographie des co-inventeurs, ainsi que les caractéristiques du laboratoire comme la taille et le degré de multidisciplinarité du laboratoire.

Ce chapitre est organisé comme suit. La section 3.2 présente les données et un nouvel indicateur d'interdisciplinarité. La section 3.3 discute et le modèle économétrique et les résultats d'estimation. La section 3.4 conclut le chapitre.

3.2 Données et variables

3.2.1 Données

Les données sont de mêmes sources que celles utilisées dans les chapitres 1 et 2. Nous employons les brevets déposés par l'ULP de 1970 à 2000. Comme nous collectionnons les données biographiques des inventeurs de l'ULP à partir des rapports quadriennaux, quelques inventeurs qui ne figurent pas dans cette base de personnels ne sont pas pris en considération, même s'ils appartiennent à l'ULP. La base de données finale contient 234 brevets. Elle contient les informations telles que la date d'application du brevet, les noms d'inventeurs, les adresses et les laboratoires d'appartenance des inventeurs universitaires. Les disciplines des inventeurs de l'ULP sont déterminées de la même manière que dans les chapitres 1 et 2 (voir l'Annexe B).

Dans le Tableau 3.1 et la Figure 3.1, nous observons les fréquences très différentes de brevets selon les différentes disciplines. Les scientifiques de Sciences de la vie participent davantage aux activités d'invention que les scientifiques de la Chimie ou de la Physique.

Presque 46% de brevets sont inventés par des équipes de recherche avec au moins deux inventeurs de l'ULP (Figure 3.2.3). En particulier, il y a 64% de collaborations interdisciplinaires au niveau intra-universitaire (collaboration des scientifiques appartenant à l'ULP) parmi ces collaborations. Au moins 25% de ces collaborations interdisciplinaires peut être caractérisé de "small interdisciplinarity", particulièrement en Sciences de la vie, car il y a une forte

TAB. 3.1 – Fréquences des disciplines dans les brevets de l'ULP

Disciplines	Grandes disciplines	Fréquences
Chimie du solide, matériaux	Chimie	1
Chimie physique et chimie analytique	Chimie	31
Chimie moléculaire : synthèse, propriétés	Chimie	38
Physique théorique, optique, physique des constituants élémentaires et physique des milieux dilués	Physique	17
Physique des milieux denses, matériaux	Physique	9
Sciences et Technologies de l'Information : électronique, photonique, optronique	Sciences pour l'Ingénieur	27
Energétique, mécanique des milieux fluides, génie des procédés	Sciences pour l'Ingénieur	3
Médecine et Odontologie	Médecine	38
Milieux naturels : Terre, Océan, Atmosphère	Sciences de l'Univers	6
Biologie cellulaire, biologie des organismes, sciences médicales et alimentation	Sciences de la vie	111
Neurosciences	Sciences de la vie	17
Biochimie et biologie moléculaire	Sciences de la vie	90
Thérapeutique et médicaments	Sciences de la vie	33
Total : 13	6	421

FIG. 3.1 – Fréquences de brevets selon les grandes disciplines

tendance de co-invention entre les scientifiques des disciplines appartenant à la même grande discipline (cf. chapitre 1). Nous pouvons toutefois observer les collaborations de type "big interdisciplinarity" entre les grandes disciplines, par exemple entre la Physique et les Sciences de la vie. Les scientifiques des disciplines telles que la Chimie ou les Sciences d'ingénieur sont les moins impliqués dans la co-invention intra-universitaire.

3.2.2 Variables collectives

- *Degré de multidisciplinarité.* Le degré de multidisciplinarité d'une équipe d'invention est différent de celui du laboratoire présenté dans le chapitre 1. Il est défini ici par le nombre de disciplines présentes dans chaque laboratoire. Par exemple, quand un brevet implique deux laboratoires de l'ULP : le premier a deux chercheurs appartenant aux disciplines a et b et le second a deux chercheurs appartenant aux disciplines a et c, le degré de multidisciplinarité des laboratoires impliqués dans ce brevet est alors 3 (a, b, c).

Il est important de préciser qu'une équipe multidisciplinaire n'implique pas toujours la collaboration interdisciplinaire entre ses membres. Néanmoins il semble que cette composition multidisciplinaire constitue la première condition préalable primordiale pour l'interdisciplinarité. En effet, la proximité géographique, culturelle et méthodologique facilitent la communication et le partage

FIG. 3.2 – Degré de multidisciplinarité au niveau départemental

de connaissances, et peuvent donc améliorer le développement de l'interdisciplinarité (Ziman 1997). La Figure 3.2.2 montre le degré de multidisciplinarité au niveau départemental. Nous observons que la Chimie est le département le plus ouvert en termes d'interdisciplinarité. Les départements de la Physique et des Sciences d'ingénieur ont également un niveau multidisciplinaire élevé. Le département des Mathématiques est le moins multidisciplinaire.

- *Probabilité de grande taille.* La probabilité de grande taille est définie comme le rapport entre le nombre de laboratoires ayant au moins dix sept chercheurs (c'est la taille moyenne des laboratoires de l'ULP considérés) et du nombre total de laboratoires de l'ULP présents dans chaque brevet.

3.2.3 Variables individuelles

- *Titres académiques.* Le système de recherche de l'ULP est caractérisé par un niveau élevé de diversité institutionnelle et biographique, étant donné qu'il compte parmi ces personnels des chercheurs d'autres organismes que l'Université tels que le CNRS ou l'INSERM. Afin d'évaluer l'impact de cette diversité sur l'interdisciplinarité du brevet, nous employons des titres académiques des chercheurs : *PR* (professeurs, y compris des chercheurs d'hôpitaux universitaires), *AP* (maîtres de conférence), *DR* ou *AR* (respectivement directeur de recherche ou chargé de recherche du CNRS ou de l'INSERM).

- Nous définissons également d'autres variables décrivant les cas où il y a la co-invention des chercheurs de différents titres académiques : *MIXPR* pour la co-invention entre maîtres de conférence et professeurs ; *MIXDR* pour la co-invention entre directeurs et chargés de recherche et *MIXTI* pour la collaboration entre professeurs (ou/et maîtres de conférence) et directeurs de recherche (ou/et chargés de recherche). Les statistiques montrent que la distribution de fréquences change beaucoup selon les titres académiques : 46% de brevets impliquent la participation des directeurs de recherche, 22% celle des chargés de recherche, 8% celle des maîtres de conférence et 23% celle des professeurs. Selon ces statistiques, la relation entre le titre académique et le degré d'interdisciplinarité du brevet n'est pas claire. Nous nous attendons néanmoins à une corrélation entre eux pour les raisons suivantes :

D'abord, selon le titre académique, les missions des chercheurs changent considérablement. Les chercheurs universitaires n'ont pas seulement une mission de recherche, mais également celle de l'enseignement ou les missions administratives. D'ailleurs, ils sont contraints par les normes sociales et culturelles propres à l'université (cf. chapitre 1). Les chercheurs non-universitaires peuvent consacrer la totalité de leur temps à la recherche. Par conséquent, les agendas de recherche de ces deux catégories des chercheurs peuvent être très différents.

D'autre part, le titre académique pourrait représenter les expériences professionnelles et l'âge de carrière des scientifiques. Plusieurs études empiriques soutiennent le concept de l'effet cumulatif ou l'effet de Matthew selon lequel il est plus facile pour les chercheurs ayant une bonne réputation scientifique de recevoir plus d'opportunités et de ressources matérielles pour mener la recherche. L'intensité de la recherche interdisciplinaire pourrait donc différer selon les catégories de chercheurs : juniors (maître de conférence et chargé de recherche) et seniors (professeurs et directeurs de recherche). En effet, les critères principaux pour la reconnaissance et la promotion des chercheurs sont généralement basés sur les normes de l'originalité et de la publications des articles dans les journaux disciplinaires recommandés ou encore sur le nombre de co-auteurs et la qualité des articles mesurée par le nombre de citations. Ces normes encouragent la fréquence du travail disciplinaire dans des matières spécialisées et découragent l'acquisition de connaissances émanant d'autres disciplines. Les chercheurs, particulièrement les plus jeunes, ne sont pas intéressés à participer aux groupes de recherche interdisciplinaires parce qu'un tel travail peut être

FIG. 3.3 – Taille de l'équipe d'invention

long et risqué en termes de carrière.

De plus, en raison du plus grand caractère concurrentiel du financement de recherche et des exigences élevées de succès, les centres ou les unités d'excellence attirent habituellement de bons scientifiques où ils peuvent facilement réussir, favorisés par les bonnes conditions de travail. L'accumulation de connaissances, d'expériences lui permettent donc de gagner plus d'attractivité et plus de crédibilité afin d'obtenir d'autres fonds pour la recherche future (David, 1994 ; Geuna, 1999). Par conséquent, la performance accumulée de certains chercheurs et la concentration des ressources sur les établissements prestigieux peuvent expliquer la situation où les scientifiques ayant moins d'expériences dans la collaboration interdisciplinaire ne sont pas formés pour entamer la recherche en collaboration avec d'autres disciplines. Il y a ainsi un effet d'apprentissage qui dépend fortement du statut académique et de l'expérience des chercheurs.

- *Âge des inventeurs.* *AGEMAX* (l'âge maximal) et *AGEMIN* (l'âge minimal) sont déterminés en employant respectivement l'âge maximal et l'âge minimal des co-inventeurs du brevet. Dans notre cas, la dispersion d'âge parmi des inventeurs est importante. En moyenne, ils ont 48 ans. Les études empiriques sur la relation d'âge/interdisciplinarité emploient habituellement les arguments tels que les expériences et les opportunités d'acquérir des ressources

pour expliquer l'interdisciplinarité (Rebné 1990). Nous essayons d'évaluer cette hypothèse pour le cas de l'interdisciplinarité du brevet.

- *Nombre de laboratoire. NBLAB* (le nombre de laboratoires) est déterminé par le nombre de laboratoires d'ULP présents dans chaque brevet. Un brevet peut être inventé par deux scientifiques venant de deux disciplines différentes mais appartenant au même laboratoire. Employer cette variable nous permet d'évaluer l'hypothèse selon laquelle la délimitation institutionnelle telle que celle du laboratoire aurait un impact sur l'interdisciplinarité des activités d'invention. Nous avons à l'esprit l'idée que lorsque les inventeurs appartiennent au même laboratoire, le contact direct et la facilité de communication encouragent l'émergence des projets de recherche interdisciplinaire. Dans un tel environnement, les initiatives interdisciplinaires émergent et conduisent aux projets communs (Avital et Collopy 2001).

De plus, la recherche interdisciplinaire n'est pas encouragée et développée de la même manière dans toutes les communautés scientifiques. Cette diversité est expliquée par le fait que certaines disciplines ont besoin de grands laboratoires avec les instruments complexes, et de plus de collaborations avec les chercheurs de différentes origines disciplinaires afin de mener à bien leur recherche. De plus, les distances cognitives entre les disciplines ont également un impact important sur l'intensité du travail interdisciplinaire. Il y a également de grandes différences entre communautés scientifiques en terme de formalité et d'organisation, de l'objectif de recherche (Klein 1996). Voir si le nombre de laboratoires présents dans le brevet est corrélé avec le degré d'interdisciplinarité permet de voir si un laboratoire a une structure rigide avec une dominance disciplinaire forte.

- *Géographie des inventeurs*. La variable sur la géographie des inventeurs est divisée en quatre catégories : *REGION* (invention ou co-invention des scientifiques venant de la région Alsace, même s'ils n'appartiennent pas à l'ULP) ; *MIXNATION* (co-invention entre inventeurs nationaux et régionaux), *MIX-WORLD* (co-invention entre inventeurs internationaux et régionaux), *MIX-GEO* (co-invention entre inventeurs internationaux, nationaux et régionaux)(voir Figure 3.2.3.

- *Probabilité de présence féminine (PROWO)* Dans notre échantillon considéré, la part des inventeurs féminins est seulement de 12%. Néanmoins, il nous semble intéressant d'examiner la relation entre la probabilité de présence

FIG. 3.4 – Géographie des inventeurs

féminine dans une équipe d'invention et l'interdisciplinarité d'un brevet.

Le genre des scientifiques est souvent employé pour expliquer la performance de production de connaissances. Rebné (1990) utilise les données biographiques de l'institut de recherche de l'Education Supérieure (UCLA) pour étudier la performance des scientifiques. Ses résultats corroborent l'hypothèse selon laquelle la performance des femmes change selon les disciplines. Par contre, Vasil (1996) constate que les femmes sont moins productives que les hommes. Ces résultats sont souvent expliqués par le fait que les femmes ont des responsabilités plus domestiques, ce qui réduit leur engagement dans les projets de collaboration de recherche.

Cependant, la corrélation entre la coopération interdisciplinaire et le genre des chercheurs est rarement examinée. Récemment, en employant le pourcentage moyen du temps de recherche consacré aux projets de recherche interdisciplinaires, l'auteur du projet "Women Conduct More Interdisciplinary Research" (Boddington 1999) met en évidence la tendance d'une interdisciplinarité plus forte de la recherche menée par les femmes que celle menée par les hommes. Par ailleurs, ceci est justifié presque dans tous les domaines de recherche, excepté celui de l'Ingénierie où seulement 10% d'employés académiques sont des femmes.

- *Taille de l'équipe.* La variable *SIZE* (la taille d'équipe) est mesurée par

TAB. 3.2 – Description des variables

Variables	Description
<i>PROBIGSIZE</i>	Probabilité qu'un laboratoire contienne plus que 70 chercheurs
<i>MULTI</i>	Degré de multidisciplinarité du laboratoire
<i>NBLAB</i>	Nombre de laboratoires d'ULP présents dans chaque brevet
<i>SIZE</i>	Taille de l'équipe d'invention - nombre d'inventeurs dans chaque brevet
<i>PROWO</i>	Pourcentage des femmes dans chaque brevet
<i>AGEMAX</i>	Age maximal des inventeurs dans chaque brevet
<i>AGEMIN</i>	Age minimal des inventeurs dans chaque brevet
<i>REGION</i>	Inventeur régional
<i>MIXNATION</i>	Equipe d'invention combinant des inventeurs régionaux et nationaux
<i>MIXWORLD</i>	Equipe d'invention combinant des inventeurs régionaux et internationaux
<i>MIXGEO</i>	Equipe d'invention avec inventeurs régionaux, nationaux et internationaux
<i>AP</i>	Maître de Conférence (MC)
<i>PR</i>	Professeur
<i>AR</i>	Chargé de recherche (CNRS et INSERM)
<i>DR</i>	Directeur de recherche (CNRS et INSERM)
<i>MIXPR</i>	Equipe d'invention combinant les professeurs et les MC
<i>MIXDR</i>	Equipe d'invention combinant les directeurs et les chargés de recherche
<i>MIXTI</i>	Equipe d'invention combinant les professeurs (MC) et les directeurs de recherche (Chargés de recherche)

le nombre absolu d'inventeurs (ULP y compris et d'autres inventeurs) d'un brevet. Si la taille du brevet est grande, il est probable que plusieurs inventeurs de l'ULP participent à l'invention et ainsi le brevet est susceptible d'être interdisciplinaire. Cependant, la Figure 3.2.3 montre que ce rapport n'est pas toujours vérifié. Elle représente le pourcentage des brevets selon la taille des équipes d'invention. Nous observons que tandis que presque 42% d'applications de brevet impliquent la participation d'un inventeur de l'ULP, seulement 5% parmi ces applications impliquent les inventeurs isolés de l'ULP. D'ailleurs, alors que les équipes composées de 4 à 5 inventeurs sont plus fréquentes et occupent 32% de l'ensemble de brevets considérés, il y a seulement 4% de brevets dont l'équipe est composée de 4 ou 5 inventeurs de l'ULP. Il est important de noter que dans l'échantillon considéré, il n'y a pas d'équipes composées de plus de 6 inventeurs de l'ULP. Par contre, presque 26% des brevets considérés sont faits avec plus de 6 inventeurs. Ceci semble montrer que la taille de l'équipe et le nombre d'inventeurs de l'ULP présents dans chaque brevet ne sont pas nécessairement dépendants.

Le tableau 3.2 résume ces variables explicatives.

3.2.4 Mesure d'interdisciplinarité du brevet

Nous définissons le niveau d'interdisciplinarité d'un brevet déposé par l'université en utilisant le nombre absolu des disciplines d'inventeurs de l'ULP présents dans chaque brevet. Cette étude est limitée au niveau intra-universitaire car nous étudions uniquement le réseau de co-invention des inventeurs appartenant à l'ULP. Par conséquent, nous tenons seulement compte des inventeurs qui sont dans la base biographique issue du rapport quadriennal de 1996 des laboratoires de l'ULP. Ceci est une limite liée au manque d'informations sur les disciplines d'inventeurs qui ne sont pas membres de l'ULP. Les données concernent six disciplines scientifiques : Sciences de la Terre et de l'Univers, Médecine, Sciences de la vie, Physique, Sciences d'ingénieur et la Chimie.

La Figure 2 montre que les degrés annuels moyens d'interdisciplinarité sont très hétérogènes. Il est le plus bas pour 1994, où le degré moyen d'interdisciplinarité des brevets est égal à 1,2, et le plus élevé pour 1996 où le degré moyen est égal à 1,4. Sur l'ensemble des cas étudiés, 28% des brevets sont interdisciplinaires.

FIG. 3.5 – Degré moyen d'interdisciplinarité par année

3.3 Modèle économétrique et résultats d'estimation

Modèle économétrique

Nous supposons que les variables explicatives sont linéairement indépendantes. Nous adoptons une spécification linéaire simple afin de comprendre comment le degré d'interdisciplinarité d'un brevet est influencé par les variables décrites ci-dessus. Considérons le modèle suivant :

$$INTERPAT_i = f(MULTI, NBLAB, SIZE, GEOINV, PROWO, AGEMAX, AGEMIN, TITLE, PROBIGSIZE, Cons) \quad (3.1)$$

où $INTERPAT_i$ est le degré d'interdisciplinarité du brevet i . Nous présentons les résultats d'estimation dans le Tableau 3.3.

Résultats d'estimation

La probabilité que le brevet soit interdisciplinaire augmente avec le degré de multidisciplinarité du laboratoire. Toutefois, le coefficient reste faible.

TAB. 3.3 – Résultats d'estimation

Variables	Coef.	t-stat
<i>PROBIGSIZE</i>	-0,096	-1,5
<i>MULTI</i>	0,080	3,8
<i>NBLAB</i>	0,353	5,8
<i>SIZE</i>	0,014	0,8
<i>PROWO</i>	0,143	1,3
<i>AGEMAX</i>	0,016	3,8
<i>AGEMIN</i>	-0,013	-3,4
<i>REGION</i>	0,211	3,4
<i>MIXWORLD</i>	0,153	2,2
<i>MIXGEO</i>	0,165	1,6
<i>PR</i>	0,075	0,6
<i>AR</i>	0,121	0,9
<i>DR</i>	0,046	0,4
<i>MIXPR</i>	-0,146	-0,7
<i>MIXDR</i>	-0,056	-0,4
<i>MIXTI</i>	0,325	2,5
<i>CONSTANT</i>	0,027	0,1

Notes : Les valeurs significatives sont écrites en noir.

La taille de l'équipe du brevet n'a pas d'impact sur la composition interdisciplinaire de l'équipe du brevet. Ce résultat est intuitif. Il vérifie les observations de statistiques descriptives ci-dessus, à savoir que la taille d'équipe et le nombre d'inventeurs de l'ULP ne sont pas corrélés.

La probabilité de présence féminine n'est pas non plus corrélée avec le degré d'interdisciplinarité du brevet. Ce résultat peut être expliqué par le fait que, dans l'échantillon considéré, les femmes restent très minoritaires et représentent que 12% de tous les inventeurs de l'ULP. Dans ce cas, ce résultat d'estimation doit être interprété avec prudence.

Les résultats suggèrent également que l'âge minimal semble avoir un effet négatif et significatif sur l'interdisciplinarité. Par contre, l'âge maximal d'une équipe d'invention a un impact positif sur l'interdisciplinarité du brevet.

La probabilité que les laboratoires soient de grande taille (ayant au moins dix-sept chercheurs) n'explique pas l'intensité d'interdisciplinarité dans les brevets universitaires. En effet, nous avons observé dans le Tableau 3.1 que les

activités d'invention et la taille de l'équipe diffèrent considérablement d'un laboratoire à l'autre. Cette caractéristique structurale explique en partie le résultat obtenu.

Parmi les variables concernant le titre académique de l'inventeur, seule la variable *MIXTI* est fortement significative avec un coefficient positif. Les autres variables (maître de conférence, chargé de recherche, professeur et directeur de recherche) ne sont pas corrélées avec l'intensité de l'interdisciplinarité du brevet.

Les résultats montrent également que la co-invention régionale et celle impliquant les inventeurs régionaux et internationaux semblent avoir des effets positifs sur l'interdisciplinarité. Les coefficients sont significatifs et relativement élevés. Par contre, le coefficient de la variable qui exprime la co-invention entre inventeurs nationaux, internationaux et régionaux et celui entre national et régional ne sont pas significatifs. La corrélation positive entre la composition interdisciplinaire de l'équipe de brevet et le co-brevetage entre les inventeurs régionaux et internationaux suggère deux remarques. Premièrement, quand le brevet est internationalisé puisqu'il y a participation au moins d'un inventeur international, plus d'un inventeur d'ULP sont impliqués dans l'invention. Deuxièmement ils viennent de différentes disciplines.

3.4 Conclusion

Les enjeux de la recherche interdisciplinaire sont bien connus. Comme l'a souligné Ziman (1994, 1997), il en résulte une remise en cause de l'organisation traditionnelle des établissements d'enseignement supérieur et des organismes de recherche. Plusieurs auteurs étudient les mécanismes de la collaboration interdisciplinaire, les compétences et connaissances nécessaires ainsi que les barrières institutionnelles et cognitives qui influencent le développement de l'interdisciplinarité. Bien que les brevets universitaires soient issus de la production de connaissances de l'université, très peu d'études les utilisent afin d'étudier le niveau de collaboration interdisciplinaire entre les scientifiques universitaires.

Dans ce chapitre, nous évaluons l'aspect interdisciplinaire des brevets déposés par l'université. Nous proposons d'abord une mesure d'interdisciplinarité de brevet en utilisant les disciplines des inventeurs universitaires et puis nous

analysons l'impact des variables individuelles et variables caractéristiques du laboratoire sur cette mesure d'interdisciplinarité.

Comme l'indiquent nos résultats d'estimation, la taille d'une équipe de brevet explique l'intensité de co-invention interdisciplinaire. Il y a une corrélation positive entre le degré de multidisciplinarité du laboratoire et l'interdisciplinarité dans le brevet. Il semble donc que, pour l'échantillon considéré, un laboratoire composé de scientifiques appartenant à des disciplines différentes s'accompagne d'une augmentation des activités de co-invention interdisciplinaire. De plus, la structure d'âge des inventeurs a un effet sur la co-invention interdisciplinaire qui change selon l'âge maximal et minimal d'une équipe du brevet. L'équipe de brevet ayant un âge moyen d'inventeurs élevé verra un degré d'interdisciplinarité augmenter. En même temps, les résultats montrent qu'un brevet est plus interdisciplinaire lorsqu'il est réalisé avec la coopération internationale que juste avec la coopération régionale. En outre, une équipe de brevet composée de scientifiques de différents titres académiques augmente la probabilité qu'un brevet soit interdisciplinaire.

Nos résultats suggèrent que pour améliorer la recherche interdisciplinaire, il faudrait agir sur des facteurs comme la composition multidisciplinaire des laboratoires de recherche, la mobilité des chercheurs des différents établissements, la flexibilité des structures de recherche. Par ailleurs, les politiques scientifiques devraient tenir compte du problème d'hétérogénéité entre disciplines, notamment celui lié à la nature des activités scientifiques. Les structures de recherche de l'ULP sont caractérisées d'une part par le "small interdisciplinarity" (Schmoch *et alii* 1994) où il y a une division de travail excessive même au sein de chaque discipline. Les Sciences de la vie illustre ce type d'interdisciplinarité. D'autre part, les collaborations de type "big interdisciplinarity" sont dominants à l'ULP, en particulier entre la Physique et les Sciences de la vie. Les scientifiques, dans les disciplines telles que la Chimie et les Sciences d'Ingénieur, sont par contre moins impliqués dans les activités de co-invention au niveau intra-universitaire.

L'indicateur d'interdisciplinarité déterminé dans cette étude peut être utile pour étudier la nature des réseaux de co-invention des scientifiques au sein même d'une université. Cependant, elle présente quelques limitations. D'abord, nous avons déterminé les disciplines des inventeurs de l'ULP en utilisant la nomenclature d'OST de 1996 tandis que celle-ci a été modifiée entre temps. Ce

changement peut créer des problèmes liés à l'analyse dynamique d'interdisciplinarité. De plus, l'échantillon considéré est relativement petit, en raison du manque d'information biographique sur tous les inventeurs de l'ULP. Une étude plus structurée employant un plus grand échantillon de brevets est donc nécessaire afin que plus d'éléments de réponse soient obtenus.

Chapitre 4

Modèle analytique de la collaboration interdisciplinaire

Dans ce chapitre, nous mettons en évidence l'importance des processus de communication et d'incitation à l'interdisciplinarité, considérés comme deux dimensions importantes du modèle d'interaction. Nous analysons le système de recherche universitaire en tant qu'ensemble de communautés scientifiques ayant des structures organisationnelles, institutionnelles, des compétences et des histoires différentes. Nos résultats suggèrent que la disciplinarité, la pluridisciplinarité et l'interdisciplinarité co-existent et constituent les sources complémentaires à la production de connaissances et au processus d'innovation. De plus, l'interdisciplinarité ne se développe pas nécessairement dans un environnement d'impulsions technologiques et un contexte d'application n'implique pas forcément des interactions interdisciplinaires entre chercheurs. Ce résultat important contredit plusieurs études dans la littérature en révélant la compatibilité entre la recherche interdisciplinaire et le contexte de recherche purement scientifique. En outre, il existe une tendance à la concentration des interactions interdisciplinaires sur quelques communautés ayant des structures de communication solides et des mécanismes d'incitation forte. Cette conclusion corrobore la thèse selon laquelle la force de la compétition, basée sur l'excellence, implique une concentration de la recherche dans des unités d'excellence. Cette logique pourrait créer une persistance asymétrique en termes de capacités de mener la recherche interdisciplinaire et implique l'endogénéisation de l'interdisciplinarité aux systèmes de recherche et d'innovation.

4.1 Introduction

La production de connaissances scientifiques dépend des structures organisationnelles et institutionnelles des communautés scientifiques, les observer permet donc de comprendre comment sont générés et construits les projets thématiques, ce qui définit la nature de la recherche. Callon (1994) postule que la reconnaissance de la diversité des activités de recherche est la première étape dans l'identification de laboratoires de recherche comme entités constituées. Des études récentes sur les relations entre institutions scientifiques et technologie sont basées sur l'analyse de domaines bien définis de recherche et de technologie et s'appuient sur des études de cas (Schmoch et Meyer-Krahmer 1998 ; Bania *et alii* 1993 ; Meyer-Krahmer 1985).

En se focalisant sur l'aspect contextuel de la production de connaissances, Crow et Bozeman 1987 soulignent que la nature des produits de la recherche dépend plutôt du mode de financement de la recherche que des structures institutionnelles auxquelles ces laboratoires sont rattachés. Afin d'aller au delà de la simple identification des activités de collaboration des laboratoires, Mange-matin et Joly 1996 étudient les caractéristiques des laboratoires de recherche dans une optique dynamique, en se basant sur la production de connaissances scientifiques et technologiques, la visibilité, le type de financement (public ou privé) et l'homogénéité de leurs thèmes de recherche. L'analyse des contrats et du 'survey' de collaboration les conduit à proposer une typologie de laboratoires régis par des logiques de collaboration différents : la logique de proximité géographique, la logique de marché et la logique de club. Malgré ces résultats intéressants sur les caractéristiques, les modes de coordination et les trajectoires d'apprentissage des laboratoires, cette étude est basée uniquement sur les domaines de recherche des plantes et de la biochimie et elle se focalise sur les collaborations globales de recherche dans la mesure où elle ne distingue pas les relations disciplinaires et interdisciplinaires.

L'interdisciplinarité est certes une forme particulière de la collaboration en recherche dans la mesure où elle implique des échanges intellectuels entre des partenaires différents. La causalité entre ces deux catégories semble évidente. Schmoch *et alii* 1994 constatent que le problème de l'interdisciplinarité semble être une barrière majeure à la coopération entre l'université et la technologie. Néanmoins, la recherche interdisciplinaire, impliquant par définition l'interaction de personnes venant de champs disciplinaires différents, est caractérisée

non seulement par la collaboration mais également par un processus d'apprentissage et une évolution dynamique qui sont propres à chaque discipline.

Dans une étude récente sur les publications scientifiques issue des données de la Science Citations Index (SCI), Qin *et alii* 1997 ont montré que les collaborations ont un impact significatif sur le degré d'interdisciplinarité dans certaines disciplines et pas dans d'autres. Par conséquent, si les études récentes sur la coopération entre la science et la technologie fournissent quelques indications sur les formes et l'intensité des interactions, une analyse basée sur le processus d'apprentissage et la structure cognitive propre à chaque discipline est nécessaire pour mieux expliquer l'émergence et les caractéristiques des formes d'interactions interdisciplinaires.

On constate toutefois que très peu de travaux théoriques traitent des questions liées à l'organisation des collaborations interdisciplinaires. Par exemple, Schmoch *et alii* 1994 étudient la coopération interdisciplinaire dans les domaines des lasers médicaux et des réseaux neuronaux en utilisant l'analyse bibliométrique des brevets et des publications scientifiques. Ils évaluent la performance scientifique et technologique de chaque domaine et font une description de leurs structures institutionnelles.

Les résultats de ces études confirment que, même dans un domaine très interdisciplinaire, il y existe une forte tendance à la division de la recherche. Seul un petit groupe d'institutions dans ces deux domaines ont pour objectif d'intégrer l'interdisciplinarité dans leur structure de recherche, et ce sont ces institutions qui jouent un rôle important dans la progression du domaine. Ces observations montrent que la difficulté de promouvoir l'interdisciplinarité du point de vue des institutions académiques se situe au niveau de l'organisation d'un dialogue efficace entre les institutions de différentes disciplines et au niveau du soutien aux risques des projets interdisciplinaires. Cette étude confirme l'analyse théorique postulant que les firmes industrielles connaissent moins de problèmes d'organisation interdisciplinaire que les institutions académiques qui sont confrontées bien souvent à des problèmes d'organisation.

Les structures interdisciplinaires des universités sont beaucoup plus rigides que celles des entreprises industrielles. Par conséquent, la promotion de l'interdisciplinarité par des coopérations externes à ces institutions se heurte à des problèmes de différence de degrés d'interdisciplinarité entre les nouveaux domaines techno-scientifiques et les domaines de recherche de base. Ces conclu-

sions s'appuient pourtant uniquement sur l'étude des domaines spécifiques des lasers médicaux et des réseaux neuronaux qui sont spécifiquement caractérisés par l'émergence d'une communauté techno-scientifique établissant un réseau interdisciplinaire entre les technologues et les acteurs académiques. Les domaines de recherche académiques ne sont donc pas analysés dans cette étude. De même, Gibbons *et alii* (1994) se focalisent uniquement sur l'analyse de l'interdisciplinarité des domaines d'application et d'utilisation de la recherche.

Ce chapitre consiste à développer un modèle analytique des interactions interdisciplinaires.¹¹ Deux types de la recherche interdisciplinaire sont utilisés ici : l'interdisciplinarité épistémologique (interactions entre les disciplines scientifiques) et l'interdisciplinarité stratégique ou praxéologique (interactions entre les scientifiques et les industries) (Mathurin 2002).

Nous nous basons sur l'idée que dans une économie basée sur la connaissance, la recherche scientifique devient de plus en plus contextuelle et fortement dépendante du monde extérieur de la science. Par conséquent, les interactions et les échanges de connaissances dépendent non seulement de la nature des connaissances échangées, mais également de l'environnement et des instruments destinés à favoriser la collaboration entre partenaires venant de disciplines différentes. En effet, quand il y a une collaboration interdisciplinaire entre deux ou plusieurs partenaires, qui leur permet d'acquérir de nouvelles connaissances scientifiques et technologiques, ils s'engagent dans un processus d'apprentissage, local ou organisationnel. La nature de la recherche interdisciplinaire dépend fortement de l'intensité de ce processus d'apprentissage, en particulier l'intensité de la communication.

Adoptant cette même ligne d'analyse, nous nous attachons ici à mettre en évidence les conséquences de la diversité du processus d'apprentissage sur les formes d'interactions interdisciplinaires. Compte tenu de ces spécificités, nous voulons analyser le degré d'intensité d'interdisciplinarité, les structures d'informations et les types de collaboration des partenaires. L'objectif est de montrer analytiquement la complémentarité et la co-évolution de l'ancien mode (disciplinaire) et du nouveau mode (interdisciplinaire) de production des connais-

¹¹Ici, l'interdisciplinarité caractérise la collaboration des partenaires issues des disciplines différentes avec intégration des méthodes, des concepts et des points de vue afin de résoudre un problème complexe. La communication, le dialogue, la négociation et la réflexivité sont intensifs, flexibles et adaptables aux problèmes à résoudre. Les différentes notions d'interdisciplinarité sont présentées dans le Chapitre 1.

sances (Pestre 1997).

Ce chapitre est organisé comme suit. La section 4.2 présente les spécificités des structures de communication et d'incitation. La section 4.3 expose le modèle analytique de collaboration interdisciplinaire pour décrire et expliquer la diversité des structures d'interdisciplinarité et leur caractéristiques. La conclusion est présentée dans la section 4.4.

4.2 Structures d'incitation et de communication

Ce chapitre s'inscrit dans le cadre des modèles d'interactions interdisciplinaires, d'une part, entre les communautés scientifiques qui appartiennent à des disciplines ou des spécialisations différentes et qui sont amenées à travailler ensemble. D'autre part nous nous focalisons sur les caractéristiques des collaborations interdisciplinaires entre les communautés scientifiques et les communautés technologiques dans un système d'innovation.

La "communauté scientifique" est définie comme la distinction sociale et professionnelle d'un groupe des scientifiques, qui travaillent dans leurs domaines respectifs de recherche, organisés en disciplines, facultés ou laboratoires. Ces organisations ont une certaine inertie et résistance à la recherche interdisciplinaire (Stankiewics 1986, Schmoch *et alii* 1994).

La "communauté technologique" est définie comme un groupe de scientifiques, ingénieurs ou industriels qui travaillent ensemble sur un problème technologique. Ils sont en communication, même s'ils sont dispersés organisationnellement ou géographiquement (Rappa et Debackere 1992, Häusler *et alii* 1994, Schmoch *et alii* 1994). Ces communautés appartiennent à des structures organisationnelles où régissent les normes et règles différents qui vont, directement ou indirectement, promouvoir la collaboration de recherche. On constate généralement que les obstacles institutionnels existent et peuvent empêcher la promotion et le développement de collaborations scientifiques. Ces obstacles sont d'autant plus grands qu'il n'y a pas d'intégration entre disciplines scientifiques.

4.2.1 Rôle capital de la communication et des structures d'incitation à l'interdisciplinarité

L'apprentissage, appréhendé comme la transformation des formes de pensées, des représentations ou des connaissances, est envisagé dans un contexte où la résolution du problème s'installe dans l'action. Dans le cas où il y a une collaboration entre deux partenaires, qui leur permet d'acquérir des connaissances scientifiques et technologiques, les partenaires s'engagent dans un processus d'apprentissage, local ou organisationnel. En effet, dans une société où les problèmes sociétaux et environnementaux sont de plus en plus complexes à résoudre, l'interaction avec les autres disciplines ou avec les industries pour développer les compétences stratégiques ou la perfectibilité épistémologique devient primordiale. Grâce à ces relations, les communautés scientifiques renouvellent leurs compétences scientifiques et accèdent aux nouvelles problématiques de la société.

Cette étude met en évidence les processus spécifiques d'apprentissage des communautés scientifiques et technologique, notamment ceux de la communication et des incitations à l'interdisciplinarité. Dans une optique microéconomique et locale où l'Université n'est pas présentée comme unité d'analyse mais comme un ensemble de communautés scientifiques ayant des cultures de recherche différentes, les spécificités structurelles et cognitives sont propres à chaque communauté. Dans ce contexte, les termes d'incitation et de communication décrivent beaucoup plus que la simple conception d'une mise en commun entre partenaires différents.

Les analyser revient à tenir compte du contexte organisationnel - incluant les objectifs des institutions, les structures formelles ou les ressources - et du contexte environnemental caractérisé par les facteurs économiques, les contraintes technologiques, les politiques de recherche, la tendance industrielle ou les comportements compétitifs. Le progrès dans la science et la technologie requiert la considération de plusieurs champs disciplinaires afin de procurer des alternatives à un problème à résoudre. La réussite dépend non seulement de l'identification et de la compréhension du problème, mais également de la capacité d'obtenir les connaissances nécessaires, d'identifier et d'évaluer les contraintes, de nouer les contacts avec les partenaires potentiels à travers des rencontres, de choisir la solution potentielle, etc.

L'interactions entre la science et la technologie, qui s'inscrit dans un pro-

cessus d'innovation, est motivée par l'association de deux organisations ayant des compétences et des structures institutionnelles diverses afin de générer de nouvelles compétences. La perception des liens cognitifs se fait à travers des processus de communication scientifique dont l'intensité dépend du niveau de similarité et de diversité de ces connaissances. La diversité des connaissances des partenaires est une source de richesse des apprentissages, mais elle rend la communication plus difficile. Plus le processus de communication se développe, plus les codes de communication et un langage commun s'installent, et donc plus l'intensité et l'efficacité de la collaboration sont grandes.

Plusieurs études postulent que la communication institutionnalisée sous forme de conférences, workshops, séminaires, ou informelle, représente une des manières de dépasser ces frontières institutionnelles. Elle stipule, d'une part, l'émergence de nouveaux réseaux de collaboration entre chercheurs par la négociation et d'autre part, le développement d'un langage commun entre partenaires potentiels, ce qui facilitera la diffusion et la traduction des connaissances venant de disciplines différentes (Grupp 1994, Laudel et Gläser 1998).

Le choix des structures de communication comme dimension d'analyse se justifie donc par deux arguments : d'une part, la nécessité des interactions personnelles à travers des échanges de connaissances afin de signaler les champs d'intérêt réciproques et identifier les partenaires potentiels et d'autre part, le besoin des partenaires d'articuler les rôles et les responsabilités de chacun et de négocier la répartition des ressources ou la récompense des résultats de la recherche afin d'éviter les conflits éventuels.

Les incitations à la recherche interdisciplinaire sont considérées comme un des facteurs importants qui influent sur l'intensité de l'interdisciplinarité des communautés scientifiques (Dasgupta et David 1994, Laudel et Gläser 1998). Malgré l'encouragement prodigué par les institutions de recherche et le gouvernement à la collaboration interdisciplinaire, des problèmes issus de l'hétérogénéité des institutions partenaires, de la différence d'expertise, de la divergence des mécanismes d'incitation existent et rendent de tels projets de recherche plus risqués (Schmoch *et alii* 1994), moins fréquemment réalisés. Le choix de ces incitations à l'interdisciplinarité comme dimension d'analyse s'explique par le fait qu'à côté des aspects institutionnels des communautés scientifiques, les incitations fortes constituent des conditions primordiales pour la réussite des collaborations.

Les structures d'incitation reflètent le contexte organisationnel des institutions et sont caractérisées, entre autres, par l'allocation de ressources de recherche, le système de récompense des résultats de la recherche, la culture universitaire et industrielle de la collaboration interdisciplinaire ou les objectifs de recherche des institutions, etc. L'analyse des structures des relations interdisciplinaires nécessite la prise en compte des motivations et incitations des institutions dans la mesure où celles-ci constituent les premières conditions à l'émergence de l'interdisciplinarité (Schmoch *et alii* 1994).

Cette étude consiste à mettre l'accent sur le rôle primordial de la communication et des incitations dans le développement de l'interdisciplinarité et à montrer que les structures de l'interdisciplinarité dépendent de la nature du cadre institutionnel et organisationnel dans lequel elle émerge. Les communautés scientifiques ayant une bonne qualité de communication et une forte incitation à la collaboration interdisciplinaire avec les autres communautés scientifiques auront tendance à une forte intensité d'interactions interdisciplinaires qui émergeront dans un contexte scientifique.

Les communautés scientifiques qui ont une forte qualité de communication et une culture d'interactions fortes avec l'industrie auront tendance à une forte interdisciplinarité qui émergera dans un contexte spécifique d'application, conformément à la thèse de Gibbons et ses collègues (1994). Par conséquent, ces sous-systèmes qui font partie d'un système universitaire de production de connaissances ont tendance à co-exister et leur co-évolution permet de reconfigurer dynamiquement les trajectoires thématiques de la recherche universitaire.

4.2.2 Spécificités des mécanismes d'incitation

Les institutions sont organisées de manière différente, ce qui implique la diversité des structures d'incitation (en termes de carrières, de promotion ou de financement) à la collaboration scientifique. Il existe la notion commune qui postule que la science et la technologie suivent des cultures de pensées et de pratiques différentes. Dasgupta et David (1994) soulignent les différences cognitives et méthodologiques entre les scientifiques qui travaillent dans les communautés technologiques ou à l'université, en mettant en évidence des caractéristiques qui sont un élément constitutif de l'émergence des cultures de recherche différentes. En outre, les communautés scientifiques sont marquées

par des degrés très hétérogènes de multidisciplinarité (Qin *et alii* 1997), par l'objectif de la recherche, la taille et la structure organisationnelle ou l'intensité des relations industrielles (Pavitt 2001).

La recherche interdisciplinaire n'est pas encouragée et développée dans tous les domaines scientifiques de la même façon (Ziman 1997). Cette diversité d'incitation à l'engagement à la recherche interdisciplinaire entre les communautés scientifiques peut être expliquée par plusieurs raisons.

- Premièrement, elle est expliquée par la différence des besoins en instruments et installations complexes. Chaque communauté scientifique dispose de moyens et équipements spécifiques dont résultent des différences quant au niveau de la spécificité technique de chaque champs disciplinaire, et des opportunités de développement des interactions externes. L'économie de la science distingue les activités de la recherche nécessitant de grandes installations (concentrées sur un site géographique d'expérimentation), par exemple en physique des particules, et les grands programmes comme la recherche sur le génome (caractérisés par la dispersion géographique des équipes et des installations) (Foray 2000a). Certaines disciplines ont besoin de grands laboratoires avec des instruments d'une complexité extrême et la collaboration de nombreux chercheurs de disciplines différentes pour mener leurs recherches.

- Deuxièmement, la culture communautaire d'une communauté scientifique est un facteur important dans la définition du type et de l'intensité des relations que cette communauté entretient avec son environnement. Les universités ayant des engagements d'investissements à long terme dans des activités purement académiques ont tendance à avoir moins de relations avec l'industrie, et les activités de collaboration se limitent aux institutions scientifiques. Dans ce cas, il est possible que l'interdisciplinarité 'académique' entre les communautés scientifiques prenne le pas sur l'interdisciplinarité 'technologique' à travers des relations des communautés scientifiques avec le monde technologique. Par contre, les institutions qui ont une tradition de relations contractuelles avec les entreprises ou des engagements dans des activités de recherche technologique seront moins rigides vis-à-vis des collaborations interdisciplinaires (Schmoch *et alii* 1994).

- Troisièmement, les incitations individuelles tiennent aussi une place importante dans la variation du degré d'interdisciplinarité. Nous constatons qu'une des sources de collaboration interdisciplinaire est le désir croissant des cher-

cheurs d'améliorer leur visibilité et leur reconnaissance (Freeman 1982) grâce à la fertilisation croisée des disciplines. En travaillant avec les autres disciplines, le capital de connaissances et d'expériences interdisciplinaires d'un chercheur s'améliore, ce qui enrichit et favorise les futures collaborations interdisciplinaires et les capacités de résoudre le problème (Klein 1997, Katz et Martin 1997).

Or, une des difficultés du développement de l'interdisciplinarité réside également au niveau individuel des chercheurs, qui parfois ne sont pas assez réputés pour s'engager dans la recherche interdisciplinaire (Stankiewicz 1986) et connaissent la complexité du processus de collaboration, le risque d'échec d'un tel projet et surtout la difficulté d'obtenir le financement d'une telle recherche, ou les problèmes relatifs à la diffusion des résultats scientifiques.

Ce paradoxe s'explique en grande partie par les principaux critères de promotion des chercheurs qui sont en général basés sur les normes d'originalité et le nombre de publications dans des journaux reconnus, sur le nombre de co-auteurs et de citations de ces publications. Ils encouragent le travail disciplinaire et les méthodes étroitement disciplinaires et découragent l'acquisition de connaissances provenant d'autres disciplines. Comme ces normes et règles varient d'une discipline à l'autre ou d'un laboratoire à l'autre, l'opinion des chercheurs sur la collaboration interdisciplinaire et la recherche dans un contexte d'application reste diverse (cf. chapitre 1).

○ Quatrièmement, les incitations financières à la recherche interdisciplinaire sont inégales (Ziman 1997). Bien que les fonds ne garantissent pas les bons résultats de la recherche, les ressources limitées liées à la stagnation du financement public et à la compétition entre chercheurs empêchent la collaboration entre les chercheurs universitaires et les autres institutions de recherche et l'industrie. Alors que nous observons une tendance croissante au financement privé de la recherche universitaire, ces sources de financement vont d'abord à des équipes très fortes et très renommées sur le plan disciplinaire ; ensuite seulement des projets interdisciplinaires leur sont proposés. Il existe ainsi un effet d'apprentissage qui est lié fortement à l'âge et l'expérience des chercheurs et qui, avec le temps, crée une persistance asymétrique en termes de capacités de mener des recherches interdisciplinaires parmi les chercheurs académiques (David 1994, Geuna 1999) (cf. chapitre 1).

○ Finalement, différentes raisons peuvent être identifiées pour expliquer

pourquoi la culture industrielle influence la nature et le fonctionnement de la collaboration. D'une part, comme les industries et les laboratoires indépendants sont également engagés dans la recherche, la variation de l'intensité de la collaboration interdisciplinaire peut être expliquée par la proximité technologique entre certaines disciplines scientifiques et industries de certains secteurs économiques (Schartinger *et alii* 2002). Pavitt (2001) conclut que l'intensité des transferts de connaissances entre l'université et l'industrie varie beaucoup selon les secteurs d'activités économiques et les champs scientifiques. D'autre part, cette culture industrielle de recherche est fortement marquée par les types de recherche et développement et de processus d'innovation, qui diffèrent selon les secteurs industriels (Schartinger *et alii* 2002). Dans certains domaines avec une tradition forte de recherche et une orientation vers l'innovation radicale, notamment les industries basées sur la science (Meyer-Krahmer et Schmoch 1998), les entreprises ont plus besoin de nouvelles connaissances scientifiques dans leur fonction de production et semblent nouer avec les communautés scientifiques des interactions intensives.

4.2.3 Spécificités du processus de communication

Selon Gibbons et ses co-auteurs (1994), deux facteurs influencent la communication entre les communautés : la mobilité des scientifiques et les priorités et le choix des problèmes. La densité de la communication, étant une variable clef pour la recherche interdisciplinaire, implique l'intersection et la diffusion d'informations et de connaissances qui sont diverses et hétérogènes du fait de la diversité des participants et la multitude des sites de production de connaissances (Lundvall 1992, Mowery 1992, Nelson 1993). Les stratégies de communication que les communautés scientifiques et technologiques peuvent adopter face à la recherche sont spécifiques. Elles sont contraintes par leurs organisations, leurs technologies, les trajectoires technologiques, et la nature, tacite ou explicite, de leurs connaissances. Différentes sources identifiées sont donc à l'origine de la variation des structures de communication et de négociation.

o Premièrement, il y a une division du travail de recherche universitaire en termes d'applicabilité et des activités de recherche liées plutôt aux industries, qui entraîne des différences au niveau de la proximité industrielle et thématique au sein des communautés scientifiques. Selon la politique de recherche, les communautés scientifiques ont des missions différentes en termes de spécialisation,

de recherche appliquée et de stratégies concernant les relations avec leur environnement. Ces missions différentes peuvent affecter l'opinion des chercheurs sur la collaboration interdisciplinaire et l'orientation des communautés scientifiques vers la coopération avec l'industrie. Plus la communauté scientifique s'ouvre sur son environnement industriel et scientifique (ce qui sera conforté par la suite par une proximité scientifique et industrielle), plus grande sera sa capacité d'absorption des connaissances venant d'autres disciplines et moins fastidieuse sera la mise en place d'un processus de communication entre les partenaires.

o Deuxièmement, l'échange de scientifiques et de leurs idées est une des caractéristiques de la communication liant les différents partenaires de la production de connaissances dont le caractère tacite ou codifié est un facteur déterminant de la nature des relations. Bien que les connaissances tacites et codifiées soient complémentaires et leur création dans l'organisation se déroule à travers de nombreuses interactions entre ces deux catégories de connaissances (Nonaka 1994), l'émergence et le développement de l'interdisciplinarité dépend en grande partie du degré de codification des connaissances qui sont susceptibles d'être diffusées et de circuler entre les partenaires. Or, la science se développe traditionnellement dans un système académique de communication où les scientifiques sont amenés à publier leurs résultats dans la perspective de recevoir une reconnaissance personnelle ou d'autres récompenses (tangibles ou intangibles) pour la transmission de leur découverte. La transmission d'informations entre industriels n'est, par contre, pas organisée de la même manière dans la mesure où l'industriel a intérêt à ce que les résultats ne soient pas divulgués. Ce qui implique une protection de la propriété intellectuelle et une approbation des résultats de la recherche. Cette divergence de stratégie quant à la diffusion de connaissances est un obstacle important aux collaborations.

o Troisièmement, l'interaction entre la science et la technologie impliquant la rencontre entre des structures organisationnelles, des compétences et connaissances diverses représente une source d'incertitude. Trois types d'incertitudes sont distingués : l'incertitude inhérente au processus d'innovation (Kline et Rosenberg 1986, Lundvall 1992), l'incertitude liée aux capacités cognitives limitées des agents appelé " incertitude procédurale " par Dosi et Egidi (1991) et l'incertitude liée à la coopération qui est l'asymétrie d'information. L'émergence des relations durables nécessite le développement de la confiance dans la

relation qui est indispensable pour surmonter ces incertitudes. La construction de cette confiance se fait dans le temps, au travers des canaux de communication et du partage d'expériences communes. Dans ce contexte, les interactions sont sélectives et donc se limitent à des partenaires qui participent à un processus d'apprentissage interactif facilité par la proximité scientifique et culturelle entre les partenaires.

◦ Finalement, la proximité géographique se présente comme un facteur déterminant de la diversité des structures d'interdisciplinarité dans la mesure où elle est liée à la mobilité des scientifiques et aux priorités et au choix des problèmes des communautés scientifiques. Comme les connaissances scientifiques et technologiques, codifiées et tacites, sont incorporées dans des personnes ou des organisations, la proximité géographique favorise la transmission des connaissances au travers de la négociation et de la communication, notamment dans le cas où ces connaissances sont fortement tacites (Rallet 1993). L'histoire de l'université et donc des communautés scientifiques est dépendante de son implantation géographique et ainsi de l'industrie et des laboratoires de R&D locaux. Les réseaux de relations se créent avec le temps, contribuant au développement durable des coopérations entre l'université et ces institutions, qui sont basées sur un processus d'apprentissage collectif intentionnel et procédural (Simon 1976).

Compte tenu de ces spécificités des mécanismes d'incitation et du processus de communication, les voies de développement de la recherche interdisciplinaire sont spécifiques à chaque communauté scientifique. Nous prendrons en compte ces spécificités dans la Section suivante et nous analyserons les structures et les caractéristiques de la collaboration interdisciplinaire.

4.3 Variété des formes d'interactions interdisciplinaires

Le changement radical de rôle de la science dans la société implique de nouveaux modèles organisationnels et épistémologiques de la science et de nouvelles formes d'interactions entre la science et la société. Le développement de l'interdisciplinarité dans la recherche universitaire est incontestable. Cependant, chaque communauté connaît un développement des activités interdisciplinaires qui lui est propre, compte tenu de la spécificité de son processus

d'apprentissage caractérisé par celle des mécanismes d'incitation et du processus de communication et de négociation. Par conséquent, malgré la tendance croissante à la recherche interdisciplinaire (Gibbons *et alii* 1994, Katz 2002), son développement est inégal au sein des différentes communautés scientifiques.

Cette partie consiste à analyser les formes d'interactions interdisciplinaires, d'une part entre les communautés scientifiques que nous appelons 'science-science' et d'autre part entre les communautés scientifiques et les communautés technologiques que nous appelons 'science-technologie'. Ces formes sont basées sur deux dimensions : la qualité des structures de communication et la qualité des structures d'incitation à l'interdisciplinarité (tableau 2) selon lesquelles varient la nature de la recherche, la conception thématique des projets, le type de partenariat et la structure d'information de l'organisation de la recherche.

Deux remarques importantes peuvent être tirées de ce tableau. Premièrement, dans la mesure où tous les champs disciplinaires sont considérés, l'analyse au niveau global d'un système de recherche universitaire permet d'identifier deux types de réseaux d'interactions : science-science et science-technologie. Deuxièmement, les caractéristiques de ces réseaux sont diverses, marquées par les spécificités des incitations à l'interdisciplinarité et de la communication.

4.3.1 Interdisciplinarité épistémologique : l'interaction interdisciplinaire "Science-Science"

- *Forme 1.* Lorsque la densité de communication est faible et que les incitations à l'interdisciplinarité le sont également, les interactions pluridisciplinaires ou interdisciplinaires ne sont pas développées dans ces communautés scientifiques. Leurs travaux s'inscrivent dans un cadre disciplinaire traditionnel.

- *Forme 2.* Les interactions entre les communautés scientifiques sont dans le cas où la communication est faible tandis que les incitations à l'interdisciplinarité sont fortes. Malgré les incitations fortes tant au niveau individuel qu'organisationnel, le manque de communication et de langage commun empêchent la mise en place des projets interdisciplinaires (Acutt 2000). Les interactions sont cross-disciplinaires ou multidisciplinaires du fait du degré d'intégration faible. Selon Jantsch (1970), la multidisciplinarité représente une forme très faible de coopération entre des disciplines différentes dans un projet de recherche dans lequel il n'y a pas vraiment d'échanges de théories ou de méthodes entre les

partenaires mais seulement une mise en commun des résultats issus de la recherche effectuée dans les disciplines individuelles. La conception thématique reste épistémologique du fait que cette forme comprend des projets scientifiques liés à la recherche fondamentale. Les objectifs restent rattachés aux intérêts disciplinaires de la communauté scientifique dans la mesure où les résultats scientifiques publiables représentent le but principal des activités de collaboration. Ces types de relations sont en général de court terme, étant fonction des besoins temporaires de recherche sur un thème précis des chercheurs.

- *Forme 3.* Dans le cas où la densité de communication est forte mais les incitations sont faibles, les coopérations sont cross-disciplinaires ou pluridisciplinaires. Cette forme englobe des programmes de recherche multiples dont l'intérêt reste disciplinaire. La recherche est justifiée par une logique académique et par une norme de diffusion des résultats de recherche à travers des publications dans des journaux scientifiques. Malgré la densité de communication entre les communautés, la structure d'information reste verticale du fait du manque de motivations des scientifiques pour aller au delà des simples collaborations pluridisciplinaires. La durée de ces programmes de recherche dépend des besoins de collaborations de chaque communauté scientifique. Plusieurs scientifiques venant de champs disciplinaires différents comme l'économie, la science de l'éducation ou la chimie travaillent ensemble afin d'étudier le développement et l'évolution de l'université dans la société actuelle. A l'issue de la collaboration, les résultats se présentent sous une forme de groupement des résultats individuels provenant de la recherche disciplinaire sans que soit présente l'intégration entre les contributions ou perspectives différentes. Cependant, à travers ces collaborations pluridisciplinaires, des idées nouvelles émergent et donnent lieu à de nouvelles interactions interdisciplinaires dans le futur, et au travers du développement des canaux de communication qui s'améliorent avec le temps.

- *Forme 4.* Cette forme, caractérisée par une forte densité de communication et des mécanismes d'incitation intensifs, se présente comme la structure la plus interdisciplinaire en termes d'interactions intellectuelles entre les communautés scientifiques appartenant à des disciplines différentes. Elle est composée essentiellement de communautés ayant une tradition forte de recherche disciplinaire et spécialisée. Néanmoins, l'évolution de la science implique que la recherche a de plus en plus besoin des apports méthodologiques, conceptuels

ou techniques provenant d'autres champs de la recherche (Schmoch *et alii* 1996, Jantsch 1970). Cette forme d'interactions est illustrée, par exemple, par des programmes de recherche ou des projets multiples étroitement rattachés à la recherche fondamentale ou à l'enseignement. L'interdisciplinarité, dans ce contexte, reste donc épistémologique, dans la mesure où les problèmes à résoudre sont purement scientifiques (Klein 1996). Les scientifiques définissent ensemble le thème de recherche tout en gardant leur autonomie académique. La collaboration est basée sur des relations informelles et des contacts fréquents qui sont favorisés par la proximité spatiale des partenaires. Ils s'intègrent et coopèrent dans un environnement intensivement interactif au travers de rencontres formelles ou informelles qui, au cours du temps, contribuent au développement d'une confiance et d'un respect mutuels et réduisent ainsi les risques de conflits. La coordination des interactions est horizontale du fait des complémentarités existantes entre les partenaires scientifiques et de la volonté de coopérer au delà des limites et des barrières. Cette flexibilité ainsi que la crédibilité et la réputation des scientifiques constituent une des conditions de la naissance d'une nouvelle communauté scientifique. Ce phénomène est particulièrement intéressant car son analyse permet de voir en quoi les relations interdisciplinaires amènent les scientifiques à une nouvelle problématique de recherche et, de là, à la 'création' d'une nouvelle discipline. Nous avons à l'esprit les cas de la biotechnologie, la bio-informatique, etc.

4.3.2 Interdisciplinarité praxéologique : l'interaction interdisciplinaire "Science-Technologie"

- *Forme 5.* Cette forme est caractérisée par un environnement où la communication et les incitations à l'interdisciplinarité sont faibles. Dans ce cas, les communautés scientifiques et technologiques n'ont pas vocation à collaborer. La recherche des communautés scientifiques reste de nature disciplinaire.

- *Forme 6.* La communication est faible et les incitations sont fortes. Les partenariats sont sous forme des programmes de recherche multiples ou des projets de recherche avec des objectifs prédéfinis. La conception thématique est à la fois épistémologique et instrumentaliste. Les communautés scientifiques gardent l'autonomie académique.

- *Forme 7.* Les interactions 'science-technologie' sont pluridisciplinaires et cross-disciplinaires dans la forme 7 où la densité de communication est forte

FIG. 4.1 – Structures d'interactions interdisciplinaires selon les spécificités du processus d'apprentissage

tandis que les incitations sont faibles. Elles sont sous forme de programmes de recherche multiples de court terme ou des prestations et services. La pluridisciplinarité de ces collaborations est épistémologique dans le cas où le partenariat est sous forme des programmes de recherche car dans ce cas, le développement de produits commerciaux et de procédés n'est pas envisagé. Comme les prestations peuvent prendre des formes variées du fait de la multiplicité des apports de la science à la technologie, la nature de la pluridisciplinarité dépend de type de prestations. Si les prestations sont basées sur une collaboration en recherche, la pluridisciplinarité dans ce cas est plutôt épistémologique. Par contre, si les prestations sont à caractère commercial, la pluridisciplinarité est instrumentaliste.

Ce cas est particulièrement intéressant du fait qu'il nous amène à considérer le paradoxe de l'interdisciplinarité qu'a décrit (Roberts 1997) comme une situation dans laquelle les industries pourraient, en principe, gérer la recherche interdisciplinaire, mais où le manque de compétences disciplinaires et d'expertise créent des obstacles pour la mettre en oeuvre, alors que les bonnes universités de recherche disposent d'un large éventail d'installations interdis-

ciplinaires et des connaissances requises, mais les barrières institutionnelles et les normes sociales ont tendance à amener les chercheurs à poursuivre des objectifs disciplinaires. La communication et les incitations sont complémentaires pour le développement de l'interdisciplinarité.

- *Forme 8.* Cette forme est caractérisée par la communication et les incitations à l'interdisciplinarité fortes. Cette forme d'interaction s'illustre à travers différents types de partenariat. Premièrement, elle englobe des projets de recherche aux objectifs bien définis dès le début. Dans ce cas, les équipes de recherche sont composées d'industriels et de scientifiques académiques qui appartiennent en général à des domaines de recherche comme l'ingénierie, la physique appliquée ou l'informatique. Les industries partenaires sont en général de grandes firmes et ont un grand potentiel de recherche interne. L'activité de R&D interne est une des caractéristiques des entreprises susceptibles de développer des collaborations en recherche avec des laboratoires universitaires. Elle est la source de la capacité des entreprises à absorber les connaissances provenant de milieux académiques (Cohen et Levinthal 1989). A la différence avec des collaborations de caractère purement commercial ou de prestations de service, les collaborations interdisciplinaires de ces entreprises avec l'université sont soumises aux conditions de complémentarité de connaissances technologiques des entreprises avec leur partenaires scientifiques.

Dans ce cas, l'enjeu technologique tient une place importante dans le partenariat, ce qui implique que la réputation académique du corps des chercheurs constitue un facteur déterminant de l'intensité de coopérations. Deuxièmement, elle comprend des programmes incubateurs qui aident à identifier et développer les champs prometteurs de la recherche scientifique afin de commercialiser les résultats. Le but est d'aider le corps des chercheurs universitaires à mettre en application les fruits de leurs travaux. Dans ce type de coopération, il y a une forte interaction entre les partenaires tant au niveau de la définition de thèmes de recherche qu'au niveau du fonctionnement. Les programmes sont de nature interdisciplinaire car les partenaires de différentes disciplines s'intègrent parfaitement dans une structure d'organisation ayant une plate-forme cognitive commune, une cohésion des processus d'identification des partenaires, le choix du problème, la gestion du projet et des résultats, et également une confiance mutuelle. Pour cette forme d'interactions, la structure d'information est horizontale et est caractérisée par une forte décentralisation et un niveau

élevé de "learning by doing" et d'apprentissage organisationnel collectif, permettant aux partenaires de résoudre des problèmes imprévus. Dans ce cas, l'interdisciplinarité est instrumentaliste dans la mesure où l'objectif de la recherche est de résoudre des problèmes sociaux et technologiques prédéfinis qui émergent d'un contexte d'application (Klein 1996).

Ces types de relations interdisciplinaires permettent à des communautés d'entrer dans un réseau d'excellence de recherche et permettent d'améliorer leur crédibilité et leur réputation scientifique. Bien que les types d'objectifs technologiques de la recherche soient de natures différentes (Foray 2000a), leur présence constitue un contexte d'application sensibilisant les chercheurs aux implications technologiques. Ainsi les coopérations interdisciplinaires actuelles conditionnent celles dans le futur. De ce fait, l'interdisciplinarité devient un phénomène endogène au système de recherche (Klein 1996) et les aspects technologiques de la collaboration peuvent ainsi changer graduellement les structures d'organisation de la science (Chompalov 2002).

4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons préconisé une étude de la recherche interdisciplinaire, analysée du point de vue de l'Université, ou plus précisément de communautés scientifiques. Nous nous basons sur les spécificités du processus d'apprentissage, à la fois au niveau individuel et organisationnel. L'analyse nous permet d'avoir les premiers éléments de réponse suivants :

D'abord, alors que l'interdisciplinarité se présente comme une conséquence incontestable de l'évolution de la science et de la technologie, et comme une réponse au besoin de résoudre des problèmes de plus en plus complexes de la société, elle est souvent analysée au niveau macroéconomique afin de comprendre la tendance globale de l'évolution de la science et de la technologie dans la société. L'université, les industries et le gouvernement constituent souvent des unités d'analyse dans ces études, par exemple, dans celles de Gibbons *et alii* (1994) et de Etzkowitz et Leydesdorff (1996).

Nous avons adopté une optique plus locale et microéconomique en analysant le système de recherche universitaire en tant qu'ensemble de communautés scientifiques ayant des structures organisationnelle, institutionnelles, des compétences et des histoires différentes. Cette approche permet de considérer les

spécificités du processus d'apprentissage comme une source de divergence des comportements des communautés scientifiques vis-à-vis de l'interdisciplinarité, au sein même d'une université. Nous avons montré que la disciplinarité, la pluridisciplinarité et l'interdisciplinarité co-existent et deviennent des sources complémentaires à la production de connaissance et au processus d'innovation. Nous postulons que chaque communauté scientifique connaît un développement des activités interdisciplinaires qui lui est spécifique, compte tenu de ses contraintes propres, de son potentiel scientifique et de ses capacités d'apprentissage.

Deuxièmement, selon Gibbons et ses collègues (1994), la production de connaissances interdisciplinaires est favorisée dans les programmes de recherche qui ont des objectifs technologiques prédéterminés. L'interdisciplinarité et le contexte d'application, ainsi présentés comme deux caractéristiques principales complémentaires du nouveau mode de production de connaissances, s'influencent réciproquement, à travers des structures non-hiérarchiques, hétérogènes et transitoires. Nous avons montré qu'il existe des contextes différents dans lesquels émergent les programmes de recherche interdisciplinaire. L'interdisciplinarité ne se développe pas nécessairement dans un environnement d'impulsions technologiques et un contexte d'application n'implique pas forcément des interactions interdisciplinaires entre chercheurs.

Troisièmement, le Mode 2 de production de connaissances (Gibbons *et alii* 1994) est caractérisée par la dispersion des réseaux de recherche du fait de la massification de l'éducation et de l'avancement rapide des nouvelles technologies de l'information et de la communication. Avec notre analyse basée sur les spécificités des communautés scientifiques, nous montrons plutôt une tendance à la concentration des interactions interdisciplinaires sur quelques communautés ayant des structures de communication solides et des mécanismes d'incitation forte. Cette conclusion est conforme à la thèse de Ziman (1994, 1997) selon laquelle la force de la compétition qui guide la science basée sur l'excellence fait que les sites de production de connaissances sont plus concentrés dans des unités d'excellence de la recherche. La logique de l'évolution dynamique des expériences et des compétences scientifiques basée sur la crédibilité et la réputation des scientifiques ainsi que sur les richesses d'apprentissage au cours du temps peut créer une persistance asymétrique en termes de capacités de mener des recherches interdisciplinaires parmi les chercheurs académiques (Dasgupta

et David 1994, Geuna 1999) et implique l'endogénéisation de l'interdisciplinarité aux systèmes de recherche et d'innovation.

Chapitre 5

Interdisciplinarité et politique de recherche

Les opinions sur le rôle des pouvoirs publics dans la promotion de l'interdisciplinarité sont partagées. Certains soulignent que l'interdisciplinarité doit émerger naturellement en réponse à des circonstances spécifiques tels que le changement de la demande en provenance des industries, de type de connaissances, etc. Cette thèse implique l'autonomie et l'autorégulation de la science. Elle est avancée au détriment de la politique descendante d'intervention qui implique la création des institutions intermédiaires ou des agences de financement ayant pour objectifs de guider la production de connaissances scientifiques et ainsi leurs applications. L'objectif de ce chapitre est de montrer que l'interdisciplinarité ne peut que mieux se développer dans un contexte où il y a un double mécanisme d'incitations, où l'effort venant des pouvoirs publics est suivi de celui des scientifiques eux-mêmes. Nous utilisons un modèle de délégation entre le gouvernement et l'université. Nos résultats suggèrent que la connectivité à un large réseau des organisations externes et internes, dans lequel s'opèrent l'échange des compétences complémentaires, le transfert des instruments, de techniques et de concepts, est donc une condition primordiale pour développer la recherche interdisciplinaire durable. Les frontières entre les systèmes externes et internes, entre les stratégies ascendantes et descendantes doivent donc être perméables et influençables.

5.1 Introduction

Nous avons analysé dans les chapitres précédents le développement et le rôle croissant de la recherche interdisciplinaire dans une économie basée sur la connaissance. Elle apparaît comme une tendance, résultant à la fois de l'évolution de la science dans la société, de la nécessité de satisfaire des contraintes financières plus serrées et de l'intérêt que présentent les problèmes technologiques et sociétaux pour les scientifiques. Nous avons également montré que l'interdisciplinarité reste encore très limitée au niveau local de l'université et spécifique à chaque discipline scientifique.

Face à cette situation, les opinions sur le rôle des pouvoirs publics dans la promotion de l'interdisciplinarité sont partagées. Certains soulignent que l'interdisciplinarité doit émerger naturellement en réponse à des circonstances spécifiques tels que le changement de la demande en provenance des industries, de type de connaissances, etc. Cette thèse est étroitement liée à la notion de "normative structure of science" de Merton (1973), impliquant l'autonomie et l'autorégulation de la science. Elle conforte la politique ascendante ("bottom-up") selon laquelle, comme l'interdisciplinarité est une question interne du système de la science, elle ne doit pas être imposée de l'extérieur. Cette thèse est avancée au détriment de la politique descendante d'intervention qui met l'accent sur l'importance de l'application des connaissances scientifiques à des objectifs industriels et aux besoins de la société. Elle implique la création des institutions intermédiaires ou des agences de financement qui ont pour objectifs de guider la production de connaissances scientifiques et ainsi leurs applications.

L'objectif de ce chapitre est de montrer que l'interdisciplinarité ne peut mieux se développer dans un contexte où il y a un double mécanisme d'incitations, où l'effort venant des pouvoirs publics est suivi de celui des scientifiques eux-mêmes. Les autorités publiques, adoptant la stratégie descendante ("top-down"), ne peuvent commander ce qui doit se passer dans les laboratoires de recherche car ce qui s'y passe dépend de la motivation locale, des compétences, de l'apprentissage et du know-how du contexte local. De même, une stratégie de laisser-faire ou ascendante, impliquant des politiques volontaires de recherche de la part des scientifiques, présente des déficiences, dues au manque de stimulation externe, au problème d'apprentissage organisationnel et à la difficulté de contrôle de qualité dans un tel système décentralisé.

La connectivité à un large réseau des organisations externes et internes, dans lequel s'opèrent l'échange des compétences complémentaires, le transfert des instruments, de techniques et de concepts, est donc une condition primordiale pour développer la recherche interdisciplinaire durable. Les frontières entre les systèmes externes et internes, entre les stratégies ascendantes et descendantes doivent donc être perméables et influençables.

Le chapitre s'articule comme suit. Dans la suite de cette section d'introduction, nous analysons le comportement des pouvoirs publics et de l'université en termes de la recherche interdisciplinaire. Nous montrons que l'incompatibilité des objectifs de recherche entre les pouvoirs publics et l'université limite le développement de l'interdisciplinarité. D'un point de vue général, les pouvoirs publics encouragent l'interdisciplinarité tandis que l'université reste ancrée dans une culture de recherche disciplinaire. Ensuite, nous analysons brièvement les deux tendances de politique de recherche que sont la politique descendante et la politique de laisser-faire et leurs évolution dans le temps.

La section 5.2 présente les caractéristiques et l'application de la théorie de délégation dans la politique de recherche. Nous montrons que cette théorie, à travers le modèle d'agence, peut être un moyen pour comprendre les influences du pouvoir public sur la science dans le choix de priorités de recherche. Elle aide notamment à comprendre la manière dont l'interdisciplinarité est susceptible de se développer dans un système de recherche universitaire. Nous présentons également les différents facteurs inhérents à la délégation qui contraignent la relation entre les pouvoirs publics et l'université.

La section 5.3 étudie les différents mécanismes d'incitation à l'interdisciplinarité à travers les modèles de délégation basée sur la confiance, de délégation basée sur la surveillance et de délégation par réseau de coopération de recherche. Nous montrons que le mode de délégation par le réseau conduit à une réactivité plus forte des scientifiques aux besoins du gouvernement et à un risque moral plus faible, sous la condition de compatibilité des objectifs des partenaires de recherche.¹²

¹²Dans le cadre de ce modèle, nous ne faisons pas d'hypothèse quant à l'existence d'asymétrie de connaissances entre le principal et l'agent car nous focalisons notre analyse sur les mécanismes d'incitation à l'interdisciplinarité. La manière dont l'asymétrie de connaissances est intégrée dans certains modèles récents décrivant la formation d'alliances de recherche (Cowan *et alii* 2003, Brusoni *et alii* 2001)?? pourrait être utile pour adapter notre modèle au contexte de création de connaissances.

Nous concluons le chapitre avec quelques implications dans la section 5.4.

5.1.1 Gouvernement à l'égard de l'interdisciplinarité

Au cours des années soixante, l'interdisciplinarité s'est imposée comme thème de réflexion incontournable du renouveau du laboratoire et de l'image public de la science.¹³ Cette discussion est étroitement liée à la tendance d'hyperspécialisation, à l'expertise, à l'approche monodisciplinaire, à la départementalisation du laboratoire et à l'organisation hiérarchique de la formation universitaire (Mathurin 2002). Cette hyperspécialisation croissante fait aux scientifiques un caractère social dangereux, non seulement parce que les scientifiques manquent des développements importants dans d'autres domaines de connaissance, mais plus particulièrement parce que l'utilisation et l'éthique de la science sont assurées et contrôlées par la politique et l'industrie (Schild et Sörlin 2002) . Dans ce contexte, le débat devient plus pressant.

Il n'est pas évident que l'interdisciplinarité soit la solution principale à la plus grande pertinence et soit le conducteur des technologies stratégiques mais elle commence à se développer fortement dans les années 70 et devient une évidence dans les années 80. Cet intérêt croissant pour l'interdisciplinarité pourrait être expliqué par le fait qu'elle s'est développée en même temps et au même rythme auquel les gouvernements ont commencé à identifier la signification croissante des innovations et de la compétitivité basées sur la science pour la performance économique (Schild et Sörlin 2002) . L'intérêt pour l'interdisciplinarité a au moins deux raisons.

D'une part, de nos jours, il n'y a presque aucune sphère qui ne se fonde

¹³Comme souligné dans le premier chapitre de la thèse, l'interdisciplinarité est une notion multi-dimensionnelle. Il est possible d'identifier deux types d'interdisciplinarité : l'interdisciplinarité épistémologique et l'interdisciplinarité stratégique (Mathurin 2002). Le champs opérationnel de l'interdisciplinarité est philosophique, dominé par l'histoire des sciences et l'épistémologie dans laquelle la science est prise comme objet d'étude en soi, et principalement sur le plan de ses mécanismes et de son évolution. Par contre, la vision stratégique se base sur l'idée qu'il y a non seulement les interactions entre les disciplines scientifiques, mais aussi entre les disciplines et la société (industries, individus, institutions) (Jantsch 1970). A la différence de l'orientation épistémologique, ce type d'interdisciplinarité est centré strictement sur les problèmes technologiques, environnementaux et sociaux. Selon ce point de vue stratégique, les activités interdisciplinaires sont orientées vers des objectifs spécifiques de la société, tout en restant dépendantes des activités mono-disciplinaires. Dans ce chapitre, nous nous intéressons uniquement à l'interdisciplinarité stratégique.

pas sur des produits technologiques. L'émergence des nouvelles technologies à base scientifique et le changement de la demande nécessitent de plus en plus la recherche interdisciplinaire en tant qu'instrument pour résoudre les problèmes et pour répondre à des questions qui défient les méthodes et les démarches uniques. Les produits et les processus complexes nécessitent une intégration plus étroite ou la fusion des développements de technologies hétérogènes. Dans beaucoup de domaines d'activités technologiques intensivement basées sur la science, la recherche fondamentale ciblée et ses interfaces dans le développement des produits commercialisables devient de plus remarquables. Un exemple souvent cité pour cette tendance est la recherche en biologie moléculaire pour l'industrie pharmaceutique et la médecine de pratique. Ce processus fait disparaître les délimitations traditionnelles entre le secteur de la connaissance et les secteurs de technologie et fait naître de nouveaux champs de recherche regroupant des horizons disciplinaires plus larges.

Dans un environnement d'innovation à forte concurrence où les acteurs isolés sont de moins en moins en mesure d'innover sans appui externe, les acteurs du secteur technologique ont besoin de coopérer avec les scientifiques. Les apports entre eux sont mutuels et leurs évolutions ne sont pas indépendantes. Dans certains secteurs, les connaissances scientifiques de pointe sont essentielles aux acteurs industriels et les activités innovantes de la firme sont indissociables de la recherche de base (Gambardella 1992). La coopération permet aux acteurs de l'innovation non seulement de partager connaissances et expériences (Nelson et Rosenberg 1994), mais également de partager le risque d'innovation, les coûts de R&D, d'améliorer la productivité technologique et d'obtenir des financements supplémentaires (Adams *et alii* 2001 ; Lee 2000). La production des connaissances fondamentales et technologique se fait de plus en plus parallèlement, dans une même structure et un même projet.

D'autre part, l'émergence des nouvelles technologies de communication et d'information qui facilitent le transfert et la circulation des connaissances est également un facteur important influençant la dynamique de la science. Dans un contexte globalisé où les problèmes de recherche sont complexes ou déterminés par des applications particulières, les connaissances sont produites non pas par une discipline isolée et indépendante, mais par des collaborations et des négociations continues entre les partenaires scientifiques de différentes disciplines et les partenaires industriels. En rendant facile l'accès aux connais-

sances et à l'information, les nouvelles technologies de l'information et de la communication peuvent intensifier les relations de collaboration entre les partenaires scientifiques et industriels. La nature et l'efficacité de ces relations dépendent fortement du caractère tacite ou codifié des connaissances échangées entre les partenaires car la codification des connaissances permet non seulement de soutenir la circulation et le stockage de l'information à des coûts marginaux très bas, mais également de constituer des bases cruciales pour créer de nouvelles connaissances (Foray 2001). Cette dynamique implique inévitablement une révision des structures d'incitation appropriées afin de mieux soutenir la codification des compétences et des pratiques et de les mettre en commun entre les réseaux de recherche.

Par ailleurs, les actions du gouvernement reposent sur la prise en compte des facteurs politiques qui prévalent dans le système social. Le gouvernement ne fonctionne donc pas seulement selon une rationalité économique, mais également selon une rationalité politique. Le gouvernement s'intéresse à la recherche interdisciplinaire pas seulement pour son rôle dans le système d'innovation nationale, mais également pour sa capacité de délivrer des solutions à des problèmes urgents liés au développement de la société (Ziman 1994 ; Schmoch *et alii* 1994) tels que la pollution environnementale, la surpopulation, la santé etc. Ces problèmes complexes dépassent le domaine de compétence d'une seule discipline. Les scientifiques de différentes disciplines sont obligés de travailler ensemble. Le rôle important du gouvernement est de prendre l'initiative pour une telle recherche interdisciplinaire car il est difficile qu'une discipline scientifique, un institut ou un chercheur, sans appui du gouvernement prenne l'initiative pour de tels sujets spécifiques très larges. De fait, le gouvernement peut influencer l'agenda national pour les projets de recherche interdisciplinaire .

5.1.2 Rhétorique universitaire de l'interdisciplinarité

Face à cette volonté des pouvoirs publics, l'engagement des scientifiques à l'interdisciplinarité n'est pas forcément persuasif. En général, les scientifiques universitaires ne font pas le même effort à l'égard de l'interdisciplinarité que les pouvoirs publics, bien qu'ils s'entendent plus ou moins sur le rôle crucial que joue l'interdisciplinarité dans la production de savoirs scientifiques et technologiques. Les raisons de cette différence sont multiples. Elle est fortement liée à des barrières institutionnelles, culturelles et cognitives à l'interdisciplinarité

qui existent au sein du système de recherche universitaire (cf. chapitre 1).

Premièrement, les unités de recherche dans les universités sont souvent organisées en département où la recherche est dominée par la spécialisation qui est une source de fragmentation du domaine épistémologique et qui favorise le désintérêt des chercheurs pour la collaboration interdisciplinaire (Laudel et Gläser 1999 ; Ziman 1994). La recherche universitaire est fortement enracinée dans une culture disciplinaire et conduite dans des disciplines bien établies.

Deuxièmement, plusieurs études ont montré le fait que les attitudes des universités envers l'interdisciplinarité sont historiquement entrelacées avec la nature de la structure de carrière académique. Ces dernières semblent offrir peu d'incitations, ou même des découragements, aux chercheurs déjà stables ou aux jeunes chercheurs qui font face au problème de choix séquentiel entre la recherche disciplinaire et interdisciplinaire. Etant donné la concurrence croissante sur le marché de travail, les scientifiques universitaires cherchent à continuer le chemin disciplinaire le plus court pour une carrière académique, plutôt que de s'engager dans les projets de recherche interdisciplinaire qui sont risqués et exigent beaucoup d'investissement en temps (Schmoch *et alii* 1994). Ce désintérêt est d'autant plus fort lorsque les jeunes chercheurs n'ont pas assez de base de connaissances disciplinaires suffisantes pour pouvoir se lancer dans des travaux interdisciplinaires. Une étude basée sur les interviews menée au sujet de la pratique de l'interdisciplinarité auprès des universités suédoises rapportent l'évidence du manque de systèmes de récompense, de formation universitaire ou de promotion conçus pour encourager le travail interdisciplinaire (Schild et Sörlin 2002).

De manière générale, nous pouvons observer une incohérence entre les déclarations de politique des universités qui indiquent leurs dispositions envers l'interdisciplinarité (les rapports annuels, les documents budgétaires), et le manque de systèmes de pratique et d'incitations en place dans les facultés, dans les départements et au niveau des groupes de recherche. Des chemins de carrière et les positions régulières dans les départements et les facultés tendent à être inextricablement liés à la structure disciplinaire.

En outre, l'introduction d'idées nouvelles venant d'autres disciplines dépend dans la plupart des cas crucialement de l'initiative propre des chercheurs 'open-minded' (Schmoch *et alii* 1994). Or, plusieurs auteurs (OCDE 1972) soulignent qu'il est encore plus difficile de transformer les structures mentales que

les structures institutionnelles. En effet, l'introduction de l'interdisciplinarité se heurte en particulier à une incompréhension et à des résistances qu'on rencontre souvent chez les professeurs, les étudiants et dans la société d'une façon générale (Stankiewicz 1986). Les étudiants, les professeurs, et les chercheurs sont souvent formés dans le cadre de disciplines généralement rigides.

De la même étude, citée ci-dessus, Schild et Sörlin (2002) observent que les plus jeunes et plus petites universités (les facultés de médecine, les instituts de technologies, les écoles de commerce) tendent à être plus désireuses de répondre à des objectifs interdisciplinaires des pouvoirs publics que celles plus anciennes et plus grandes. Ce comportement de ces universités n'est pas nécessairement dû au manque d'engagement, mais plutôt à un jeu rhétorique de statuts où il est important pour elles de prouver qu'elles ne sont pas disposées à être un instrument pour quiconque. Il reflète leurs différentes racines historiques et leurs réseaux continus avec les utilisateurs industriels et partenaires de recherche.

Il est important de noter que l'interdisciplinarité n'est pas une idée nouvelle dans le cadre de la recherche universitaire. Le Mode 1 et Mode 2 de la production de la connaissance, tels qu'ils sont développés par Gibbons et ses collègues (1994) (cf. chapitre 2), co-existent et co-évoluent dans le temps (Pestre 1997). En effet, quelques chercheurs expérimentés, et suffisamment crédibles dans leurs propres disciplines ont toujours su être interdisciplinaires. Pourtant, l'intérêt pour ce type de recherche ne peut être constaté qu'au niveau local ou individuel alors que d'un point de vue général, le système de recherche universitaire est encore fortement enraciné dans la mono-disciplinarité.

De plus, force est de constater qu'il existe une hétérogénéité de développement des programmes de recherche interdisciplinaires entre universités et entre différents groupes de recherche au sein d'une même université (cf. chapitres 2 et 4). L'explication de cette hétérogénéité se trouve dans la spécificité de chaque université et chaque groupe de recherche face à l'interdisciplinarité : les mécanismes d'incitation, l'intensité des transferts de connaissances directs de la recherche fondamentale vers des applications, l'importance du facteur humain, le besoin épistémologique de dépassement de frontière disciplinaire, la diversité des relations entre l'université et les entreprises.

Cependant, les réformes de décentralisation et la concurrence graduellement établie dans le système de recherche au cours des dernières décennies (Gibbons

et alii 1994) font que l'université n'est plus le seul centre de production de savoirs. L'élargissement des missions de l'université conduit à une ouverture de celle-ci sur son environnement, ouvrant un nouveau rôle pour les chercheurs universitaires dans la société. Les universités sont contraintes de se changer pour mieux s'adapter aux changements de la demande et de l'environnement.

La différence des objectifs de recherche à l'égard de l'interdisciplinarité entre les pouvoirs publics et les scientifiques universitaires posent un problème de taille, le "double-edged problem" (Van der Meulen 1998), à savoir : quelles sont les politiques d'incitation appropriées qui sont susceptibles de promouvoir la recherche pour la résolution de problèmes tout en respectant l'autonomie et en renforçant la base disciplinaire de l'université ?

5.1.3 Antinomie des politiques de science

Depuis la Seconde Guerre mondiale, le développement des institutions de la politique de la science est dominé par deux courants de pensée, qui sont tous deux basés sur l'idée que la science comporte une dimension cognitive importante pour la société. Elle est la source de connaissances pratiques, la réponse aux objectifs nationaux tels que la sécurité, le bien-être social, la création de richesse et la qualité de vie.

Politique ascendante de la science et les mécanismes d'incitation

La stratégie ascendante de la politique de la science est par définition un mécanisme d'intervention de l'Etat dans la recherche publique par les moyens de financement public tout en laissant aux scientifiques toute l'autonomie et la liberté de décider des modalités de fonctionnement ainsi que des objectifs scientifiques de la recherche. Durant la période comprise entre 1945 et 1979, elle est largement soutenue par les scientifiques et leurs organisations représentatives dont le concept sur la recherche publique est basé sur les normes et règles de l'"Open Science" (Science Ouverte) de Merton (1973). La science ouverte met en évidence des effets néfastes de l'implication de la science dans le monde économique tels que la réduction de l'autonomie, la distorsion de la sélection de l'agenda de recherche, baisse de productivité scientifique, etc.

La "nouvelle économie de la science" telle qu'elle est présentée dans les développements de Dasgupta et David (1994) identifie également les limites et les "unintended consequences" de la prise en compte de l'environnement

économique, notamment industriel, sur la nature des connaissances créées par la recherche.

Selon ce courant de pensée, les mécanismes d'incitation, monétaire et non monétaire, qui gouvernent la science ouverte sont suffisamment forts pour que les scientifiques assurent d'une façon autonome la production et la diffusion de la connaissance. L'argument est que la science est divisée en deux communautés scientifiques qui n'ont pas les mêmes normes, ni cultures scientifiques et qui ne répondent pas de la même manière à des incitations. Ces communautés mettent en oeuvre des mécanismes d'incitation et des normes de diffusion des résultats de recherche qui influencent différemment le comportement des chercheurs à l'égard de leurs découvertes.

La première, c'est à dire la technologie, est orientée vers la science appliquée, essentiellement la recherche industrielle et le développement, à usage civil ou militaire. L'incitation à la recherche de cette communauté se trouve au niveau des bénéfices monétaires de ses découvertes qui sont protégés par les lois de propriété intellectuelle garanties par les pouvoirs publics. La deuxième, la science ouverte, se concentre sur la recherche académique, essentiellement fondamentale, qui génère des connaissances plus générales que celles produites par la science appliquée. Elle est menée dans les institutions publiques de recherche et les universités où la production et la diffusion de connaissances sont caractérisées par la divulgation libre des résultats de recherche. La science ouverte est donc la source des externalités positives pour la société.

Le problème qui se présente ici est de savoir comment assurer l'engagement permanent des scientifiques dans la recherche et faire respecter le principe de divulgation des connaissances, sachant qu'ils sont assurés sur le plan monétaire par les pouvoirs publics. Deux motifs principaux peuvent être identifiés.

D'une part, la science ouverte se caractérise par un mécanisme d'incitation, la "règle de priorité", qui pousse les chercheurs à poursuivre la divulgation de leurs résultats afin de chercher la reconnaissance auprès de leurs pairs (Callon et Foray 1997 ; Dasgupta et David 1994). De plus, en diffusant leurs résultats scientifiques et en utilisant les résultats diffusés par d'autres chercheurs, ils accumulent les expériences et expertises nécessaires pour renforcer la réputation acquise qui leur permet d'avoir un capital de crédibilité suffisant pour obtenir des ressources pour la recherche future (Stephan et Levin 1997) .

D'autre part, les chercheurs sont également incités à produire et à diffuser

les connaissances à cause de leur curiosité de découvrir les nouveautés de la science et la satisfaction de résoudre des problèmes et énigmes scientifiques (Levin et Stephan 1991). Ainsi, étant soutenus financièrement par l'État et guidés par la recherche de la réputation et par la curiosité, les scientifiques progressent avec leur propre liberté de déterminer les priorités de l'agenda de recherche.

Ainsi, le modèle linéaire d'innovation, caractérisant le processus d'innovation par la séquence recherche fondamental - recherche appliquée - développement - industrialisation - commercialisation ("science push model"), où la production de nouvelles connaissances pourrait être assimilée à la seule information, est fortement soutenu. L'État attribue des ressources importantes à la recherche fondamentale qui est considérée comme la source principale de l'innovation et de la progression sociale.

Au niveau politique, le "contrat social pour la science" représente le courant de la politique ascendante de la science. Ce contrat est souvent associé au rapport "Science : The Endless Frontier" de Bush (1945) qui évoque les responsabilités volontaires mais mutuelles entre les pouvoirs publics et la science. Il reflète l'image de la politique de la science d'après-guerre qui est caractérisée par le partenariat unique entre l'État et la science pour le support de la recherche fondamentale, l'autonomie et l'intégrité totales des scientifiques, la distinction entre la recherche publique et privée, la séparation institutionnelle et conceptuelle entre la politique et la science et entre la technologie et la science (Guston 2000).

La conséquence politique est observée à travers le fait que l'État délègue totalement la tâche de production et de diffusion des connaissances issues de la recherche à l'université et à des institutions de recherche publiques. Autrement dit, afin de bénéficier des résultats scientifiques, l'État joue seulement le rôle de financier de la recherche académique, sans changer le mode de fonctionnement de la science ni influencer la détermination de ses priorités de recherche.

Politique descendante de la science

Au début des années 1970, ce modèle qui considère la science libre et ouverte comme un moteur de l'innovation est fortement remise en cause avec la prise de conscience de l'évolution de la science dans la société, de la nécessité de satisfaire des contraintes financières plus serrées et de l'intérêt que pré-

sentent les problèmes industriels et sociaux pour les scientifiques. La stratégie descendante de la science devient dominante.

La stratégie descendante de l'intervention du gouvernement dans la recherche publique est par définition le mécanisme d'intervention où les autorités publiques interviennent dans le monde scientifique afin d'imposer les finalités et objectifs de recherche ou d'influencer les finalités de recherche des scientifiques.

Les pouvoirs publics réagissent à des transformations et problèmes économiques et sociaux liés aux innovations scientifiques et technologiques en cherchant à provoquer un changement structurel dans le paysage de recherche et d'innovation. Les politiques d'incitation visent à encourager la collaboration interdisciplinaire, en contrôlant les activités de collaboration et en exerçant la pression sur les institutions de recherche pour moderniser leurs dispositifs de recherche.

Un exemple d'initiatives des pouvoirs publics français dans ce contexte d'interdisciplinarité technologique et scientifique est le lancement des Réseaux de Recherche et d'Innovation Technologique (RRIT) au milieu des années 90. Ce projet est destiné à intensifier, diversifier et rendre plus flexibles les relations entre la science et l'industrie et à augmenter l'efficacité des incitations publiques existantes en faveur de la recherche et du développement privée. La plupart de ces projets fonctionnent dans une perspective pluridisciplinaire réunissant les différents domaines technologiques et scientifiques. Par exemple, le Réseau de recherche en micro et nano technologies (RMNT) qui vise principalement, sur la base de l'association de savoirs issus de plusieurs disciplines (électronique, mécanique, optique, chimie, biologie notamment), à promouvoir des recherches pluridisciplinaires sur tout phénomène à l'échelle nanométrique qui est susceptible d'application dans l'économie, et qui est orientable vers des projets industriels (OCDE 2004).

L'évolution du rôle de la science et du mode de production de connaissances, comme nous l'avons décrit ci-dessus, remet fortement en cause le modèle linéaire d'innovation (ETAN 1999). Ce modèle ne permet pas d'appréhender la multiplicité des interconnexions de la science et de la technologie. Plusieurs modèles reposant sur des approches plus interactives et non plus linéaires du processus d'innovation, sont proposés afin de caractériser la complexité des interactions entre les acteurs de coopération et surtout de resituer le rôle de

la science dans le processus d'innovation : le "chain-link model" de Kline et Rosenberg (1986) ; le Mode 2 de production de connaissances de Gibbons *et alii* (1994) et le Triple-Helix de Etzkowitz et Leydesdorff (1997) .

Récemment, plusieurs auteurs (Braun 2003, Van der Meulen 1998) ont analysé cette différence de finalités de recherche du gouvernement et de l'université à l'aide d'un modèle de délégation. Ce modèle peut être utilisé pour comprendre les influences du gouvernement sur la science dans le choix des priorités de recherche. Dans la section 3, nous allons utiliser ce type de modèle afin d'étudier les différents mécanismes d'incitation. Dans la section suivante, nous présentons brièvement les caractéristiques et l'application de la théorie de délégation dans la politique de science.

5.2 Théorie de délégation dans la politique de science

Le problème de délégation est décrit formellement par la théorie du principal-agent qui peut être définie comme une transaction sociale, ou une interaction, dans laquelle un acteur, l'agent, effectue les actions qui sont prévues pour satisfaire les intérêts d'un autre acteur, le principal. L'origine de la transaction est habituellement le fait que le principal veut atteindre un certain but mais, manquant de certaines qualifications, capacités, ou ressources nécessaires pour faire ainsi, cherche un autre acteur, l'agent, pour réaliser les objectifs du principal en échange d'une rémunération. Le cadre analytique de la théorie du principal-agent permet d'examiner les problèmes de la délégation tels que des mécanismes d'incitation et l'incohérence des objectifs des partenaires.

La théorie de délégation est très dominante dans plusieurs domaines. Au niveau le plus élevé de la généralité, les relations principal-agent surgissent quand des actions d'un individu a un effet sur un autre. Elle est généralement utilisée dans le secteur privé pour comprendre la gestion des firmes. En sciences économiques néo-institutionnelles, les relations principal-agent sont utilisées pour expliquer l'émergence des relations hiérarchiques au sein des firmes. En sciences politiques, la théorie de délégation est employée pour conceptualiser la traduction de la politique de la science du gouvernement au niveau des institutions scientifiques.¹⁴ Les relations de délégation deviennent particulièrement

¹⁴Les institutions politiques des Etats-Unis ont employé le modèle d'agence pour étudier le

intéressantes et difficiles à analyser lorsqu'il s'agit de celles consistant à la résolution d'une tâche qualifiée où les connaissances et compétences de l'agent jouent un rôle crucial pour le résultat attendu.

Plusieurs motivations mènent le principal à déléguer les fonctions et à conférer l'autorité à l'agent dans le domaine politique, telles que réduire des coûts de transaction, surmonter les problèmes d'actions collectives ou traiter le problème des contrats incomplets.

5.2.1 Incertitudes liées à la délégation

Dans une relation de délégation, les objectifs et finalités professionnelles du principal et de l'agent ne sont pas toujours compatibles. Le problème pour le principal est de proposer un système de rémunération à l'agent afin que celui-ci choisisse l'action qui maximise le profit du principal. Cette relation de délégation, qui se concrétise par des interactions à différents stades du processus de réalisation du contrat, est caractérisée par des incertitudes liées aux problèmes d'information incomplète, aux comportements opportunistes des partenaires ou aux instabilités inhérentes à la production de connaissances.

Incertitude liée à l'asymétrie d'information

L'un des problèmes notables d'une telle délégation entre le principal et l'agent est l'information incomplète qui peut porter sur deux éléments différents.

Le premier problème de l'information incomplète est la sélection adverse qui caractérise le fait que le principal, responsable de recrutement détenant les ressources, n'est pas en mesure d'observer pleinement les capacités et compétences de l'agent. Dans ce cas, l'asymétrie d'information peut permettre à l'agent d'engager des comportements opportunistes *ex ante* qui sont difficilement détectables et coûteux pour le principal (voir Coriat et Weinstein 1995). Le défi du principal est de sélectionner et de motiver l'agent à accomplir sa mission.

rapport entre le Congrès, les agences exécutives, et les tâches de spécialistes accomplies par les comités du Congrès. Schaeffer (1998) utilise le modèle principal-agent pour caractériser la cohérence de l'interface entre l'université et les entreprises et analyser les contraintes qu'elle impose au développement de la valorisation de la recherche universitaire

Deuxièmement, le principal manque de compétence pour observer les actions engagées du partenaire. C'est le problème de l'aléa moral. Il caractérise le cas où l'agent dispose de meilleures informations sur les tâches qui lui ont été confiées, ce qui n'est pas toujours observable par le principal et qui peut permettre à l'agent d'adopter des comportements opportunistes post-contractuels pendant la phase d'exécution du contrat.

Dans la relation entre l'université et le gouvernement, ce dernier est considéré comme incompetent pour estimer ex ante ce qui est nécessaire à la réalisation de ses objectifs, et pour juger ex post la valeur de la recherche scientifique. L'université dispose de toutes les informations que le gouvernement ne connaît pas sur les caractéristiques propres à son organisation (corps des chercheurs, contraintes financières, dispositifs techniques, expériences accumulées dans le type de tâche déléguée par le gouvernement). Le risque que le gouvernement encourt est la prise d'une décision d'action par l'université qui n'est pas la plus appropriée pour répondre à des objectifs voulus du gouvernement, sans qu'il puisse le discerner en raison de son infériorité informationnelle. Pour compenser, le gouvernement peut utiliser les experts indépendants, aussi bien scientifiques que technologiques pour contrôler les activités de l'université. Ces systèmes de surveillance impliquent des coûts additionnels pour le principal. L'établissement des comités de consultation scientifique ou d'agences de financement de recherche peut être expliqué par cette asymétrie d'information.

Incertitude liée aux capacités cognitives et aux connaissances limitées des agents

La relation de délégation entre le principal et l'agent peut être également incertaine en raison de la limite des capacités cognitives et des connaissances des agents partenaires. Dosi et Egidi (1991) distinguent deux types d'incertitude qui sont liés aux deux formes de rationalité évoquées par Simon (1992).

La première incertitude, appelée substantielle, est liée à la rationalité substantive des agents qui ne sont pas en mesure de prévoir à l'avance l'ensemble des éventualités qui agiront sur les résultats de la coopération. Il n'est donc pas possible de définir toutes les actions des partenaires pour les différents états du monde. Une fois les objectifs de la transaction fixés, le comportement rationnel est entièrement déterminé par les caractéristiques de l'environnement dans lequel il a lieu. Ainsi, les agents peuvent uniquement utiliser au mieux

l'information qui est à leur disposition.

La deuxième incertitude, appelée procédurale, est liée à la rationalité limitée des agents. Dans des situations problématiques dans lesquelles les agents doivent rassembler des informations très variées et les traiter de différentes façons pour aboutir à la résolution du problème, la capacité cognitive limitée des agents ne leur permet pas toujours de décrire de façon détaillée tout le système complexe. Cette incertitude affecte le bon déroulement de leurs actions et l'identification des solutions au problème à résoudre. Dans la relation de délégation, l'environnement de la production de connaissances, marqué par des coopérations multiples, variées et multidirectionnelles, est plutôt dominé par une incertitude de type procédurale.

5.2.2 Différents modes de délégation

Dans cette section, nous allons analyser, du point de vue de l'université, les différents mécanismes d'incitation à l'interdisciplinarité en utilisant les différents modes de délégation entre le gouvernement (le principal) et l'université (l'agent). Trois modes de délégation sont pris en compte dans ce cas : celle basée sur la confiance, celle basée sur la surveillance et la délégation par réseau de coopération de recherche.

La délégation basée sur la confiance est une solution ascendante à l'antinomie de politique de science en faisant entièrement confiance à l'université. Elle consiste à transférer tous les droits (d'orientation de la recherche, de réaction au changement des circonstances, de contrôle des activités de recherche) à l'université. Les critères externes n'ont aucune influence sur la production de connaissance de l'université. Ce mode de délégation se traduit par le financement des projets de recherche dont les finalités sont déterminées par l'université. Ce mode correspond au modèle linéaire d'innovation où la recherche académique est supposée être le moteur de l'innovation sans que le gouvernement intervienne.

La délégation basée sur la surveillance reflète le modèle descendant où le gouvernement intervient pour imposer à l'université la direction de la recherche. Elle se traduit par le fait que le gouvernement finance des projets de recherche dont les finalités et l'orientation sont prédéterminées par le gouvernement et que le gouvernement surveille les activités de recherche de l'université.

Elle est liée à l'hypothèse centrale de la théorie du principal-agent selon la-

quelle le principal essayera de réduire au minimum des pertes d'agence issues de l'aléa moral et de la sélection adverse. Compte tenu des risques et incertitudes liés à la délégation, le principal cherche à trouver le moyen d'assurer une entente parfaite entre les deux parties, afin que l'agent ne profite pas d'informations avantageuses pour dévier des préférences du principal. Kiewiet et McCubbins (1991) identifient quatre classes des mesures prévues pour contenir des pertes d'agence.

D'abord, le principal peut concevoir son contrat avec l'agent afin d'établir une structure d'incitation appropriée impliquant, en particulier, un certain nombre de sanctions à appliquer en cas de mauvais comportement. En second lieu, il peut établir les mécanismes de sélection qui mèneront l'agent à révéler son information cachée et, ainsi, à limiter des problèmes de sélection adverse. Troisièmement, la surveillance et les rapports peuvent être créés afin de contrôler les actions de l'agent. Quatrièmement, les contrôles institutionnels visent à limiter la capacité de l'agent à poursuivre des actions potentiellement préjudiciables de manière unilatérale.

Le principal peut utiliser deux mécanismes de contrôle des actions de l'agent pour rééquilibrer l'asymétrie d'information. Premièrement, le contrôle ex-ante prend typiquement la forme de procédures administratives, conçues pour limiter les activités de l'agent et des procédures que l'agent doit suivre. Elles peuvent être plus ou moins restrictives, et peuvent être modifiées en réponse à la perte d'agence. Ces procédures sont flexibles et susceptibles de changer en fonction de l'état de la relation de délégation. Deuxièmement, le contrôle ex-post consiste à l'imposition des sanctions telles que la restriction budgétaire ou la révision du mandat de délégation par des moyens législatifs. Par ailleurs, au cours du contrat de délégation, le principal peut soit surveiller les actions de l'agent de manière continue soit les surveiller indirectement, à travers les groupes d'intérêt, les médias, etc. qui vont l'alerter en cas de transgressions. La deuxième stratégie est moins coûteuse que la première. Dans tous les cas, les deux méthodes de surveillance impliquent des coûts pour le principal.

La délégation par réseau de coopération prend en compte le fait que la production des connaissances est un processus social, cumulatif et collectif qui nécessite d'être considéré dans un large environnement où participent des institutions différentes (cf. chapitre 1). Ce principe de la connectivité devient un problème important pour la nouvelle politique de financement de la recherche

dans une société de plus en plus complexe. Sous la délégation par réseau de recherche, le gouvernement finance les projets de recherche interdisciplinaire en définissant l'orientation générale du projet. L'université et les partenaires de recherche ont le droit de décider des finalités, et du mode de coopération ainsi que de s'adapter librement à des circonstances spécifiques. Le rôle important du gouvernement est de gérer l'interdépendance et la coopération des participants au réseau ainsi que de veiller à ce que le comportement scientifique satisfasse les besoins prédéfinis.

5.3 Incitations dans un modèle de délégation avec information incomplète

Dans cette section, nous présentons la relation entre le gouvernement (le principal)¹⁵ et le laboratoire universitaire (l'agent) à l'aide d'un modèle simple à information incomplète afin d'étudier les différents modes de délégation en termes d'incitation au laboratoire à s'engager dans l'interdisciplinarité. C'est un modèle de long terme car d'une part, il est plus proche de la réalité des relations liées à la production de connaissances qui durent dans le temps. D'autre part, il nous permet de prendre en compte les bénéfices futurs liés aux expériences cumulées et expertises nécessaires permettant au laboratoire de s'engager facilement dans davantage de programmes interdisciplinaires.

Nous posons l'hypothèse que le gouvernement désire promouvoir les programmes interdisciplinaires pour répondre à des besoins industriels, sociaux et environnementaux tandis que les chercheurs universitaires, considérés comme producteurs et diffuseurs de connaissances, préfère focaliser la recherche sur des sujets propres à leurs disciplines. Dans le cadre de notre modèle, développer au mieux l'interdisciplinarité revient à dire que le gouvernement cherche à maximiser son utilité espérée tout en respectant les contraintes d'incitation et de rentabilité du laboratoire. Le problème pour le gouvernement est de proposer un système d'allocation des ressources de recherche au laboratoire afin que celui-ci choisisse l'action appropriée qui réponde aux objectifs du gouver-

¹⁵Dans la réalité, la délégation entre le gouvernement et l'université se réalise généralement par l'intermédiaire d'une agence de financement ou un organisme représentant. Par souci de simplification, nous considérons ici que le gouvernement délègue le projet de recherche directement à l'université.

nement, à savoir l'interdisciplinarité.

L'objectif de la construction de la relation entre le gouvernement et le laboratoire comme une relation d'agence à information imparfaite n'est pas de déterminer les solutions optimales du contrat de délégation, mais de pouvoir étudier les différents facteurs de contraintes et de cohérences permettant la réalisation du contrat avec un niveau d'effort du laboratoire qui satisfasse les demandes du gouvernement. Autrement dit, nous comparons les conditions de réussite du contrat des différents modes de délégation. Notre analyse se base spécifiquement sur les coûts et les avantages qui résultent de la pratique de la recherche interdisciplinaire, sachant qu'ils varient d'un type de contrat à l'autre. Ce modèle est inspiré, d'une part, du modèle de la relation entre laboratoire et entreprise au sujet de la valorisation de la recherche universitaire, développé par Schaeffer (1998) et, d'autre part, du modèle d'agence des relations entre les pouvoirs publics et la science de Braun (2003) et de Van der Meulen (1998) .

Structure de décision du modèle

Le gouvernement et l'université négocient les conditions de mise en place d'un contrat de recherche A qui peut être accepté ou refusé par le laboratoire. La logique du modèle est que le gouvernement ne peut pas entièrement observer les actions du laboratoire. Celui-ci cherche à cacher le plus d'information sur ses compétences et ses circonstances spécifiques afin de réduire au minimum ses efforts pour les objectifs du principal. Le laboratoire peut fournir un niveau d'effort élevé (e_H) ou un niveau d'effort faible (e_L). Avec un niveau d'effort élevé, les objectifs du gouvernement auront plus de chance d'aboutir qu'avec un niveau faible car les chercheurs universitaires consacreront davantage de temps et d'énergie pour travailler sur le contrat. Nous supposons que le gouvernement et le laboratoire sont neutres au risque.

Les résultats attendus de la délégation sont R_H et R_L respectivement réalisés avec l'effort fort et l'effort faible. Nous supposons que R_H est supérieur à R_L , ce qui signifie que R_H est l'objectif du gouvernement.

Le gouvernement ne peut pas connaître exactement les compétences concernant la recherche interdisciplinaire du laboratoire. Néanmoins, il peut les estimer à travers les variables telles que le nombre de publications, la réputation des chercheurs, l'organisation de conférences, etc. En observant ces facteurs, le

FIG. 5.1 – Séquences de décisions

gouvernement peut ainsi seulement estimer que la probabilité, notée p_1 , d'obtenir le résultat satisfaisant R_H lorsque le laboratoire adopte le niveau d'effort élevé est plus grande que la probabilité, notée p_2 , d'obtenir le résultat R_L avec un niveau d'effort élevé e_H ($p_1 > p_2$). De même, il est plus probable qu'un résultat R_L soit obtenu avec un niveau d'effort faible qu'un résultat satisfaisant R_H .

Le laboratoire obtient un financement A_H s'il fournit un niveau d'effort élevé e_H permettant d'obtenir le résultat R_H et A_L s'il fournit un niveau d'effort faible e_L permettant d'obtenir le résultat R_L . Nous supposons $A_H > A_L$. Comme l'effort du laboratoire n'est pas observable par le gouvernement, le programme ne pourra pas conditionner le paiement aux niveaux d'effort choisis mais seulement aux résultats estimés (R_H et R_L). Le gouvernement prend sa décision compte tenu de sa contrainte de rentabilité et de sa situation d'incertitude inhérente à la délégation. Il sait également que le laboratoire peut être opportuniste en optant pour l'effort faible même si l'effort élevé était convenu au moment de l'acceptation du programme. Les paiements du gouvernement et du laboratoire sont présentés dans la Figure 5.1.

Gouvernement

L'utilité espérée du gouvernement dépend positivement des efforts, et négativement des coûts de gestion et de surveillance des activités du laboratoire. La fonction d'utilité espérée du gouvernement est définie comme suit :

$$U_{\text{Gouvernement}} = p_1[R_H - (O_H + S_H + A_H)] + p_2[R_L - (O_H + S_H + A_L)] \quad (5.1)$$

avec :

- $R(e)$: les bénéfices du gouvernement qui dépendent des niveaux d'effort de l'agent. Plus l'effort du laboratoire est grand, plus les bénéfices du gouvernement sont importants. Le principal obtient R_H et R_L respectivement lorsque l'agent choisit l'effort élevé et l'effort faible.

- $A(e)$: le budget que le gouvernement verse au laboratoire pour qu'il puisse réaliser les objectifs fixés. Les budgets A_H et A_L sont les coûts supportés par le gouvernement. Ces coûts se présentent sous différentes formes de financement en fonction du mode de délégation choisi.

- $O(e)$: le coût de détermination des objectifs de recherche et des activités du gouvernement pour obtenir l'effort du laboratoire.

- $S(e)$: le coût supplémentaire si le gouvernement décide de surveiller le laboratoire dans la réalisation des objectifs fixés.

Laboratoire

Nous supposons que l'utilité espérée du laboratoire dépend positivement de la réputation scientifique et négativement de la perte de temps et d'effort pour satisfaire les besoins du gouvernement. La fonction d'utilité espérée du laboratoire universitaire est définie de la manière suivante :

$$U_{\text{Laboratoire}} = p_1A_H + p_2A_L + (Y_H + X_H) - (G_H + E_H) \quad (5.2)$$

avec :

- $A(e)$: le financement de recherche en provenance du gouvernement. Le gouvernement peut décider de la manière d'allouer ces ressources, soit à l'institution sans conditions ou objectifs prédéfinis, soit à un projet de recherche sans conditions soit à un projet de recherche avec des conditions précises sur le fonctionnement et les objectifs à atteindre. Ces modes de financement varient en fonction du contexte budgétaire et des comportements de l'agent.

Ce financement est d'une grande importance pour les scientifiques car il leur permet d'élargir les équipes de recherche, de donner des opportunités à des jeunes chercheurs et d'avoir des fonds d'investissement pour de meilleurs équipements utilisés également pour la recherche disciplinaire.

- $Y(e)$: le bénéfice lié à des incitations intrinsèques à s'engager dans la recherche interdisciplinaire. Il résulte de l'enrichissement des connaissances grâce aux activités interdisciplinaires. Les scientifiques sont incités à participer à des projets de recherche interdisciplinaire non seulement pour obtenir des ressources, mais également pour satisfaire la curiosité et la passion de développer et de résoudre un problème complexe. La recherche interdisciplinaire peut également fournir une meilleure crédibilité et réputation aux chercheurs.

- $X(e)$: le bénéfice futur lié aux programmes de coopération qui pourront être effectués ultérieurement, si le gouvernement est satisfait des contrats passés avec le laboratoire. Ce bénéfice varie également selon le niveau d'effort du laboratoire. Plus ce niveau est élevé (e_H), plus le bénéfice futur est grand (X_H).

- $G(e)$: le coût de gestion, lié à la rigidité institutionnelle, à l'acquisition des ressources et à la surveillance du gouvernement. Les procédures administratives d'acquisition de ressources sont des éléments significatifs des coûts de recherche interdisciplinaire. Il y a d'autres coûts qui sont d'autant plus difficiles à évaluer empiriquement, tels que la perte des opportunités à travers les décalages procédurales des projets (Ziman 1994) ou la chance réduite de promotion due à la rigidité des structures de carrières académiques basées encore sur le cursus disciplinaire du chercheur.

- $E(e)$: le coût d'effort (notamment en temps) que le laboratoire consacre à la réponse des objectifs du principal (l'interdisciplinarité) plutôt que de se concentrer sur ses propres intérêts et priorités professionnelles (la monodisciplinarité). Nous notons E_H (E_L) le coût supporté par le laboratoire si le niveau d'effort choisi est e_H (e_L).

De manière générale, les programmes interdisciplinaires ont un délai de résultats qui nécessitent un investissement long en temps. En outre, le laboratoire doit préparer les propositions de projet, l'évaluation des spécialistes, la réunion d'experts et l'élaboration d'un consensus. L'inconvénient d'un tel programme est lié au fait que les participants venant de disciplines différentes doivent faire face aux problèmes de langages, de cultures scientifiques différentes. Un long

laps de temps est souvent nécessaire pour que les membres puissent communiquer ensemble. Le caractère tacite ou codifié de la connaissance échangée entre les participants du contrat est également un facteur déterminant de la nature de la relation, et par conséquent de l'évolution du coût de l'effort.

L'objectif du laboratoire est de maximiser son bénéfice issu du contrat, sous sa contrainte de rentabilité. Le contrat est accepté avec un niveau d'effort élevé seulement si son utilité espérée est supérieure à la marge minimale déterminée par le laboratoire, que nous supposons égale à m .

La contrainte de participation s'écrit comme suit :

$$p_1 A_H + p_2 A_L + (Y_H + X_H) - (G_H + E_H) \geq m \quad (5.3)$$

Cette marge minimale m est plus ou moins élevée selon l'intérêt scientifique que présente le contrat et selon les contraintes budgétaires du laboratoire. Si le laboratoire a un budget qui le lui permet, la contrainte de rentabilité peut être assouplie.

Dans ce modèle, le gouvernement ne peut pas observer l'effort du laboratoire, par conséquent le niveau d'effort ne pourra pas être stipulé dans le contrat. Dans ce cas, le gouvernement doit inciter le laboratoire non seulement à accepter le contrat en respectant sa contrainte de participation, mais également à réaliser un niveau d'effort attendu. Nous supposons que le gouvernement souhaite toujours induire le niveau d'effort élevé qui lui permet d'obtenir une utilité maximale. Pour que le laboratoire fournisse ce niveau d'effort, la rémunération nette espérée du laboratoire lorsqu'il choisit le niveau d'effort élevé doit être supérieure à celui qu'il aurait pu obtenir en choisissant le niveau d'effort faible.

Cette contrainte d'incitation est écrite comme suit :

$$\begin{aligned} p_1 A_H + p_2 A_L + (Y_H + X_H) - (G_H + E_H) &\geq \\ p_2 A_H + p_2 A_L + (Y_L + X_L) - (G_L + E_L) &\end{aligned} \quad (5.4)$$

Dans la partie suivante, nous allons appliquer ce modèle de délégation au cas où le gouvernement fait entièrement confiance au laboratoire pour répondre à des objectifs de recherche stipulés dans le contrat.

5.3.1 Délégation basée sur la confiance

Dans ce mode de délégation, le gouvernement délègue au laboratoire le contrat de recherche sans contraintes d'objectifs. Le laboratoire est libre de

décider du fonctionnement de la recherche ainsi que des finalités à atteindre. Le financement versé aux scientifiques est sous forme de financement institutionnel ou de financement de projet sans conditions spécifiques prédéterminées par le gouvernement.

Le laboratoire a intérêt, d'une part à choisir le niveau d'effort faible qui lui permet de maximiser l'utilité espérée et d'autre part à obtenir le budget de recherche maximum acceptable par le gouvernement. Sachant qu'il ne peut pas observer l'effort du laboratoire, le gouvernement conditionne le budget de recherche en fonction des résultats anticipés qui sont basés sur des déclarations de politique du laboratoire envers l'interdisciplinarité dans des rapports annuels, quadriennaux, proposition de projets ou documents budgétaires. Le laboratoire peut exercer ses activités scientifiques sans prendre en considération des critères externes, il n'y a aucun coût de contrôle pour le laboratoire en acceptant le financement. Par conséquent, le laboratoire a toujours intérêt à proposer un niveau d'effort élevé e_H , puis à fournir par la suite un effort faible e_L permettant de réduire les coûts d'effort $E(e)$ et de gestion $G(e)$ et de consacrer le temps disponible à ses priorités de recherche.

Pour le gouvernement, les coûts liés à la démarche de délégation et à la gestion du contrat $G(e)$, à la surveillance $S(e)$ sont nuls.

Puisque le gouvernement fait entièrement confiance au laboratoire et espère simplement qu'il y ait une convergence des activités scientifiques et des intérêts politiques à long terme, il propose un budget de recherche qui correspond à un niveau d'effort élevé (A_H). Il n'y a aucune contrainte sur le risque moral ni garantie que le laboratoire se comportera comme l'espère le gouvernement. La délégation pourra donc être effectuée, s'il existe un budget A_H qui permette au gouvernement d'accepter la délégation et qui satisfasse la contrainte du laboratoire.

Le budget maximum, noté A_{Hmax} , que le gouvernement est prêt à payer vérifie :

$$\begin{aligned} R_H - (A_{Hmax} + O_H + S_H) &= R_H - A_{Hmax} = 0 \\ \iff A_{Hmax} &= R_H \end{aligned} \tag{5.5}$$

Ce budget maximum satisfait la contrainte de rentabilité du laboratoire et lui permet de maximiser son utilité espérée.

Interprétation

Le modèle de délégation basé sur la confiance a des insuffisances évidentes dans la mesure où il ne permet pas de prendre en considération les incitations intrinsèques de long terme de la recherche interdisciplinaire. Si l'augmentation de l'intérêt scientifique et l'assurance au niveau de carrière en faisant la recherche disciplinaire sont suffisamment grands pour compenser cette perte d'intérêt intrinsèque, le laboratoire aura toujours intérêt à adopter un comportement opportuniste ex post et choisira toujours un niveau d'effort faible. Le risque moral est donc très fort.

Par ailleurs, ce mode de délégation basée sur la confiance permet au laboratoire d'obtenir des ressources pour réaliser ses propres objectifs de recherche, sans se soucier des besoins externes. Par conséquent, il ne permet pas d'encourager l'interdisciplinarité mais renforce le verrouillage disciplinaire déjà très fort à l'université.

5.3.2 Délégation sous surveillance

Le modèle de délégation sous surveillance permet de prendre en compte le souci du gouvernement de l'efficacité du budget public et de la qualité du contrat. Ce qui change par rapport à la délégation basée sur la confiance se situe au niveau du comportement du laboratoire universitaire. Lorsqu'il n'y a plus d'assurance de financement de la part du gouvernement, le laboratoire doit décider de fournir le niveau faible ou fort en fonction des bénéfices obtenus avec chaque niveau d'effort.

Ici, le financement du contrat est composé de financement institutionnel et financement de projets avec des conditions spécifiques sur les objectifs du contrat. De plus, le gouvernement peut engager des procédures de surveillance des activités du laboratoire, afin d'assurer qu'elles répondent aux objectifs fixés.

Ainsi, le coût de surveillance $S(e)$ peut être plus ou moins élevé, selon l'intensité de contrôle. Le gouvernement doit également prédéfinir les priorités et objectifs du laboratoire, ce qui implique des coûts supplémentaires $O(e)$.

Le gouvernement veut induire un effort élevé du laboratoire, mais il ne peut pas l'observer. Par conséquent, il doit inciter le laboratoire à participer à la délégation en respectant sa contrainte de participation (cf. équation 5.3)

et à fournir le niveau d'effort élevé en respectant la contrainte d'incitation (cf. équation 5.4). Elle assure que la rémunération nette espérée du laboratoire lorsqu'il fournit le niveau d'effort élevé est supérieure à celle qu'il aurait pu obtenir en choisissant le niveau d'effort faible. Cette contrainte peut se réécrire comme suit :

$$(A_H - A_L)(p_1 - p_2) + ((Y_H + X_H) - (Y_L + X_L)) \geq ((G_H + E_H) - (G_L + E_L)) \quad (5.6)$$

avec

◦ $(A_H - A_L)$: l'augmentation de l'intérêt monétaire si e_H est choisi plutôt que e_L .

◦ $(Y_H + X_H) - (Y_L + X_L)$: l'augmentation de l'intérêt intangible et non monétaire (réputation, carrière) si e_H est choisi plutôt que e_L .

◦ $(p_1 - p_2)$: la mesure de la confiance du gouvernement envers le laboratoire, en terme de compétences et expériences présentes et passées du laboratoire. Plus $(p_1 - p_2)$ est grand, plus la confiance est forte.

◦ $(G_H + E_H) - (G_L + E_L)$: l'augmentation des coûts issus de la délégation (effort, gestion) si e_H est choisi plutôt que e_L .

Le programme du gouvernement consiste à maximiser son utilité espérée (équation 5.1.1) en tenant en compte des contraintes d'incitation et de participation du laboratoire. Les valeurs optimales de ce programme de délégation sont :

$$A_H^* = m - \frac{p_1((Y_H + X_H) - (G_H + E_H)) - p_2((Y_L + X_L) - (G_L + E_L))}{p_1 - p_2} \quad (5.7)$$

$$A_L^* = m + \frac{p_2((Y_H + X_H) - (G_H + E_H)) - p_1((Y_L + X_L) - (G_L + E_L))}{p_1 - p_2} \quad (5.8)$$

La rémunération du laboratoire est donc composée d'une partie fixe (m) et d'une partie variable qui dépend de la confiance du gouvernement dans les compétences du laboratoire ($p_1 - p_2$), de l'intérêt intrinsèque, bénéfices futurs ($Y(e) + X(e)$) et des coûts d'effort et de gestion supportés par le laboratoire ($E(e) + G(e)$).

Avec ce schéma de rémunération, il est indifférent pour le laboratoire d'accepter le contrat de délégation tout en fournissant un niveau d'effort élevé ou de ne pas accepter, puisque sa rémunération espérée est égale aux coûts de l'effort et de la gestion du contrat.

Solutions envisageables

Nous étudions les solutions du modèle en nous focalisons sur le cas où la prise en compte des coûts de surveillance et de gestion du contrat et des bénéfices non monétaires espérés modifient le comportement du laboratoire.

Si la contrainte de participation du laboratoire est saturée, nous distinguons deux cas en fonction de la contrainte d'incitation du laboratoire.

$$- \text{Cas 1} : (A_H - A_L)(p_1 - p_2) + ((Y_H + X_H) - (Y_L + X_L)) \leq ((G_H + E_H) - (G_L + E_L))$$

Les revenus futurs espérés (monétaires et non monétaires) ne sont pas assez importants pour inciter le laboratoire à fournir effectivement un niveau d'effort de type e_H . Deux cas sont alors envisageables :

1. $A_{Lmax} > A_L^*$: le financement maximum que le gouvernement peut proposer pour un résultat espéré correspondant à un niveau d'effort faible est supérieur au financement minimum que le laboratoire peut accepter. La délégation peut se réaliser avec un niveau d'effort faible e_L , avec un financement A_L et un le résultat espéré R_L .
2. $A_{Lmax} \leq A_L^*$: il n'y a aucun financement qui permet de satisfaire simultanément les deux organisations.

$$- \text{Cas 2} : (A_H - A_L)(p_1 - p_2) + ((Y_H + X_H) - (Y_L + X_L)) > ((G_H + E_H) - (G_L + E_L))$$

Les bénéfices futurs espérés sont suffisamment importants pour qu'il soit plus intéressant pour le laboratoire de fournir effectivement un niveau d'effort élevé e_H . Dans ce cas, si e_H est choisi plutôt que e_L , l'augmentation des coûts est compensée par l'augmentation des bénéfices futurs escomptés.

Mais la réalisation de la délégation n'est possible que si le financement minimum A_H que le gouvernement est prêt à payer au laboratoire vérifie la contrainte de rentabilité du gouvernement (cf. équation 5.1.1). Ce financement doit être inférieur au financement maximum A_{Hmax} que le gouvernement est prêt à payer pour un programme de recherche dont le niveau d'effort est élevé, compte tenu de la contrainte de rentabilité. La condition de réalisation de la délégation est : $A_H^* < A_{Hmax}$. Nous distinguons alors deux cas :

1. $A_H^* < A_{Hmax}$: le financement maximum que le gouvernement est prêt de payer est supérieur au financement minimum acceptable par le labora-

toire. Les contraintes de rentabilité des deux acteurs sont compatibles. Le laboratoire accepte le contrat de recherche et fournit effectivement un niveau d'effort élevé. Le surplus espéré du laboratoire sera supérieur aux coûts d'effort et de gestion. Dans ce cas, le laboratoire n'a pas intérêt à fournir un niveau d'effort faible car son surplus espéré serait plus faible et le surplus espéré du gouvernement est le plus fort parmi les solutions envisageables.

2. $A_H^* \geq A_{Hmax}$: le financement maximum que peut proposer le gouvernement est inférieur au financement minimum acceptable par le laboratoire. La délégation ne peut se réaliser car elle ne peut être profitable aux deux acteurs simultanément.

Interprétation

A la différence de la délégation basée sur la confiance, où le risque moral est très élevé, ce mode de délégation sous surveillance a tendance à réduire le risque moral de la part du laboratoire. Lorsque la délégation est basée sur la surveillance, où la rémunération consiste en un financement de projets avec contraintes d'objectifs, le laboratoire se trouve dans une situation de compétition avec les autres institutions de recherche. Le laboratoire est plus disposé à répondre aux besoins du gouvernement avec un niveau d'effort élevé, mais seulement à condition que ses bénéfices futurs escomptés (non monétaires) soient suffisamment importants pour compenser l'augmentation des coûts de l'effort et de gestion du programme de recherche.

L'importance de la croissance des coûts est un facteur qui favorise le comportement opportuniste du laboratoire, de sorte qu'il soit incité à fournir un niveau d'effort faible. Ces coûts sont d'autant plus importants que le laboratoire manque de certaines compétences (de nature scientifique ou technologique ou par rapport à la gestion de projet) lui permettant de réaliser au mieux la demande du gouvernement. Cette croissance est due également à la distance qui peut exister entre les disciplines impliquées dans le projet de recherche. L'expérience, la maîtrise de la technologie et la connaissance du domaine concerné permettent au laboratoire d'être plus efficace dans la réponse de la demande du gouvernement. Le manque d'expérience implique des coûts plus importants notamment en terme de temps de travail pour s'adapter aux besoins, d'où une augmentation de l'incitation à limiter les efforts.

La délégation basée sur des efforts élevés ne peut se nouer qu'à travers des relations de long terme entre laboratoire et gouvernement. Pour assurer que le laboratoire coopère et fournit un niveau d'effort élevé, le gouvernement peut, d'une part, augmenter la rémunération sous forme de financement avec des objectifs prédéfinis et, d'autre part, essayer de réduire les coûts de l'effort et de la gestion du projet supportés par le laboratoire. De plus, valoriser ou augmenter la reconnaissance de tel programme interdisciplinaire par des pairs favorise l'incitation à s'engager dans de tels projets.

Le gouvernement subit des coûts de détermination des priorités de recherche et de surveillance plus élevés que dans le cas où il fait entièrement confiance au laboratoire. Nous pouvons néanmoins supposer que le coût de surveillance est décroissant dans le temps, dans la mesure où le changement des structures de carrière et la confiance mutuelle peuvent diminuer le comportement opportuniste du laboratoire avant et pendant la phase d'exécution du contrat.

5.3.3 Délégation par réseau de collaboration

Par rapport aux modes de délégation basée sur la confiance et la surveillance, la délégation sous forme de réseau de collaboration suit une autre logique d'action. Elle prend en compte le fait que la production de connaissances est un processus social, cumulatif et collectif. Le principe de la connectivité devient un souci important dans la nouvelle politique de financement de recherche pour faire face à la complexité croissante des problèmes à résoudre. Nous supposons donc que le laboratoire universitaire a intérêt à développer des alliances et coopérations avec les entreprises ou/et les autres organismes publics de recherche.

Entreprise et autres organismes de recherche

Tout d'abord, il est important de souligner que l'interdisciplinarité n'est pas une notion étrangère au monde industriel. Les technologies émergentes ne se développent pas dans l'isolement, mais dans un réseau intensif où scientifiques et ingénieurs de plusieurs disciplines travaillent ensemble. La technologie ¹⁶ ainsi

¹⁶Nous convenons ici que la technologie représente la recherche appliquée, essentiellement la recherche industrielle et le développement

que ses fondations scientifiques ne font pas seulement face aux problèmes techniques. Les développements technologiques sont incorporés dans un système socio-économique et politique très large qui juge les progrès technologiques avec des critères spécifiques différents de ceux de la simple faisabilité technique. La technologie basée sur la science ne peut donc ignorer la complexité des problèmes de la vie quotidienne dont la résolution nécessite de dépasser l'organisation disciplinaire de la science (Schmoch *et alii* 1994).

Les entreprises qui entretiennent le plus de collaborations de recherche avec les laboratoires universitaires appartiennent à des secteurs d'activités fortement basés sur la science tels que la pharmacie, la physique, la chimie et l'électronique. Il s'agit de secteurs pour lesquels les opportunités d'innovation sont importantes. Ils ont généralement des structures internes de recherche et de développement leur permettant d'avoir les connaissances nécessaires pour absorber les résultats de la recherche scientifique et pour collaborer avec des chercheurs. Ces activités de recherche et de développement internes sont la base de l'accumulation technologique qui est fortement liée aux connaissances, aux savoir-faire et aux techniques de la recherche scientifique.

Les contributions de la science à la technologie sont multiples et ne se limitent pas au progrès technologique que permettent les avancées scientifiques. Les connaissances scientifiques peuvent être la source directe d'applications industrielles et contribuent au développement technologique en aidant à résoudre des problèmes interdisciplinaires, même si la recherche a été conduite sans objectif d'application. Elles sont également la source indirecte d'innovations à travers le rôle d'évaluation d'une technologie ou de l'anticipation des effets sociaux. La science contribue également au développement technologique par le biais de la formation de chercheurs industriels et de l'utilisation des équipements et techniques élaborés au sein des laboratoires universitaires.

Ces contributions technologiques de la science expliquent la forte motivation des entreprises à se tourner vers les universités : se tenir au courant des technologies et des domaines scientifiques qui évoluent rapidement, de manière à rester ouvertes à des stratégies d'exploration et à de nouvelles options technologiques (les droits de propriété constituent un des facteurs importants expliquant cette motivation) ; collaborer dans des activités de recherche spécifiques dans lesquelles les partenaires apportent des compétences complémentaires et tacites ; faire réaliser des tests ou des contrats de recherche à des institutions

non-industrielles ; garder des contacts avec la recherche pour avoir accès à du capital humain de pointe.

De même que les entreprises, les laboratoires universitaires ont eux aussi intérêt à coopérer avec les autres organismes publics de recherche afin d'élaborer et d'exécuter des programmes interdisciplinaires. En effet, l'intérêt de l'interdisciplinarité se trouve également au niveau de la résolution des problèmes complexes de la société, qui nécessitent souvent l'apport de compétences scientifiques et techniques complémentaires détenues par d'autres institutions de recherche.

La perspective de développer les alliances avec les partenaires publics ou privés oblige les laboratoires universitaires à élaborer et à mettre en oeuvre des stratégies de divulgation et de circulation de ses compétences scientifiques afin de convaincre les entreprises et institutions de recherche de développer des coopérations avec eux. Cette nécessité est d'autant plus forte que dans les organismes de recherche "émergents" tels que les laboratoires universitaires, les connaissances sont tacites et locales. Par conséquent, elles nécessitent d'importants investissements pour être répliquées et utilisées par d'autres organismes (Callon *et alii* 1999). Nous verrons par la suite que cet effort implique des coûts supplémentaires aux laboratoires universitaires.

Dans la suite de l'étude, nous reprenons le modèle de délégation développé précédemment et y ajoutons un troisième agent, à savoir l'entreprise et les autres institutions de recherche. Nous les appelons désormais "le partenaire de recherche" (industriel et non-industriel) des laboratoires universitaires.

Séquences de décision

Le gouvernement joue toujours le rôle de l'agent qui finance la recherche et qui a pour objectif de développer les programmes de recherche interdisciplinaire. Le gouvernement finance les projets en définissant leur orientation générale. L'université et les partenaires de recherche ont le droit de décider des objectifs, du mode de coopération et de s'adapter librement à des circonstances spécifiques. La question est de savoir comment associer la production de connaissances scientifiques à d'autres problèmes sociaux sans pour autant réduire l'autonomie de la science (Braun 2003).

Le laboratoire peut accepter ou refuser le contrat proposé. Si le laboratoire accepte le contrat, il peut décider de fournir un niveau d'effort élevé ou

un niveau d'effort faible. Ce qui change par rapport aux modes de délégation basée sur la confiance et sous surveillance est que le choix du niveau d'effort du laboratoire est conditionné par la densité et la qualité des alliances qu'il développe avec les entreprises et d'autres organismes de recherche. Le laboratoire universitaire étudie les opportunités de coopérer avec le partenaire de recherche potentiel qui est susceptible d'apporter au laboratoire un soutien financier supplémentaire et de lui fournir des connaissances technologiques et scientifiques complémentaires nécessaires pour mener à bien le contrat.

Les séquences de décisions se font alors en deux étapes. Dans la première étape, le laboratoire propose le projet de recherche au partenaire potentiel avec qui il souhaite coopérer. La négociation se déroule alors comme s'il s'agissait d'un jeu à deux acteurs, le laboratoire et le partenaire. Le laboratoire propose au partenaire le projet de coopération et choisit le niveau d'apport (a) que celui-ci fournira afin de réaliser le projet. Un niveau d'apport élevé a_H signifie que le projet bénéficiera au partenaire en terme de connaissances scientifiques complémentaires. Un projet a un niveau d'apport faible a_L s'il fournit moins de connaissances complémentaires qu'attend le partenaire. Le laboratoire propose par la suite un financement pour le projet défini. C'est l'existence d'un financement compatible avec les contraintes de chacun des deux acteurs qui va déterminer la réalisation effective de la coopération. Le partenaire décide d'accepter ou de refuser le projet. Il prend sa décision compte tenu de sa contrainte de rentabilité et de sa situation d'incertitude. Cette incertitude est liée à la nature même du projet lorsqu'il s'agit d'un contrat de recherche et découle par ailleurs de l'asymétrie d'information avec le laboratoire.

Dans la deuxième étape, le gouvernement prend en compte la contrainte de compatibilité des rentabilités du laboratoire et du partenaire dans son programme de maximisation de l'utilité espérée afin de déterminer les allocations de chaque résultat anticipé. La suite du jeu se déroule comme dans les modèles précédents.

Laboratoire

Le décision de fournir un niveau d'effort élevé ou faible dépend du résultat de la négociation avec le partenaire de recherche pour une coopération éventuelle. L'utilité que le laboratoire cherche à maximiser correspond à la différence entre les avantages qu'il retire de la coopération et les coûts liés à

celle-ci.

Les avantages proviennent, d'une part, du soutien financier $F(a)$ que le laboratoire peut obtenir du partenaire et d'autre part, à travers l'apprentissage interactif avec le partenaire, le laboratoire enrichit à la fois ses connaissances scientifiques et technologiques. La coopération permet également d'acquérir une reconnaissance et une crédibilité dans le monde technologique ouvrant au laboratoire des perspectives pour s'engager dans des alliances et coopérations futures ($I(a)$). Le laboratoire universitaire supporte également le coût lié aux activités de coopération avec le partenaire de recherche $C(a)$.

La contrainte de rentabilité du laboratoire dans sa relation avec le partenaire est :

$$F_H + I_H - C_H \geq 0 \iff F_H = C_H - I_H = F_{min} \quad (5.9)$$

F_{min} correspond au financement minimum auquel le laboratoire accepte de coopérer avec le partenaire en fournissant un niveau d'apport élevé a_H . Un financement inférieur ne permet pas de vérifier la contrainte de rentabilité à laquelle est soumis le projet.

Partenaire de recherche

La fonction d'utilité espérée du partenaire est également prise en compte. Elle dépend positivement du résultat de la coopération, de l'enrichissement des connaissances scientifiques et technologiques $Z(e)$ et de la réputation dans le monde scientifique ($K(e)$). Elle dépend négativement du financement $F(e)$ qu'il verse au laboratoire et du coût d'apprentissage L . En outre, le partenaire exige un taux de rentabilité minimum t . Ce taux augmente avec le niveau de risque de la coopération. Si la rentabilité de la délégation est inférieure à t , le partenaire préférera coopérer avec un autre laboratoire. Le partenaire supporte également un coût d'opportunité $(F(e)+L)t$.

La fonction d'utilité espérée du partenaire de recherche s'écrit donc :

$$U_{Partenaire} = (Z(e) + K(e)) - (F(e) + L)(1 + t) \quad (5.10)$$

Gouvernement

Avec la participation du partenaire au réseau de recherche, la fonction d'utilité du gouvernement change. Son bénéfice espéré ne provient pas seulement

de l'effort du laboratoire, mais également de celui du partenaire qui participe au réseau de recherche. $R(e)$ devient $R^r(e)$ avec $R^r(e) \succ R(e)$. De plus, à part les coûts de surveillance $S^r(e)$ et de détermination des objectifs $O^r(e)$, le gouvernement supporte un coût supplémentaire lié aux activités de gestion de la coopération avec le partenaire de recherche $Co(e)$.

La fonction d'utilité du gouvernement (cf. équation 5.1) devient donc :

$$U_{\text{Gouvernement}}^r = p_1^r(R_H^r - A_H) + p_2^r(R_L^r - A_L) - (O_H^r + S_H^r + Co_H) \quad (5.11)$$

L'objectif du gouvernement est de maximiser son utilité espérée en respectant les contraintes de rentabilité et d'incitation du laboratoire et du partenaire de recherche.

Solutions envisageables

Le laboratoire propose le projet de recherche au partenaire. Le laboratoire a intérêt d'une part, à choisir le niveau d'effort élevé qui incite le partenaire à s'engager dans le projet, et d'autre part à proposer un financement minimum F_{min} qui correspond à un niveau d'apport élevé pour lui permettre de maximiser sa rentabilité.

Notre hypothèse principale ici est que le partenaire a également intérêt à s'engager dans le projet de coopération avec le laboratoire car il lui permet de s'enrichir et diversifier ses connaissances scientifiques et technologiques. Etant donné cette hypothèse, le partenaire choisira de coopérer avec le laboratoire et versera le financement maximum F_{max} qu'il est prêt à payer.

Le financement F_{max} doit vérifier :

$$(Z_H + K_H) - (F_{max} + L)(1 + t) = 0 \iff F_{max} = \frac{Z_H + K_H}{1 + t} - L \quad (5.12)$$

Pour que la coopération soit réalisée, il faut qu'il y ait une compatibilité entre le financement maximum que le partenaire est prêt à payer F_{max} et le financement minimum F_{min} que le laboratoire peut proposer. Le financement minimum que le laboratoire peut proposer ne doit pas dépasser le financement maximum que peut accepter le partenaire de recherche.

Cette condition de compatibilité s'écrit :

$$\begin{aligned} F_{min} \leq F_{max} &\iff C_H - I_H \leq \frac{Z_H + K_H}{1 + t} - L \\ &\iff C_H + L \leq \frac{Z_H + K_H}{1 + t} + I_H \end{aligned} \quad (5.13)$$

Cette contrainte signifie que la coopération n'est possible que si les effets positifs attendus en terme d'apport de connaissances scientifiques et de réputation pour le partenaire ($\frac{Z_H+K_H}{1+t}$), d'enrichissement des connaissances scientifiques et technologiques complémentaires pour le laboratoire (I_H), sont suffisamment importants pour compenser le coût de coopération supporté par le laboratoire (C_H) et le coût d'apprentissage supporté par le partenaire de recherche (L).

Dans la suite du jeu, si cette contrainte est respectée, alors le laboratoire universitaire est plus disposé à accepter le contrat de délégation et à fournir un niveau d'effort élevé pour répondre à des attentes du gouvernement. Par conséquent, nous pouvons considérer cette contrainte comme une contrainte d'incitation que le gouvernement doit prendre en compte dans son programme de maximisation de l'utilité espérée (cf. équation 5.11) afin d'inciter le laboratoire à fournir un niveau d'effort élevé.

Nous pouvons identifier deux cas en fonction de la saturation de cette contrainte de compatibilité des rentabilités du laboratoire et du partenaire.

– Cas 1 : $F_{min} \succ F_{max}$

La contrainte de compatibilité n'est pas satisfaite. Dans ce cas, il n'existe aucun financement qui permette la réalisation de la coopération entre le laboratoire universitaire et le partenaire de recherche. Autrement dit, le laboratoire n'arrive pas obtenir un soutien financier supplémentaire et un apport des connaissances complémentaires nécessaire pour la résolution des problèmes posés par le gouvernement. Par conséquent, si le laboratoire accepte le projet délégué par le gouvernement, il n'est pas incité à fournir un niveau d'effort élevé, sachant que le gouvernement n'est pas en mesure d'observer ses activités de recherche. Le risque moral est donc élevé et la satisfaction du gouvernement en terme de développement interdisciplinaire est faible.

– Cas 2 : $F_{min} \leq F_{max}$

La contrainte d'incitation du laboratoire est satisfaite. Dans ce cas, le soutien financier et l'apport de compétences technologiques et scientifiques de la part du partenaire incite le laboratoire à accepter la tâche déléguée par le gouvernement et à fournir un niveau d'effort élevé. Cette acceptation ne procure pas seulement au laboratoire des ressources pour la recherche, mais également l'enrichissement de ses compétences, la cré-

dibilité auprès du gouvernement et le renforcement des alliances avec les entreprises et les autres organismes de recherche.

Interprétation

Avec la délégation par réseau de coopération, nous avons introduit un troisième agent qui est le partenaire de recherche. Le gouvernement commence à proposer au laboratoire universaire un contrat de recherche dont la réalisation nécessite des compétences interdisciplinaires. Le laboratoire peut alors décider s'il accepte ou refuse le contrat. Notre hypothèse est que cette décision est fortement conditionnée par la possibilité de coopérer avec un partenaire potentiel susceptible d'apporter au laboratoire un soutien financier et également des connaissances technologiques et scientifiques.

Il est important de remarquer que dans le cas où la contrainte de compatibilité des rentabilités des participants au réseau (autrement dit, la contrainte d'incitation du laboratoire) est satisfaite, le laboratoire n'a pas intérêt à adopter un comportement opportuniste en fournissant un niveau d'effort faible.

La prise en compte du partenaire de recherche dans la délégation change le comportement du laboratoire de recherche. Lorsque le laboratoire travaille en coopération avec un partenaire potentiel, il ne considère pas les activités de recherche interdisciplinaire comme une perte de temps, mais comme une expérience enrichissante pour construire et consolider ses alliances et coopérations. L'intérêt de la collaboration pour le laboratoire est donc croissant.

Nous avons vu que la décision de fournir un niveau d'effort élevé ou faible dépend de la contrainte de compatibilité des rentabilités du laboratoire et du partenaire. Si les bénéfices issus de la coopération sont supérieurs aux coûts supportés par les organisations impliquées, la coopération peut se réaliser. Dans ce cas, le laboratoire est plus disposé à fournir un niveau d'effort élevé pour réaliser le contrat de recherche délégué par le gouvernement. La délégation par réseau peut donc être une manière de réduire le risque moral et d'augmenter la probabilité de réponse des scientifiques en faveur des objectifs du gouvernement, tout en réduisant les coûts liés à la prise de décision et de contrôle du gouvernement.

Au niveau de l'utilité espérée du gouvernement (cf. équation 5.11), nous pouvons voir quelques changements par rapport à celles des modes de délégation basés sur la confiance et sur la surveillance. D'une part, le coût de

surveillance du gouvernement est moins élevé que celui du mode de délégation sous surveillance car lorsqu'il s'agit d'un réseau de coopération, il est plus difficile pour le gouvernement de définir des mesures de contrôle adéquates des activités du laboratoire (Braun 2003).

D'autre part, l'interaction entre le laboratoire et le partenaire repose sur un processus d'apprentissage et conduit à des combinaisons nouvelles de connaissances à partir des connaissances diverses des membres du réseau. Dans ce cas, face à la complexité et à l'indétermination qui dépendent de la diversité des connaissances, le gouvernement n'a pas intérêt à déterminer ex ante les objectifs du contrat mais uniquement l'orientation de la recherche qu'il souhaite. Le coût lié aux activités de détermination des objectifs et de l'allocation des ressources pourrait donc être réduit car la plupart des décisions sont déléguées au réseau.

En outre, le bénéfice du gouvernement ne provient pas seulement de l'effort du laboratoire universitaire, mais également du partenaire de recherche. Ces éléments suggèrent que, malgré le coût de coopération supplémentaire, les coûts globaux supportés par le gouvernement diminuent tandis que les bénéfices sont susceptibles d'augmenter.

Le réseau de recherche a l'avantage d'être temporaire dans la mesure où il peut être créé et dissout au moment nécessaire. Il permet de respecter les intérêts fondamentaux des partenaires de recherche, tout en facilitant la participation volontaire des membres grâce à sa structure non-hiérarchique. Les réseaux lient les organisations et les membres sans que leurs cultures et leurs identités soient modifiées. Au lieu d'établir la logique de compétition, les réseaux induisent une attitude d'ouverture et de confiance qui sont efficaces pour la production de connaissances.

Dans un monde complexe, nous faisons face à la contingence et à l'incertitude inhérentes au système de recherche scientifique. Il ne semble donc pas raisonnable de planifier de manière irréversible les priorités et le fonctionnement d'un tel projet. Il vaut mieux avoir des systèmes, des organismes, ou des acteurs capables d'apprendre, et de développer les structures qui peuvent s'auto-organiser et s'adapter aux changements de l'environnement. Nous avons besoin non seulement d'organismes souples et ouverts sur l'environnement mais également de posséder la capacité de fermeture opérationnelle pour faire face à la complexité (Nowotny 2003).

La délégation par réseau se présente ainsi comme une des manières de résoudre le problème d'antinomie des politiques de recherche (cf. section 5.1.3) : l'indépendance scientifique des institutions et des chercheurs est respectée tandis que la recherche scientifique tend davantage vers les besoins des industries et de la société. Le rôle du gouvernement est limité à la gestion de l'interdépendance, de la coopération des participants au sein du réseau. Il garantit également que le comportement scientifique réponde aux besoins de la société (Braun 2003).

Analyse en terme de coûts et bénéfices d'apprentissage lié à la distance disciplinaire

La coopération entre l'université et le partenaire de recherche (industriel ou non industriel) est motivée par l'association de deux organisations ayant des compétences et des connaissances diverses. Lorsqu'elles s'engagent dans une coopération, chacune des organisations est engagée dans un processus d'apprentissage interactif ("learning by interacting") (Lundvall 1988) qui leur permet de générer des combinaisons nouvelles de connaissances. Plus les connaissances sont diverses, plus les organisations sont distantes.

Cette diversité de connaissances des organisations peut constituer un potentiel d'enrichissement mutuel dans la mesure où chacune d'elles apporte des connaissances complémentaires nécessaire à la production de nouveaux savoirs. Les organisations qui ont des connaissances similaires n'ont donc pas intérêt à coopérer. À travers la coopération, l'université et le partenaire de recherche ont d'autant plus de chance d'obtenir des combinaisons nouvelles de connaissances que leurs connaissances de bases sont différentes.

Pourtant, cette diversité est également une source de coûts supplémentaires qui sont liés aux problèmes de communication, de langage commun et de complémentarités mutuelles. En effet, l'augmentation de la diversité des connaissances des organisations qui s'engagent dans la coopération se traduit par la nécessité de faire un effort d'apprentissage plus important pour acquérir les connaissances explicites et tacites. Plus les connaissances tacites sont importantes, plus la coopération est coûteuse car les organisations doivent fournir davantage d'effort pour développer des codes de communication et un langage commun essentiel pour la réussite de la coopération. La nature des connaissances est donc un facteur crucial influençant l'évolution des coûts et bénéfices

de l'apprentissage.

Llerena et Meyer-Krahmer (2002) proposent une analyse bénéfice-coût de l'apprentissage de la recherche interdisciplinaire réalisée au sein des universités. Dans leur représentation heuristique, les bénéfices potentiels de l'apprentissage augmentent proportionnellement avec la distance inter-disciplinaire ("distance between disciplines"). Les coûts d'apprentissage liés à l'établissement de codes et de canaux de communication augmentent quant à eux plus que proportionnellement avec la distance inter-disciplinaire. Cette analyse bénéfice-coût permet de faire apparaître une distance inter-disciplinaire idéale pour laquelle le profit net est maximal et au-delà de laquelle les coûts d'apprentissage augmentent plus rapidement que les bénéfices potentiels.

Dans notre modèle, le rapport entre bénéfices et coûts d'apprentissage liés à la recherche interdisciplinaire s'obtient à partir de la contrainte de compatibilité des rentabilités du laboratoire et du partenaire de recherche. Cette contrainte (cf. équation 5.13) est exprimée comme suit :

$$C_H + L \leq \frac{Z_H + K_H}{1 + t} + I_H \quad (5.14)$$

L'hypothèse principale de notre modèle est que, suite à la proposition du gouvernement, l'université prend l'initiative de négocier avec les partenaires (industriels ou non industriels) potentiels en terme. Si elle a lieu, la coopération est donc considérée comme un projet de recherche plutôt qu'une prestation à caractère commercial commandée par les partenaires. L'hypothèse revient à dire qu'à travers la coopération, les partenaires cherchent non seulement des combinaisons nouvelles de connaissances conduisant à des opportunités technologiques et scientifiques futures (Z_H), mais également la reconnaissance et la réputation dans le monde académique.

Par conséquent, l'augmentation des bénéfices de l'apprentissage avec la diversité des connaissances se traduit par un enrichissement de connaissances scientifiques et technologiques des partenaires ainsi que par une reconnaissance dans le monde scientifique du partenaire de recherche. Cette augmentation est d'autant plus forte que les bases de connaissances du laboratoire et du partenaire sont diverses dans la mesure où cette diversité favorise la création de nouvelles connaissances à partir des combinaisons possibles de connaissances déjà existantes. Par ailleurs, une diversité forte des connaissances peut également impliquer un coût élevé d'apprentissage supporté par le partenaire (L) et un coût élevé de gestion de la coopération supporté par le laboratoire (C_H).

A travers cette analyse de bénéfice-coût, nous pouvons estimer que l'existence d'une compatibilité de rentabilités du laboratoire universitaire et du partenaire (autrement dit, l'incitation forte à l'interdisciplinarité) dépend de plusieurs facteurs.

Le premier concerne les connaissances scientifiques et l'existence de coopérations antérieures d'un laboratoire universitaire. L'interdisciplinarité ne peut se développer que si une base de connaissances disciplinaires suffisamment importante est acquise. Cette base est cruciale car la proposition de coopération du laboratoire doit apporter de nouvelles opportunités scientifiques et technologiques intéressantes pour le partenaire. De plus, elle constitue la capacité du laboratoire à percevoir, à évaluer et à utiliser les compétences complémentaires apportées par le partenaire de recherche (Meyer-Krahmer et Schmoch 1998).

En outre, le laboratoire sera plus incité à s'engager dans une coopération de recherche si ses connaissances sont facilement accessibles, utilisées et répliquées par le partenaire. Le laboratoire est d'autant plus découragé à se lancer dans une coopération que la traduction et l'intéressement, qui fait partie du coût de coopération supporté par le laboratoire (C), sont coûteux et difficiles (Callon *et alii* 1999).

Le deuxième facteur concerne la nature des activités de recherche présentes et passées du partenaire. Elles sont importantes car, d'une part, elles permettent de produire des connaissances nouvelles, d'autre part, elles conditionnent la capacité du partenaire à assimiler, trier et utiliser les connaissances externes. C'est cette capacité d'absorption qui détermine l'importance des efforts d'apprentissage que doit fournir le partenaire pour acquérir de nouvelles connaissances. Le coût d'apprentissage est d'autant plus élevé que la capacité d'absorption est faible. Il augmente également en fonction de l'expérience de coopération du partenaire avec les acteurs scientifiques. A travers la coopération, un langage commun s'installe, ce qui permet de diminuer ce coût d'apprentissage.

En outre, la confiance mutuelle entre le laboratoire universitaire et le partenaire de recherche joue également un rôle crucial dans la cohérence de la coopération. Dans la littérature des modèles principal-agent, la confiance est souvent négligée, mais elle aide à créer la stabilité et la continuité nécessaires dans des relations de longue durée. Dans le chapitre 4, nous avons souligné l'importance de la confiance mutuelle et du respect des codes de comportement

qui sont indispensables pour surmonter l'incertitude inhérente au processus de coopération de recherche. La coopération, qui implique que le laboratoire et le partenaire s'engagent dans un processus d'apprentissage interactif, ne peut être efficace que si les partenaires se respectent et se font confiance mutuellement. La confiance mutuelle se construit dans le temps, à travers les expériences mutuelles et la répétitivité des interactions entre les partenaires de recherche (Cohendet *et alii* 2002).

5.4 Conclusion et implication

La motivation de ce chapitre est de savoir quelle stratégie d'intervention des pouvoirs publics peut promouvoir l'interdisciplinarité dans un système de recherche universitaire sans que l'autonomie et la culture disciplinaire de l'université soient remises en cause.

Nous avons utilisé un modèle de délégation à information imparfaite pour expliquer trois stratégies de politiques scientifiques différentes : la confiance à l'université, la surveillance des activités de recherche de l'université par les pouvoirs publics et la délégation des activités de recherche au réseau de coopération. Nous avons montré que, dans le cadre de notre modèle, la délégation par réseau de recherche semble être la stratégie la plus appropriée pour inciter les scientifiques universitaires à s'engager dans l'interdisciplinarité.

Avec la stratégie de confiance les scientifiques universitaires risquent d'adopter des comportements opportunistes post-contractuels en continuant à focaliser tous leurs efforts dans la recherche disciplinaire. Elle contribue à renforcer le "verrouillage" disciplinaire qui est déjà très fort dans le système de recherche universitaire actuel. La liberté qu'ont les chercheurs de choisir leurs voies de recherche, sans se préoccuper des intérêts du gouvernement d'un point de vue social, environnemental et technologique, apparaît donc comme un obstacle au développement de l'interdisciplinarité au sein de l'université.

La stratégie de surveillance présente l'avantage de diminuer le risque d'opportunisme des scientifiques grâce au contrôle des activités de recherche de l'université et à la prise en compte de la crédibilité et de la réputation dans les bénéfices des scientifiques. Pourtant, ce risque existe toujours, et il est d'autant plus important que le laboratoire universitaire manque de certaines connaissances technologiques et scientifiques lui permettant de bien répondre

aux attentes du gouvernement. Par ailleurs, cette stratégie d'intervention est coûteuse pour le gouvernement dans la mesure où il doit supporter des coûts de détermination des priorités de recherche qu'il veut imposer au laboratoire et de surveillance lié aux activités de contrôle des activités des scientifiques.

Cette stratégie d'intervention n'incite pas le laboratoire à coopérer avec les autres partenaires de recherche pour combler le manque budgétaire, puisque le gouvernement finance la totalité de budget nécessaire au projet, ou pour combler le manque des compétences nécessaires à la résolution des problèmes, puisque la coopération peut être coûteuse.

La coopération avec le partenaire externe est prise en compte dans un modèle de délégation à trois agents. Notre argument principal est que dans un monde complexe où le laboratoire fait face à la contingence et à l'incertitude inhérentes au système de recherche scientifique, il a besoin de développer des alliances avec des partenaires industriels et non industriels afin de créer de nouvelles opportunités technologiques et scientifiques. Nous avons montré que le réseau de recherche incite le laboratoire à accepter la proposition du gouvernement et à ne pas adopter un comportement opportuniste. Pourtant, la réalisation effective du contrat proposé par le gouvernement est conditionnée par la contrainte de compatibilité des rentabilités du laboratoire et du partenaire. Si cette contrainte est satisfaite, le contrat de recherche interdisciplinaire proposé par le gouvernement se réalise avec un niveau d'effort élevé de la part du laboratoire.

Nous avons souligné, à travers l'analyse des bénéfices et des coûts d'apprentissage avec la distance inter-disciplinaire, que le développement de l'interdisciplinarité dépend des activités de recherche passées et présentes du laboratoire ainsi que du partenaire de recherche. Ces activités déterminent les ressources technologiques et scientifiques spécifiques que le laboratoire et le partenaire de recherche ont accumulées et sur lesquelles peuvent s'appuyer le développement de la recherche interdisciplinaire. Dans ce sens, il est important de souligner que l'interdisciplinarité et la mono-disciplinarité ne sont pas exclusives mais complémentaires. La base de connaissances disciplinaires d'un laboratoire est la condition primordiale pour une recherche interdisciplinaire de qualité. De même, les expériences en recherche interdisciplinaire peuvent ouvrir de nouvelles opportunités de recherche disciplinaire aux scientifiques. En outre, l'existence d'une confiance mutuelle entre partenaires de recherche

et l'accessibilité des connaissances jouent également un rôle important dans le développement des programmes de recherche interdisciplinaire.

A travers ces modèles de délégation, nous avons montré que la stratégie descendante caractérisée par la surveillance et la stratégie ascendante caractérisée par la confiance totale ne sont pas forcément les meilleurs moyens pour développer l'interdisciplinarité. Une stratégie mixte est celle qui consiste à déléguer les droits de décisions et d'actions aux réseaux de recherche qui sont construits avec l'aide du gouvernement mais qui fonctionnent indépendamment de l'influence du gouvernement.¹⁷ Cette stratégie semble être la mieux adaptée au problème d'antinomie de politique de science. L'université se tourne volontairement vers les problèmes industriels et sociaux tout en gardant son indépendance et sa culture de recherche mono-disciplinaire.

Dans ce cas, le rôle du gouvernement ne se limite pas au financement de la recherche publique. Il est celui qui facilite les processus de coopération entre l'université et les partenaires de recherche en créant des espaces d'interactions (colloques, conférences, détachement de chercheurs, etc.) ou en réduisant les coûts de transaction pour la coopération interdisciplinaire. Pour des problèmes technologiques, environnementaux et sociaux complexes, le gouvernement doit, par contre, prendre l'initiative d'identifier et de déterminer ex ante les problèmes à résoudre. Les partenaires du réseau de coopération, à qui est confiée la résolution de ces problèmes, devront être flexibles et avoir la possibilité de changer ces problèmes, de les adapter à des circonstances locales spécifiques.

¹⁷voir Garbay (2003) pour le rôle des sciences du traitement de l'information dans le développement de l'interdisciplinarité.

Conclusion générale

Cette thèse est composée de deux parties dont la première est empirique (chapitres 1, 2, 3) et la deuxième apporte des contributions théoriques (chapitres 4, 5).

La partie empirique consiste à confronter aux données réelles l'hypothèse selon laquelle l'interdisciplinarité reste limitée dans les institutions de l'université en raison des problèmes d'ordre institutionnel, matériel et culturel. L'objectif de cette partie est d'obtenir des éléments de réponse en ce qui concerne l'influence des facteurs individuels et collectifs sur le comportement interdisciplinaire des scientifiques universitaires. Cette analyse est d'autant plus importante que les scientifiques et les décideurs politiques s'interrogent toujours sur les incitations et les facteurs qui influencent l'arrangement de l'agenda de recherche des chercheurs académiques, en particulier ceux qui mènent les chercheurs à s'engager dans la recherche interdisciplinaire. Pourtant, l'analyse de ce phénomène est très limitée dans la littérature en raison du manque des données appropriées. Nous pouvons surmonter cette difficulté grâce à un ensemble de données originales de l'université Louis Pasteur. Elles fournissent les informations sur les personnels, les caractéristiques des laboratoires et la performance scientifique des chercheurs au cours de la période 1970-2000.

Pour tous les indicateurs de performance scientifique examinés (publications, brevets), les résultats montrent que les mécanismes d'incitation académiques traditionnels ne stimulent pas la recherche interdisciplinaire. De plus, le contexte du travail dans le laboratoire affecte fortement la propension d'entreprendre la recherche interdisciplinaire. Par ailleurs, le financement du laboratoire et ses relations avec les industries et autres organisations de recherche sont étroitement liés à l'intensité de la recherche interdisciplinaire.

L'analyse théorique est composée de deux études, la première portant sur les différentes formes de collaboration interdisciplinaire et la deuxième sur les modes de coordination entre le gouvernement et l'université dans les projets interdisciplinaires. Les résultats issus de la première étude nous permettent de constater que l'évolution de l'interdisciplinarité dépend des mécanismes d'incitation à l'interdisciplinarité et de structures de communication. De plus, la disciplinarité, la pluridisciplinarité et l'interdisciplinarité co-existent et constituent les sources complémentaires à la production de connaissance et au processus d'innovation. Par ailleurs, les résultats montrent également que l'interdisciplinarité ne se développe pas nécessairement dans un environ-

nement d'impulsions technologiques et un contexte d'application n'implique pas forcément des interactions interdisciplinaires entre chercheurs. Ce résultat important contredit plusieurs études dans la littérature en révélant la compatibilité entre la recherche interdisciplinaire et le contexte de recherche purement scientifique.

La deuxième étude utilise un modèle de délégation avec information incomplète dans le but d'analyser l'efficacité de différents modes de délégation entre le gouvernement et l'université quant aux programmes interdisciplinaires. Les résultats d'analyse suggèrent que la connectivité à un large réseau des organisations externes et internes - dans lequel s'opèrent l'échange des compétences complémentaires, le transfert des instruments, de techniques et de concepts - est une condition primordiale pour développer la recherche interdisciplinaire durable. L'interdisciplinarité ne peut que mieux se développer dans un contexte où la politique descendante d'intervention - impliquant la création des institutions intermédiaires ou des agences de financement ayant pour objectifs de guider la production de connaissances scientifiques et ainsi leurs applications - est suivie de l'autonomie et l'autorégulation des scientifiques universitaires.

Les résultats obtenus dans cette thèse suggèrent que, malgré l'intérêt croissant que représente l'interdisciplinarité pour les politiques et les scientifiques, les obstacles d'ordre institutionnel, cognitif et culturel persistent. Afin d'améliorer l'interdisciplinarité, il faudrait agir sur des facteurs comme l'organisation interne du laboratoire, la mobilité des chercheurs des différents établissements, la flexibilité des structures de recherche. Les critères de promotion et la relation industrielle sont aussi des variables sur lesquelles il faudrait s'appuyer. De plus, l'existence d'une hétérogénéité entre disciplines scientifiques nous demande à être prudents concernant la transférabilité des résultats et des recommandations de politique scientifique d'une discipline à l'autre. Elle nous suggère ainsi de tenir compte de la spécificité des disciplines dans l'élaboration des politiques scientifiques. Finalement, le rôle du gouvernement ne se limite pas au financement de la recherche ou à la prise d'initiatives de développer des projets ayant trait aux intérêts sociaux et environnementaux. Il est également celui qui facilite les processus de coopération entre l'université et les partenaires de recherche, en créant des espaces d'interactions et en réduisant les coûts de transaction pour la coopération interdisciplinaire

Les études réalisées dans notre thèse ouvrent de nombreuses **perspectives**

de recherche intéressantes. Certains aspects importants de la recherche interdisciplinaire sont peu ou pas traités dans notre thèse. Un aspect important relève de la structure dynamique des données considérées. En effet, jusqu'à présent notre étude empirique de déterminants de l'interdisciplinarité s'effectue dans un cadre d'analyse statique. L'extension à un cadre dynamique nous permettra de mieux étudier d'autres facteurs importants (performance passée des scientifiques, changement organisationnel et institutionnel des institutions de recherche, impact des politiques de la science) sur l'agenda de recherche des scientifiques universitaires. Dans cette perspective, une base de données complète de l'ULP, s'étalant sur plusieurs années consécutives, que le BETA est en train de compléter nous servira de support matériel original.

Une autre question importante est liée au cadre d'étude de l'interdisciplinarité. La partie empirique de la thèse est limitée au cas de l'université Louis Pasteur qui est un contexte particulier. Les problèmes et obstacles à l'interdisciplinarité pourraient être étudiés dans d'autres types d'institutions de recherche. La prolongation de cette analyse nous permettra de compléter et valider les résultats de la thèse. Les analyses basées sur l'approche historique quant à l'interdisciplinarité au sein du CNRS (Pestre 2003a,b) nous serviront de références pour traiter ces questions dans le cadre des données réelles.

Il serait également intéressant d'étudier les conditions d'évaluation du travail interdisciplinaire. La mise en place des critères d'évaluation facilitera la procédure de sélection et notamment la gestion de programmes interdisciplinaires. Pourtant, ce problème reste très peu étudié dans la littérature. Les difficultés liées à la mise en place d'un système d'évaluation sont multiples : spécificité et variété des normes de validations, souvent conflictuelles ; manque de clarté conceptuelle à propos de la nature du travail interdisciplinaire et de son évaluation ; inexistence des critères de validation dans des domaines interdisciplinaires émergents (Veronica et Gardner 2003). Dans ce cas, la prise en compte simultanée des critères productifs ayant trait à la performance scientifique (comme les articles, les brevets) et des critères d'ordre épistémologique (comme l'originalité, la cohérence et la généralité) sera certainement nécessaire.

Un point important ignoré dans cette thèse a trait à la formation de réseaux ainsi que des connaissances qui en font l'objet. Des méthodes de simulation numérique seront utiles dans cet exercice. Dans cette perspective, on pourrait étudier l'évolution de réseaux grâce à un modèle inspiré de Cowan *et alii*

(2004). La littérature de la théorie des jeux sur la dynamique d'évolution des réseaux (Jackson et Wolinsky 1996 ; Jackson et Watts 2002) pourrait également être mobilisée pour approfondir notre analyse théorique. Cette analyse de la dynamique de réseaux de recherche sera utile pour examiner le changement de nature de la production de connaissance, notamment l'émergence de réseaux de collaboration interdisciplinaire.

Annexe A : Présentation de l'Université Louis Pasteur

L'ULP, Université scientifique, technologique et médicale européenne, est reconnue pour la qualité et la variété de son enseignement, l'excellence de sa recherche, ainsi pour le dynamisme de sa politique ouverte envers son environnement. Elle couvre plusieurs domaines de recherche : les Mathématiques, la Physique, la Chimie, les Sciences d'ingénieur, les Sciences de l'Univers, les Sciences de la vie, la Médecine et les Sciences Sociales. L'ULP est un établissement d'organisation mixte ayant des liens étroits avec d'autres instituts de recherche ou organismes de recherche, en particulier avec le Centre National de la Recherche Scientifique (le CNRS) (40% de tous les chercheurs à ULP). Les chercheurs de l'Institut National de la Santé et de Recherche Médicale (INSERM) représentent 7% du personnel de recherche de l'ULP. La collaboration avec l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA) est devenue de plus en plus intensive ces dernières années. Renforcer les liens avec les centres principaux de recherches est devenu un élément important dans l'amélioration de la position scientifique de l'Université et dans la maintenance d'une qualité élevé de l'enseignement.

L'appui des projets interdisciplinaires est l'un des objectifs principaux de la politique scientifique. L'ULP progresse tout en explorant de nouveaux domaines scientifiques, par exemple à l'interface entre la biologie et la chimie avec la physique, la médecine et l'informatique. Étant situé au coeur de l'Europe, l'ULP tire bénéfice d'une position géographique avantageuse dans tous les domaines : économique, commercial, social et éducatif. A travers de nombreux programmes de mobilité et de collaborations des étudiants et des chercheurs avec les pays européens et non-européens, l'ULP compte 20% d'étudiants étrangers, de chercheurs non-permanents et visiteurs dans son effectif. Par conséquent, plus de 45% de publications de l'ULP sont effectuées avec au moins une participation étrangère (OST 2002) et plus de 10% de contrats d'ULP sont réalisés avec l'Union Européenne.

Les données concernent l'activité de recherche entre 1993 et 2000 de l'Université Louis Pasteur (ULP) située dans la région de Strasbourg (France). L'ULP a une vieille tradition de recherche fondamentale et une position à long terme de l'excellence scientifique. Ses chercheurs ont obtenu de nombreux prix scientifiques nationaux et internationaux, y compris des prix Nobel.

De façon générale, l'ULP est l'une des plus grandes Universités françaises en termes de recherche. Le troisième rapport européen des indicateurs sur la

Science et la Technologie 2003 (European Report on Science & Technology Indicators 2003) classe l'ULP parmi les premières Universités françaises en termes d'impact et 11ème parmi les Universités européennes. Les chercheurs actifs comptent un lauréat Nobel, onze membres de l'Institut Universitaire de France et onze membres de l'Académie Nationale de la Sciences de la France.

Les capacités de recherche de l'Université sont renforcées par un lien étroit avec les corps principaux nationaux de recherche tels que le Centre National pour la Recherche Scientifique (le CNRS) et l'Institut National pour la Santé et les Recherches Médicales (INSERM) dans la région de Strasbourg. La couverture d'activités de recherche et d'enseignement porte sur un large éventail de domaines : Sciences Médicales, Mathématiques, Sciences pour l'ingénieur, Physique, Chimie, Sciences de la Vie, Géologie, Géophysique, Astronomie, Sciences d'Ingénierie. Les Sciences Humaines et Sociales sont également présentes avec les Sciences Economiques, la Gestion, la Géographie, la Psychologie et les Sciences de l'Éducation.

Annexe B : Détermination de disciplines et sous-disciplines

Pour déterminer la discipline des chercheurs, nous recherchons la correspondance entre 'section CNU', 'section CNRS' et 'commission INSERM' disponibles dans notre ensemble de données, et la 'discipline' décrite dans la nomenclature de l'OST. Par exemple, un chercheur de l'Université relevant de la 'section CNU' appelée 'Biophysique-Radiologie' appartient à la 'discipline' appelée 'Médecine-Odontologie'. Un chercheur de la 'commission INSERM' appelée 'Génétique et Développement' appartient à la 'discipline' appelée 'Biochimie et Biologie Moléculaire'. Le nombre de disciplines dans chaque laboratoire est obtenu en comptant les différentes disciplines présentes dans le laboratoire.

L'affectation des chercheurs à une catégorie unique de sous-discipline est plus fastidieuse car les trois classifications utilisées dans le système français ne se chevauchent pas systématiquement. Dans notre analyse, l'affectation des chercheurs dans des sous-disciplines consiste à utiliser la 'section CNU' comme référence et à transformer la 'section CNRS' et la 'commission INSERM' en 'section CNU'. Par exemple, un chercheur du CNRS relevant de la 'section CNRS' 'Mathématiques' est affecté à la 'section CNU' correspondante, soit 'Mathématiques et Application'. Un chercheur de l'INSERM de la 'commission INSERM' 'Endocrinologie et Reproduction' est affecté à la 'section CNU' correspondante appelée 'Physiologie'. A la fin de l'exercice, tous les chercheurs, même s'ils sont du CNRS ou de l'INSERM, se voient rattachés à une 'section CNU' unique. Notons que les sections CNU obtenues par cette procédure sont désormais appelées 'sous-disciplines'. Nous pouvons ainsi compter le nombre de sous-disciplines différentes présentes dans ce laboratoire.

L'avantage de cette méthode réside dans l'obtention de renseignements détaillés sur la spécialisation des scientifiques. Par exemple, il y a dix-sept sous-disciplines dans la 'discipline' 'Médecine et Odontologie'. Avec la nomenclature de l'OST, il est possible d'affecter les chercheurs aux disciplines et sous-disciplines correspondantes. Ce plan de classification de l'OST présente assez de flexibilité pour permettre de développer des indicateurs de multidisciplinarité à deux niveaux : Agrégé (disciplinaire) et moins agrégé (sous-disciplinaire).

**Annexe C : Nomenclature de
l'Observatoire des Sciences et des
Techniques (OST) (1996)**

Bibliographie

- ACUTT, N., A. ALI, E. BOYD, A. HARTMANN, J. A. KIM, I. LORENZONI, M. MARTELL, A. PYHALA ET A. WINKELS (2000) : “An interdisciplinary framework for research on global environmental issues”, CSERGE Working Paper GEC, n° 23.
- ADAMS, J. D., E. P. CHIANG ET K. STARKEY (2001) : “Industry University cooperative research centres”, *Journal of Technology Transfer*, 26, 73–86.
- AMEMIYA, T. (1973) : “Regression analysis when the dependent variable is truncated normal”, *Econometrica*, 41, 997–1016.
- ANCORI, B. (2003) : “Expertise universitaire et plate-forme cognitive”, Document de travail, Université Louis Pasteur.
- AVITAL, M. ET F. COLLOPY (2001) : *Assessing Research Performance : Implications for selection and motivation*. Sprouts : WP on Information Environments Systems and Organizations.
- BARMARK, J. ET G. WALLEN (1980) : “Development of an interdisciplinary project”, The social process of scientific investigation, Vol. 4 of Sociology of the sciences. Dordrecht and Boston : D. Reidel. In K. D. Knorr, R. Knohn, et R. Whiteley (Eds.), 221–235.
- BERGER, G. (1972) : “Opinions et réalités”, Dans OCDE. L’interdisciplinarité, problème d’enseignement et de recherche dans les universités.
- BIRNBAUM, P. H. (1981) : “Academic interdisciplinary research : Characteristics of successful projects”, *Journal of the Society of Research Administrators*, 13, 5–16.
- BODDINGTON, A. (1999) : “Women conduct more interdisciplinary research”, *Evaluation Associates Press Release*.
- BOISOT, M. (1970) : “Discipline et Interdisciplinarité”, dans L’interdisciplinarité : problèmes d’enseignement et de recherche dans les universités, 90–97.

- BRAUN, D. (2003) : “Lasting tensions in research policy-making - A delegation problem”, *Science and Public Policy*, 30, 309–321.
- BRUSONI, S., A. PRENCIPE ET K. PAVITT (2001) : “Knowledge Specialisation, Organisational Coupling, and the Boundaries of the Firm : Why Do Firms Know More Than They Make ?”, *Administrative Science Quarterly*, 46, 597–621.
- BUSH, V. (1945) : *Science : The Endless Frontier*. United States Government Printing Office, Washington.
- CALLON, M., P. COHENDET, N. CURIEN, J. M. DALLE, F. EYMARD-DUVERNAY, D. FORAY ET E. SCHENK (1999) : *Réseau et coordination*. Economica.
- CALLON, M. ET D. FORAY (1997) : “Introduction : Nouvelle économie de la science ou socio-économie de la recherche économique ?”, *Revue d'Économie Industrielle*, 79, 13–32.
- CARAYOL, N. ET M. MATT (2003) : “Individual and collective determinants of academic scientists’ productivity”, mimeo BETA, Université Louis Pasteur.
- CARAYOL, N. ET T. U. NGUYEN THI (2004) : “Why do academic scientists engage in interdisciplinary research”, Document de Travail du BETA, Université Louis Pasteur, n° 2004-17.
- CASWILL, C. (1997) : *Inspiration and issues : a reflection on the debate on interdisciplinarity from a policy perspective*. European Commission, Cambridge 24-26 September 1997, edited by Richard Cunningham.
- CHOMPALOV, I., J. GENUTH ET W. SHRUM (2002) : “The organisation of scientific collaborations”, *Research Policy*, 31, 749–767.
- COHEN, W. M. ET D. A. LEVINTHAL (1989) : “Absorptive capacity : a new perspective on learning and innovation”, *Administrative Science Quarterly*, 35, 128–152.
- COHENDET, P., M. DIANI ET C. LERCH (2002) : “Modularité et réduction du temps de conception des produits : une interprétation en termes de communautés”, Contribution au Projet Temps coordonné par Christophe Midler.
- CORIAT, B. ET O. WEINSTEIN (1995) : *Les nouvelles theories de l'entreprise*. Références.
- COWAN, R. ET N. JONARD (2003) : “The dynamics of collective invention”, *Journal of Economic Behavior and Organization*, 52, 531–532.

-
- COWAN, R., N. JONARD ET J. B. ZIMMERMANN (2004) : “Strategic alliances, innovation and emergence of organized proximity”, article présenté à la conférence d’été du DRUID, sur : dynamiques industrielles, innovation et développement.
- CRANE, D. (1972) : *Invisible colleges : Diffusion of knowledge in scientific communities*. Chicago : University of Chicago Press.
- CROW, G. M., L. LEVINE ET N. NAGER (1992) : “Are three heads better than one ? Reflections in doing collaborative interdisciplinary research”, *American Educational Research Journal*, 29, 737–753.
- CROW, M. ET B. BOZEMAN (1987) : “R&D laboratory classification and public policy : the effects of environmental context on laboratory behaviour”, *Research Policy*, 16, 229–258.
- DASGUPTA, P. ET P. A. DAVID (1994) : “Toward a new economics of science”, *Research Policy*, 23, 487–521.
- DAVID, P. A. (1994) : “Positive feedbacks and research productivity in science : reopening another black box”, pp. In : O. Granstrand, *Economics of Technology*, North-Holland, Amsterdam.
- DOSI, G. ET M. EGIDI (1991) : “Substantive and procedural uncertainty”, *Journal of Evolutionary Economics*, 1, 145–168.
- ETAN (1999) : “Strategic Dimensions of Intellectual Property Rights in the context of Science and Technology Policy”, ETAN Working Paper. Prepared by an independent ETAN Expert Working Group for the European Commission Directorate General XII - Science, Research and Development Directorate AP - Policy Co-ordination and Strategy.
- ETZKOWITZ, H. ET L. LEYDESDORFF (1996) : “Emergence of a Triple Helix of University-Industry-Government Relations”, *Science and Public Policy*, 23, 279–286.
- (1997) : “Universities and the Global Knowledge Economy : a Triple Helix of University-Government-Industry Relations”, .
- FORAY, D. (2000a) : *L’économie de la connaissance*. La Découverte.
- (2001) : “Facing the problem of unbalanced development of knowledge across sectors and fields : the case of the knowledge base in primary education”, *Research Policy*, 30, 1553–1561.

- FORAY, D. ET M. GIBBONS (1996) : “Discovery in the context of application”, *Technological Forecasting and Social Change*, 53, 263–277.
- FREEMAN, C. (1982) : *The Economics of Industrial Innovation*. London : Pinter.
- FREYMOND, N., D. MEIER ET G. MERRONE (2003) : “Ce qui donne sens à l’interdisciplinarité”, *A Contrario*, 1(1), 207–213.
- GAMBARDELLA, A. (1992) : “Competitive advantages from in-house scientific research : The US pharmaceutical industry in the 1980’s”, *Research Policy*, 21, 391–407.
- GARBAY, C. (2003) : *Les sciences du traitement de l’information comme pivot de l’interdisciplinarité : une vision systémique*. <http://www.interdisciplines.org/interdisciplinarity/papers/2>.
- GEUNA, A. (1999) : “The Economics of Knowledge Production, Funding and the Structure of University Research”, .
- GIBBONS, M., C. LIMOGES, H. NOWOTNY, S. SCHWARTZMAN, P. SCOTT ET M. TROW (1994) : *The New Production of Knowledge*. Sage Publications.
- GRUPP, H. (1996) : *The dynamics of science-based innovation reconsidered : cognitive models and statistical findings*. In O. Granstrand (ed.), *Economics of Technology*. Amsterdam : Elsevier.
- GUSTON, D. H. (2000) : *Between politics and science. Assuring the integrity and productivity of research*. Cambridge University Press.
- HÄUSLER, J., H. W. HOHN ET S. LÜTZ (1994) : “Contingencies of innovative networks : a case study of successful interfirm R&D collaboration”, *Research Policy*, 23, 47–66.
- JACKSON, M. O. ET A. WATTS (2002) : “The evolution of social and economic networks”, *Journal of Economic Theory*, 106(2), 265–295.
- JACKSON, M. O. ET A. WOLINSKY (1996) : “A strategic model of social and economic networks”, *Journal of Economic Theory*, 71, 44–74.
- JANTSCH, E. (1970) : “Inter- and Transdisciplinary University, a system approach to Education and innovation”, *Policy Sciences*, 1, 403–428.
- JANTSCH, E. (1972) : “Vers l’interdisciplinarité et la transdisciplinarité dans l’enseignement et l’innovation”, dans OCDE. *L’interdisciplinarité, problème d’enseignement et de recherche dans les universités*.

-
- JOLY, P. B. ET V. MANGEMATIN (1996) : “Profile of public laboratories, industrial partnerships and organisation of RD : the dynamics of industrial relationships in a large research organisation”, *Research Policy*, 25, 901–922.
- KAHN, R. L. ET D. J. PRAGER (1994) : “Interdisciplinary collaborations are a scientific and social imperative”, *The Scientist*, 8,1.
- KIEWIET, D. ET M. MCCUBBINS (1991) : *The logic of delegation*. University of Chicago Press.
- KLEIN, J. T. (1990) : *Interdisciplinarity : History, theory, and practice*. Detroit, Wayne State University Press.
- (1996) : *Crossing Boundaries : Knowledge, Disciplinarity, and Interdisciplinarity*. University Press of Virginia, Charlottesville and London.
- KLINE, S. J. ET N. ROSENBERG (1986) : *An overview of innovation*. In : The positive sum strategy : harnessing technology for economic growth, ed. by Landau R. and Rosenberg N., National Academy Press.
- KNORR, K. D., R. MITTERMEIER, G. AICHHOLZER ET G. WALLER (1979) : *Individual publication productivity as a social position effect in academic and industrial research units*. In : F. Andrews (ed.), *The Effectiveness of Research Groups in Six Countries*, Cambridge, Cambridge University Press, 55-94.
- LAUDEL, G. ET J. GLÄSER (1998) : “What are institutional boundaries and how can they be overcome? Germany’s collaborative research centres as boundary-spanning networks”, conference in Lisbon, 1st October - 3rd October.
- LEE, Y. S. (2000) : “The sustainability of university-industry research collaboration : an empirical assessment”, *Journal of Technology Transfer*, 25, 111–133.
- LEVIN, S. G. ET P. E. STEPHAN (1991) : “Research productivity over the life cycle : evidence for academic scientists”, *American Economic Review*, 81 (1), 114–132.
- LLERENA, P. ET F. MEYER-KRAHMER (2002) : “Interdisciplinary research and the organisation of university : general challenges and the case of University Louis Pasteur”, conference in Oslo, 20-21 May.
- LUNDVALL, B. A. (1988) : “Innovation as an interactive process : from user-producer interaction to the national systems of innovation”, In Dosi et al.

- (eds.), *Technical Change and Economic Theory*, Pinters publishers, London and New York, 349–369.
- (1992) : *National Systems of Innovation : An Analytical Framework*. London : Pinter.
- MANGEMATIN, V. ET P. B. JOLY (1996) : “Profile of public laboratories, industrial partnerships and organization of R&D : the dynamics of industrial relationships in a large research organization”, *Research Policy*, 25, 901–922.
- MANN, S. (2002) : *Interdisciplinarity for the University of Ottawa*. Rapport Scientifique.
- MATHURIN, C. (2002) : “Aspects de l’interdisciplinarité : essai de reconstruction d’un débat”, dans *L’interdisciplinarité et la recherche sociale appliquée. Réflexions sur des expériences en cours*, 7–39.
- MERTON, R. K. (1973) : *The normative structure of science*. In Merton R.K. *The sociology of Science. Theoretical and Empirical Investigations*. University Chicago Press, Chicago.
- MEYER-KRAHMER, F. (1997) : “Science-based technologies and interdisciplinarity : challenges for firms and policy”, *Systems of Innovation. Technologies, Institutions and Organizations, London*, pp. 298–317.
- MEYER-KRAHMER, F. ET U. SCHMOCH (1998) : “Science-based technologies university-industry interactions in four fields”, *Research Policy*, 27, 835–852.
- MORILLO, F., M. BORDONS ET I. GOMEZ (2001) : “An approach to interdisciplinarity through bibliometric indicators”, *Scientometrics*, 51, 203–222.
- MORIN, E. (1990) : “Sur l’interdisciplinarité”, <http://nicol.club.fr/ciret/bulletin/b2c2.htm>.
- MORREALE, S. P. ET C. B. HOWERY (2002) : “Interdisciplinary collaboration : down with the silos and up with engagement”, <http://www.aahe.org/interdisciplinary.pdf>.
- MOWERY, D. C. (1992) : “The US national innovation systems : origins and prospects for change”, *Research Policy*, 21, 125–144.
- NELSON, R. R. (1993) : *National Innovations System : A Comparative Analysis*. Oxford : Oxford University Press.
- NELSON, R. R. ET N. ROSENBERG (1994) : “American universities and technical advance in industry”, *Research Policy*, 23, 323–348.

-
- NGUYEN THI, T. U. (2004) : "Interdisciplinary aspects in university patents. The case of the University Louis Pasteur", mimeo BETA, Université Louis Pasteur.
- NGUYEN THI, T. U. ET A. LAHATTE (2003) : "Measuring and assessing relative disciplinary openness in university research units", *Research Evaluation*, 12(1), 29–37.
- NONAKA, I. (1994) : "A dynamic theory of organisational knowledge creation", *Organisation Science*, 5(1), 14–37.
- NOWOTNY, H. (2003) : *Le potentiel de la transdisciplinarité*. <http://www.interdisciplines.org/interdisciplinarity/papers/5>.
- OCDE (1972) : *L'interdisciplinarité : problèmes d'enseignement et de recherche dans les universités*. Paris.
- (2004) : *Les partenariats public-privé pour la recherche de l'innovation : une évaluation de l'expérience française*. Paris.
- OST (1996) : *Nomenclature OST-à chercher le titre*. Paris.
- (2002) : *Production de connaissances de l'ULP*. Paris.
- PAVITT, K. (2001) : "Research and Development", *SPRU : Science and Technology Policy research, University of Sussex*, 44.
- PESTRE, D. (1997) : "La production des savoirs entre académies et marché. Une relecture historique du livre : "The New Production of Knowledge" édité par M. Gibbons", *Revue d'Économie Industrielle*, 79, 163–174.
- (2003a) : *L'évolution des champs de savoir, interdisciplinarité et valorisation*. <http://www.interdisciplines.org/interdisciplinarity/papers/8>.
- (2003b) : *Science, argent et politique. Un essai d'interprétation*. INRA édition, Paris.
- PORTER, A. L. ET D. E. CHUBIN (1985) : "An indicator of cross-disciplinary research", *Scientometrics*, 8(3-4), 161–176.
- PRICE, D. S. (1963) : *Little Science, Big Science*. New York : Columbia University Press.
- QIN, J., F. W. LANCASTER ET B. ALLEN (1997) : "Types and Levels of Collaboration in Interdisciplinary Research in the Sciences", *Journal of the American Society for Information Science*, 48(10), 893–916.

- QIU, L. (1992) : "A study of interdisciplinary research collaboration", *Scientometrics*, 2(3), 169–175.
- RALLET, A. (1993) : "Choix de proximité et processus d'innovation technologique. Revue d'Economie Régionale et Urbaine", *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, 32, 365–386.
- RAPPA, M. A. ET K. DEBACKERE (1992) : "Technological communities and the diffusion of knowledge", *R&D Management*, 22, 209–220.
- REBNÉ, D. (1990) : "Determinants of individual productivity : a study of academic researchers", Institute of Industrial Relations Publications Center, UCLA.
- RINIA, E. J., T. N. VAN LEEUWEN, A. F. J. VAN RAAN ET H. G. VAN VUREN (2001b) : "Influence of interdisciplinarity on peer-review and bibliometric evaluations in physics research", *Research Policy*, 30, 357–361.
- ROBERTS, D. (1997) : "Interdisciplinarity in industrial research", dans *Interdisciplinarity and the organisation of knowledge in Europe*, 93–97.
- ROBERTSON, I. T. (1983) : *The interdisciplinary researcher : Some psychological aspects*. In S. R. Epton, R.L. Payne, et A.W. Pearson (Eds.), *Managing interdisciplinary research*. Chichester and New York : John Wiley and Sons.
- ROBSON, M. (1993) : "Interdisciplinary efforts are needed as researchers battle environmental threats", *The Scientist*, 5.04, 12.
- ROSSINI, F. A., A. L. PORTER, P. KELLY ET D. E. CHUBIN (1981) : "Interdisciplinary integration within technology assessments", *Knowledge : Creation, Diffusion, Utilization*, 2, 503–528.
- SANZ-MENÉNDEZ, L., M. BORDONS ET M. A. ZULUETA (2001) : "Interdisciplinarity as a multidimensional concept : its measure in three different research areas", *Research Evaluation*, 10 (1), 47–58.
- SCHAEFFER, V. (1998) : *Les stratégies de valorisation de la recherche universitaire*. Thèse de Doctorat de Sciences de Gestion. Université Louis Pasteur, Strasbourg 1.
- SCHARTINGER, D., C. RAMMER ET M. M. F. J. FRÖHLICH (2002) : "Knowledge interactions between universities and industry in Austria : sectoral patterns and determinants", *Research Policy*, 31, 303–328.

-
- SCHILD, I., S. SÖRLIN ET C. SIGFRIDSSON (2002) : “The policy and practice of interdisciplinarity in the Swedish University Research System”, Working paper, www.sister.nu.
- SCHMOCH, U., S. BREINER, K. CUHLS, S. HINZE ET G. MÜNT (1994) : “Interdisciplinary Co-operation of Research Teams in Science Intensive Areas of Technology”, Final Report to the Commission of the European Union, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, Karlsruhe, Germany.
- SCHUMMER, J. (2003) : “Multidisciplinarity, Interdisciplinarity, and Research Collaboration in Nanoscience and Nanotechnology”, Paper submitted for publication to *Scientometrics*.
- SIMON, H. A. (1976) : *From substantive to procedural rationality*. S. Latsis. Method and Appraisal in Economics, Cambridge University Press, Cambridge.
- (1992) : “De la rationalité substantive à la rationalité procédurale”, *Les Introuvables en langue française de H.A.Simon*, 5.
- SMALL, H. (1999) : “A passage through science : crossing disciplinary boundaries”, *Library Trends*, 48(1), 72–108.
- SPERBER, D. (2003) : *Pourquoi repenser l'interdisciplinarité?* <http://www.interdisciplines.org/interdisciplinarity/papers/1>.
- STANKIEWICZ, R. (1986) : *Academics and Entrepreneurs, Developing University-Industry relations*. London.
- STEPHAN, P. E. (1996) : “The economics of science”, *Journal of Economic Literature*, 34, 1199–1235.
- STEPHAN, P. E. ET S. G. LEVIN (1997) : “The critical importance of careers in collaborative scientific research”, *Revue d'Économie Industrielle*, 79, 45–61.
- TIJSSEN, R. J. W. (1992) : “A quantitative assessment of interdisciplinary structures in science and technology : co-classification analysis of energy research”, *Research Policy*, 21, 27–44.
- TOMOV, D. T. ET H. G. MUTAFOV (1996) : “Comparative indicators of interdisciplinarity in modern science”, *Scientometrics*, 37(2), 267–278.
- VAN DER MEULEN, B. J. R. (1998) : “Science policies as principal-agent games. Institutionalization and path dependency in the relation between government and science”, *Research Policy*, 27, 397–414.

-
- VASIL, L. (1996) : “Social process skills and career achievements among male and female academics”, *Journal of Higher Education*, 67 (1), 103–114.
- VERONICA, B. M. ET H. GARDNER (2003) : “Évaluer le travail interdisciplinaire aux frontières. Une recherche empirique des 'symtômes de qualité'”, <http://www/interdisciplines.org/interdisciplinarity/papers/6>.
- WINTER, S. G. (1991) : *On Coase, Competence and Corporation*. in O. Williamson et S.G. Winter.
- ZIMAN, J. (1994) : *Prometheus bound : Science in a dynamic steady state*. Cambridge University Press.
- (1997) : “Disciplinarity and interdisciplinarity in research”, dans *Interdisciplinarity and the organisation of knowledge in Europe*, 71–82.