

NOTE DE RECHERCHE

La dynamique du changement scientifique en contexte d'application : la fondamentalisation de l'entomologie économique aux États-Unis au 20^e siècle

Stéphane Castonguay

2005-06

Adresse postale

CIRST
Université du Québec à Montréal
C.P. 8888, Succursale Centre-ville
Montréal (Québec)
Canada, H3C 3P8

Adresse civique

CIRST
Université du Québec à Montréal
Pavillon Thérèse-Casgrain, 3e étage
455, boul. René-Lévesque Est, Bureau W-3042
Montréal (Québec) Canada
H2L 4Y2

Pour nous joindre

Téléphone : (514) 987-4018
Télécopieur : (514) 987-7726
Courrier électronique : cirst@uqam.ca
Site Internet : www.cirst.uqam.ca

Conception graphique : Marie-Andrée Desgagnés et Lysanne Lessard
Révision linguistique: Jocelyne Raymond

ISBN 2-923333-16-0
Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec, 2005
Bibliothèque nationale du Canada, 2005

Table des matières

<i>L'horizon pragmatique de la science appliquée : la pratique agricole comme pratique expérimentale.....</i>	<i>4</i>
<i>La mise en forme de concepts scientifiques à partir de critères techniques: la toxicité relative des insecticides.....</i>	<i>8</i>
<i>L'élargissement de la base cognitive : l'étude des lésions et du métabolisme des insectes nuisibles.....</i>	<i>11</i>
<i>La reconfiguration institutionnelle et l'innovation technologique: la recherche entomologique durant la Seconde Guerre</i>	<i>15</i>
<i>Un corps de connaissance endogène et autonome : toxicologie des insectes et mode d'action des insecticides</i>	<i>17</i>
<i>Les problèmes de terrain comme objet de recherche : la résistance aux insecticides</i>	<i>19</i>
<i>Conclusion.....</i>	<i>21</i>
<i>Références</i>	<i>23</i>

L'étroite imbrication entre biologie moléculaire et développement biotechnologique en médecine et en agriculture nourrit la réflexion récurrente des historiens sur les rapports entre science appliquée et science fondamentale¹. Cette interrogation a pris deux formes. Dans un premier temps, on a démontré la spécificité des pratiques de recherche en science appliquée en précisant que cette dernière ne consiste pas en une application de la science fondamentale, mais qu'elle génère des concepts, des données et des théories qui lui sont propres². Dans un deuxième temps, on a fait disparaître les catégories de « science fondamentale » et de « science appliquée » en soulignant la finalité polémique et politique de leur formation et de leur déploiement dans l'espace public³.

Ainsi engagée, la réflexion historiographique nous paraît toutefois limitante. Descriptive et catégorique, elle poursuit le travail des spécialistes de la politique scientifique qui échafaudent une typologie de l'activité scientifique pour y situer les chercheurs et décider de l'allocation des ressources⁴. En outre, la recherche historique insiste sur des cas individuels pour décrire comment un problème pratique sur le terrain a mené à la production d'une connaissance fondamentale en laboratoire. L'exemple de Pasteur est souvent évoqué, car les découvertes microbiologiques fondamentales du scientifique français prirent place en contexte d'application, visant tantôt à vaincre la rage, tantôt à secourir les industries séricicole, brassicole et viticole de sa patrie. C'est aussi Pasteur qui avait proclamé qu'« il n'existe pas une catégorie de sciences auxquelles on puisse donner le nom de sciences appliquées. Il y a la science et les applications de la science, liées entre elles comme le fruit à l'arbre qu'il l'a porté »⁵.

Si ces études nous permettent effectivement de voir le mixte d'objectifs fondamentaux et appliqués alimentant l'activité scientifique, il nous paraît important d'examiner dans la durée le cheminement collectif sous-tendant les transformations d'une science appliquée qui se perçoit elle-même comme appliquée. Nous pourrions alors comprendre comment les chercheurs articulent dans leurs travaux les demandes formulées par les acteurs externes ou les problèmes qui prennent forme sur le terrain en fonction des objectifs initiaux. Nous exhiberions ainsi une dynamique où interagissent deux formes d'activité scientifique, une visant la compréhension de phénomènes naturels et l'autre ayant pour objectif de résoudre effectivement des problèmes pratiques sur le terrain. De même pourrions-nous dégager les conditions d'une telle dynamique et qui constitueraient autant de caractéristiques d'une science appliquée. En effet, si la notion de science appliquée trouve un usage soutenu tant chez les historiens que les scientifiques que les gestionnaires de la recherche, il s'en trouve peu pour préciser la signification de cette expression, notamment en ce qui touche la nature de cette science et les applications dont il est question (qu'est-ce qui est appliquée et par qui?).

¹ Sur les sciences biomédicales, voir Abir-Am, 1997; Kay, 1998; Kamminga et de Chadarevian, 1998; Gaudillière et Lowy, 1998. Sur les sciences agricoles et écologiques, voir Busch et al. 1991; Krinsky, 1996; Young, 1998; Klinge, 1998. Sur les technologies et les sciences de l'ingénierie, voir Kline, 1992; Seely, 1993; Vincenti, 1990. Pour les études sur les politiques scientifiques, voir Gibbons et al. 1994.

² Staudenmaier, 1989, pp. 83-120.

³ Kline, 1995.

⁴ Averch, 1990; Stokes, 1997.

⁵ Louis Pasteur, « Quelques réflexions sur la science en France », La revue scientifique de la France et de l'étranger, 2e série, 22 juillet 1871, pp. 73-76.

Pour étudier une telle dynamique et spécifier les caractéristiques de cette activité de recherche, nous proposons de recourir à la notion de « fondamentalisation » de la science appliquée. Ce néologisme nous permet de caractériser un processus au cours duquel les chercheurs en science appliquée diffèrent la résolution de problèmes concrets pour s'intéresser aux fondements scientifiques des principes guidant leurs activités pratiques. Les chercheurs orientent leurs travaux vers la compréhension des processus fondamentaux à la source des problèmes qu'ils doivent résoudre sur le terrain. Si au départ la résolution de ces problèmes constitue l'objet premier de la science appliquée, celle-ci passe dorénavant par l'articulation des problèmes pratiques en objets de recherche, l'établissement et la manipulation de mécanismes causaux, ainsi que la substitution d'outils conceptuels aux règles qui ont alimenté les techniques d'un domaine appliqué. Au fur et à mesure que se formalise la base cognitive d'une science appliquée, les chercheurs se tournent vers la résolution de problèmes conceptuels et expérimentaux générés par leurs activités scientifiques. Parallèlement, les connaissances fondamentales acquises contribuent à élargir le bassin de solutions disponibles et à guider l'application des connaissances pour, à terme, atteindre des visées pratiques.

Retracer la fondamentalisation d'une science appliquée ne peut se limiter à une épistémologie historique axée exclusivement sur l'étude des concepts et prétendant faire l'économie du contexte de la recherche. La science appliquée est impensable en dehors des demandes d'un milieu dont les acteurs exigent sans cesse la production de résultats tangibles, même si leurs interventions dépassent la simple attribution de ressources aux chercheurs ou l'identification d'un problème technique à résoudre. En outre, ces acteurs participent au façonnement de l'environnement de la recherche et influencent la marge d'autonomie dont jouissent les chercheurs pour s'engager dans l'étude des phénomènes fondamentaux de problèmes pratiques. Il importe donc de retracer la dynamique institutionnelle menant à la constitution d'un espace où les chercheurs sont seuls à définir les orientations et les modalités d'évaluation de leurs recherches. Il faut également préciser comment les demandes externes s'inscrivent dans la programmation des chercheurs même quand l'horizon pragmatique contraignant initialement la recherche se dissipe⁶.

L'examen de la fondamentalisation d'une science doit surtout attirer notre attention vers les modifications des outils conceptuels et matériels mobilisés par les chercheurs pour problématiser une application. De cet examen des pratiques scientifiques nous ferons ressortir un déplacement des objectifs de la recherche où la constitution d'un corps de connaissance endogène et autonome prend appui sur la conceptualisation d'un problème sur le terrain. Cette extension de la base cognitive révèle l'intérêt d'étudier la dynamique des rapports entre science appliquée et science fondamentale dans la durée. Non seulement voyons-nous comment la résolution de problèmes sur le terrain enrichit la connaissance fondamentale d'une science appliquée, mais aussi comment, par un effet de retour, les sciences dites fondamentales voient leurs contours et leurs objets se modifier par la remontée en amont des contextes d'application et l'intégration des résultats de la science appliquée.

L'illustration de notre propos porte sur l'entomologie économique, tel que cette science se développe aux États-Unis depuis ses débuts jusqu'aux années 1960⁷. Plutôt que de tenter de comprendre le développement de cette science appliquée comme la simple mise en pratique des

⁶ Nicholson, 1977; Sutton, 1984; Mukerji, 1989; Castonguay, 2001.

⁷ Selon Margaret Rossiter, l'entomologie économique est une création américaine. Rossiter 1979, p. 229.

résultats de la recherche fondamentale, ou de rejeter d'emblée les distinctions caractérisant différentes formes de pratiques scientifiques auxquelles se réfèrent pourtant eux-mêmes les acteurs, nous proposons d'étudier les développements conceptuels et expérimentaux propres à l'entomologie économique. Nous nous intéresserons spécifiquement aux transformations des pratiques expérimentales des entomologistes qui, parallèlement à l'amélioration de techniques de contrôle chimique des insectes nuisibles en agriculture, sont amenés à élaborer un corps de connaissance en physiologie des insectes pour atteindre les visées pratiques de leur discipline. Enfin, bien que notre étude se limite au contrôle chimique, nous pourrions montrer que le processus de fondamentalisation affecte la recherche sur les différentes méthodes de contrôle des insectes⁸. Les quelques études traitant à la fois des développements en contrôle biologique et des débats théoriques en écologie des populations supportent notre hypothèse voulant que les différents programmes de recherche en entomologie économique subissent une pression à la fondamentalisation⁹.

Notre réflexion s'articulera autour des conditions intellectuelles et institutionnelles du changement scientifique en contexte d'application pour dégager les indicateurs de la fondamentalisation de la science appliquée. Cet article aborde chacun de ces indicateurs dans six sections qui, bien que déployées dans la durée, n'en constituent pas pour autant une série d'étapes nécessairement successives. Il n'est point question de faire l'apologie d'une forme de progrès scientifique où la science appliquée fondamentalisée aurait préséance sur les pratiques empiriques caractérisant initialement un champ d'application.

L'approche que nous préconisons nous mènera à illustrer le nouveau point de vue sur les rapports du fondamental et de l'appliqué en dégageant une dimension de l'entomologie économique à ce jour négligée. En effet, les historiens se sont principalement préoccupés des techniques de contrôle des insectes: les mesures législatives, le contrôle biologique, les méthodes culturales, le contrôle chimique¹⁰. Pour la plupart, ces auteurs ont signalé la domination des insecticides chimiques, en insistant particulièrement sur l'impact révolutionnaire des insecticides de synthèse dans les pratiques expérimentales en entomologie économique et les pratiques de protection des cultures après la Seconde Guerre mondiale. Les données américaines présentent de façon éloquent la rapidité à laquelle les insecticides de synthèse ont supplanté les produits antiparasitaires issus de la chimie inorganique¹¹. Or, non seulement doit-on nuancer cette évaluation des retombées des insecticides de synthèse sur les pratiques de contrôle des insectes, mais leur impact sur les pratiques de recherche en entomologie économique nécessite aussi un examen plus serré que celui fourni par l'historiographie.

En distinguant les pratiques de contrôle des insectes et les pratiques scientifiques, nous démontrerons que l'entomologie économique, essentiellement descriptive et empirique à ses débuts, embrasse des approches pour élucider certains problèmes fondamentaux en protection des cultures et développe des méthodes de contrôle. Plutôt que de travailler uniquement à

⁸ Par exemple, l'écologie physiologique, la pathologie des insectes, la nutrition des insectes. Voir les contributions dans Smith et al. (dirs.), 1973; Castonguay 2004.

⁹ Sawyer, 1996; Palladino, 1996; Kingsland.

¹⁰ Dunlap, 1981; Perkins, 1982; Rothman, 1987; Sorensen, 1995. Des études récentes mettent l'accent sur les dimensions symboliques ou épistémiques du contrôle des insectes. Voir Russell, 2001 et Jansen, 2000. Enfin, des études portent sur la croissance institutionnelle de cette discipline: Kraft, 2004; Clark, 1999; Hae-Guyong, 1999.

¹¹ Perkins, 1982, pp. 11-15.

l'identification des insectes nuisibles, à la description de leur cycle évolutif et aux essais de méthodes de contrôle – pratiques scientifiques caractéristiques de l'entomologie économique depuis ses débuts au milieu du XIX^e siècle, les chercheurs traduisent les problèmes techniques en des objets de manipulations de laboratoire et d'interventions sur le terrain. Rapidement les développements en entomologie économique s'orchestrent autour de l'étude de phénomènes biologiques régissant le métabolisme et le comportement des insectes. En élucidant les mécanismes d'intoxication et les perturbations neurophysiologiques des insectes exposés à des composés chimiques, des chercheurs dessinent une physiologie de l'insecte autour des problématiques de recherche en entomologie économique, et donnent forme à une conception différente de l'idée de contrôle des insectes et de protection des cultures. Bien qu'elle se manifeste de façon probante dans la foulée des travaux entrepris après la Seconde Guerre mondiale, cette transformation des pratiques expérimentales et du cadre conceptuel de la recherche en entomologie économique apparaît beaucoup plus tôt.

L'horizon pragmatique de la science appliquée : la pratique agricole comme pratique expérimentale

L'expansion initiale de l'entomologie économique et du contrôle chimique est étroitement liée à la protection des cultures fruitières, une production agricole à forte valeur ajoutée. Les organisations de producteurs fruitiers sont d'ailleurs à l'origine de la mise en place des premiers services entomologiques gouvernementaux¹². Elles sont aussi les premières à se mobiliser pour recevoir des gouvernements une aide technique pour contrôler les insectes nuisibles et les maladies cryptogamiques qui menacent leurs vergers. Ces interventions s'expliquent aisément si nous considérons l'importance des investissements, en terme de travail et de capital, que nécessite la production fruitière. Pour le producteur fruitier, cette situation se traduit par un risque plus élevé de pertes économiques, d'autant plus que, contrairement au champ, le verger ne peut pas être semé de nouveau en cas de dévastation, ni être agrandi lors d'une saison aux conditions favorables¹³. Aussi les pulvérisations d'insecticides et de fongicides constituent-elles une méthode de protection des cultures fruitières privilégiée chez les arboriculteurs, puisqu'elle vise à la fois la répression des insectes et des maladies, et qu'elle constitue une pratique générale d'entretien sanitaire des vergers¹⁴.

Pour les entomologistes, il importe de satisfaire ces organisations qui s'avèrent de puissants alliés pour la consolidation de leur discipline. Aussi orientent-ils initialement leurs activités vers la démonstration des méthodes de pulvérisation pour généraliser le recours au contrôle chimique parmi les producteurs fruitiers. Ce travail prend forme directement en association avec les producteurs fruitiers qui militent pour l'embauche par l'État d'un entomologiste, puis pour l'installation d'une station expérimentale ou d'un laboratoire de campagne dans leur comté¹⁵. La création de ces laboratoires offre l'occasion aux entomologistes de se tourner vers l'expérimentation des méthodes de contrôle et non leur simple diffusion auprès des agriculteurs, même si ces lieux demeurent fortement attachés aux demandes d'une clientèle rompue au contrôle chimique. Dans les États aux productions fruitières importantes, les entomologistes des

¹² Sorensen, 1988.

¹³ Sorensen, 1995, p. 120.

¹⁴ Dunlap, 1978.

¹⁵ Sorensen, 1988.

collèges d'agriculture et des stations expérimentales travaillent spécifiquement sur les pulvérisations¹⁶. De même, dans le service entomologique du Département d'agriculture (USBE), la responsabilité du développement des insecticides incombe au laboratoire central de l'unité de recherche en protection des cultures fruitières, la Division of Deciduous Fruit Insects¹⁷.

Si, par leur finalité, les activités de recherche se démarquent des activités de démonstration en protection des cultures, elles reposent toutes deux sur un travail où les pratiques entomologiques reproduisent les pratiques agricoles : pulvériser des insecticides, identifier les dommages aux récoltes, comptabiliser les insectes K-O¹⁸. Plusieurs facteurs concourent à conférer un caractère empirique à la recherche, non le moindre étant les conditions institutionnelles de la recherche. Cette situation maintes fois analysée par les historiens des sciences agricoles fait ressortir la dépendance des chercheurs à l'endroit de leurs clientèle, fermière et politique¹⁹. Elle démontre aussi comment la proximité des acteurs externes conditionne les pratiques scientifiques.

D'abord, l'amélioration des méthodes de contrôle chimique doit répondre aux préoccupations des agriculteurs, notamment en ce qui concerne les coûts et l'efficacité des produits insecticides, et reposer sur des méthodes qui s'intègrent bien aux pratiques agricoles. Cette contrainte se manifeste particulièrement lorsque les entomologistes travaillent au développement de pulvérisations combinées d'insecticides et de fongicides. Protéger les cultures contre les insectes et les maladies implique un travail et une technologie similaires, les pulvérisations de produits chimiques. Un premier objectif vise donc à intégrer des insecticides et des fongicides dans un seul traitement pour diminuer le nombre de pulvérisations. Les entomologistes doivent alors considérer la compatibilité entre les composés chimiques combinés pour éviter des effets phytotoxiques, comme la brûlure du feuillage ou la chute précoce des fruits, ou l'inhibition des qualités insecticides ou fongicides des pulvérisations.

Ensuite, la recherche en protection des cultures fruitières s'inscrit à l'intérieur d'un cadre technique bien circonscrit, où les produits phytosanitaires se limitent à quelques composés de chimie inorganique qui ont gagné la faveur des arboriculteurs et des entomologistes. Qu'il s'agisse des insecticides à base d'arsenic ou des fongicides à base de soufre, ces composés, qui sont en usage depuis la fin du XIX^e siècle, dominent le marché des pesticides durant l'entre-deux-guerres²⁰. Ces pesticides constituent un arsenal à l'intérieur duquel les entomologistes effectuent des combinaisons, en employant les composés à des concentrations différentes, pour définir les programmes de pulvérisations les plus efficaces et les moins coûteux. Or, leur introduction en agriculture relève rarement d'une entreprise systématique. C'est ainsi que l'arséniate de plomb et l'arséniate de calcium - les insecticides les plus populaires durant l'entre-deux-guerres - sont découverts au hasard de campagnes contre la spongieuse et l'anthonome du coton²¹.

¹⁶ Ohio, New Jersey, New Hampshire, New York, Pennsylvania et, bien sûr, la Californie. See Boyce, 1974, p. 469. Les laboratoires des collèges agricoles de certains États du Mid-Ouest rattachés à la production des cultures céréalières contribuent également au renouvellement des approches de recherche en contrôle chimique, mais celui-ci est davantage tributaire de la protection des produits entreposés, un problème qui gagne en acuité durant la Grande Guerre et qui encourage l'appui financier de l'industrie meunière à la recherche entomologique. Palladino, 1996, p. 123.

¹⁷ Weber, 1930.

¹⁸ Sherman, 1909; Headlee, 1911.

¹⁹ Marcus, 1985; Kimmelman, 1987; Fitzgerald, 1990.

²⁰ Perkins, 1982, pp. 3-5; Rothman, 1987, pp. 196-290.

²¹ Dunlap, 1978; Helms, 1979.

Que ce soit dans les travaux sur la chimie des pesticides ou dans les essais en verger pour vérifier l'efficacité des pulvérisations, l'objectif de la recherche demeure l'évaluation du contrôle direct des insectes nuisibles. Sous cet horizon pragmatique, les entomologistes mènent néanmoins des études en insectarium où ils décrivent le cycle évolutif et le comportement des espèces d'insectes nuisibles pour déterminer le stade du développement de l'insecte où l'application d'un insecticide compromet sa survie et accroît l'efficacité des mesures de contrôle. Voilà les fondements proprement entomologiques de la recherche en protection des cultures. C'est par l'étude du cycle évolutif des insectes d'importance économique que l'entomologie économique et ses praticiens se distinguent des taxonomistes qui occupent entièrement l'espace entomologique jusqu'au milieu du XIXe siècle en identifiant, décrivant, puis classifiant les insectes. Tandis que ces derniers s'intéressent principalement aux relations taxinomiques des insectes – étudiant leur morphologie, leur anatomie et leur développement, les entomologistes appliqués se penchent sur le comportement et les habitudes de l'insecte pour accroître l'efficacité des méthodes de contrôle. Ces différences de pratiques et de desseins mèneront à la création de deux associations scientifiques distinctes. D'abord, à la suite de rencontres informelles de l'American Association for the Advancement of Science, des entomologistes employés par les gouvernements des États et du Département de l'agriculture formeront l'*American Association of Official Economic Entomologists*. Quelques dix années après la création de cette société en 1897, certains membres formeront l'*Entomological Society of America*, dans le but exprès de discuter les aspects de la vie des insectes touchant « les problèmes plus généraux de la biologie et de la zoologie²² ».

Notons ici que dans les discours sur les rapports entre entomologie systématique et entomologie économique, il n'est pas question de définir celle-là comme l'application de celle-ci. Certains entomologistes caractérisent l'entomologie systématique comme une science pure, au même titre que le sont les travaux des zoologistes s'intéressant à la morphologie, l'anatomie et la physiologie, la distribution géographique, l'évolution et l'écologie des insectes²³. Mais l'entomologie économique n'est pas l'application de ces sciences, dans la mesure où l'étude de la bionomie et du cycle évolutif – pour ne pas parler de l'expérimentation des méthodes de contrôle –, est une pratique scientifique et une connaissance qui lui sont spécifiques. C'est ce que confirme, au point de vue organisationnel, l'imbrication de l'entomologie économique et de l'entomologie systématique avec l'intégration de la collection entomologique de Musée Smithsonian au USBE²⁴. À l'intérieur du corps même des entomologistes, les divisions ne sont pas aussi conflictuelles que peut le laisser paraître la création de l'*Entomological Society of America*, dans la mesure où les systématiciens bénéficient du support matériel et symbolique accordé à l'entomologie économique pour les services que rendent ses praticiens à l'agriculture.

Une autre manifestation du pragmatisme des entomologistes est qu'ils ne s'embarrassent guère d'élucider les conditions d'efficacité des méthodes de contrôle, que ce soit dans leurs études sur le cycle évolutif des insectes nuisibles, ou celles sur les pulvérisations²⁵. Si, partant de leurs études bionomiques, ils savent que, appliqué au temps (X), l'insecticide atteint l'insecte lorsque celui-ci

²² « Introductory », *Annals of the Entomological Society of America* 1, 1908, p. 124.

²³ L'entomologie pure, ainsi conçue, occupe quatre des cinq sections de l'organisation du Congrès international d'Entomologie, la dernière section étant celle de l'entomologie appliquée L. O. Howard, « Entomology », *Science*, 1928, 17 août, vol. LXVIII, no 1755, p. 143-145. Discours présidentiel du quatrième Congrès international d'entomologie, tenu à Ithaca (NNY) du 12 au 18 août 1928.

²⁴ Marchal, 1916.

²⁵ Fernald, 1908.

émerge du calice de la pomme et lorsque la croissance du fruit n'est pas en danger, les entomologistes ignorent les mécanismes d'empoisonnement. L'explicitation du mode d'action des insecticides se fonde principalement sur une typologie basée sur la structure buccale des insectes²⁶. Ainsi, des produits à base d'arsenic contre les insectes broyeur sont employés des poisons par ingestion comme les arsenics, tandis que les insectes suceurs nécessitent l'emploi de poison par contact comme les émulsions d'huile et des composés à base de soufre ou de cuivre. Ce sont les essais sur le terrain qui déterminent finalement l'efficacité d'un insecticide et la pertinence des données accumulées en insectarium. À cet égard, l'efficacité embrasse plusieurs considérations qui dépassent l'effet d'un traitement sur un insecte en particulier. Elle implique également le complexe entomologique, les maladies cryptogamiques, ainsi que l'arbre et ses fruits. De plus, elle dépend de la capacité de l'agriculteur d'adopter la méthode recommandée, en fonction des coûts et du travail requis. La recherche entomologique doit donc s'inscrire dans l'ensemble des pratiques d'entretien des vergers et de production fruitière.

Les qualifications des entomologistes correspondent bien à ces multiples exigences, alors que la majorité d'entre eux sont titulaires d'un diplôme de premier cycle, avec une formation générale en sciences agricoles²⁷. Si la polyvalence des étudiants de premier cycle s'avère adéquate pour mener des recherches qui doivent combiner à la fois des considérations horticoles, chimiques et phytopathologiques, elle demeure insuffisante pour ancrer la recherche en protection des cultures fruitières dans des perspectives plus analytiques²⁸.

Outre la formation des entomologistes, les conditions institutionnelles de la recherche demeurent inadéquates au début du siècle pour encourager une recherche sur des mécanismes fondamentaux. Nous avons plus haut souligné la proximité entre les producteurs fruitiers et les entomologistes responsables de la recherche sur les insecticides. L'ensemble du réseau des stations expérimentales et les laboratoires de campagne du USBE fournissent rarement les moyens intellectuels et matériels pour une recherche dépassant le stade de l'application. Les chercheurs demeurent confinés dans un travail routinier, testant différents produits pour élaborer des recommandations et des guides de pulvérisation²⁹. Ces conditions se modifient après le passage du Adams Act en 1906³⁰. En effet, l'Adams Act précise une définition légale du travail scientifique financé par le USDA et exécuté dans les stations expérimentales : il doit correspondre à une recherche originale visant la solution d'un problème spécifique à partir de lois sous-tendant la production agricole. Des entomologistes espèrent recourir systématiquement aux modifications apportées par l'Adams Act pour interroger les principes sous-tendant la vie des insectes et leur contrôle. Plusieurs d'entre eux considèrent que les essais comparés de différentes marques d'arsenic, l'élevage de spécimens en insectarium, puis la publication d'un bulletin soulignant ces supposés faits ne constituent pas de la recherche scientifique à proprement parler³¹.

²⁶ LeConte, 1875, cité dans Shepard, 1939. Un troisième mécanisme d'empoisonnement est la respiration et concerne la pratique de fumigation avec des gaz comme l'acide hydrocyanique.

²⁷ Howard, 1914; Osborn, 1894.

²⁸ Smith, 1926; Herms, 1929.

²⁹ Slingerland, 1907.

³⁰ Rosenberg, 1978, pp.

³¹ Sanderson, 1907; Weber, 1907.

Un des rares entomologistes à publier sur les modalités d'intoxication des insectes par des insecticides bénéficie précisément des mesures instaurées en 1906 pour encourager la recherche originale. George Daniel Shafer a obtenu son doctorat auprès de John Comstock à l'Université Cornell avant de devenir entomologiste à la Station expérimentale du Michigan³². Pour Shafer, parler d'empoisonnement par contact ne suffit plus : il faut déterminer les conditions de pénétration de l'insecticide dans l'organisme de l'insecte puis, dans une moindre mesure, dans certains mécanismes métaboliques touchant la respiration cellulaire. Cet entomologiste axe donc ses travaux sur l'étude de la capacité de pénétration et des conditions physiques d'application des insecticides pour indiquer les matières inertes à employer avec l'insecticide. Deux bulletins techniques qu'il publie offrent la première réflexion sur le mode d'action des insecticides dont nous avons trouvé la trace. Dans ces bulletins, la toxicité des insecticides cesse d'être évaluée à l'aune de la mortalité enregistrée dans le verger expérimental ; elle se mesure plutôt au degré de suffocation de l'insecte que provoque la fermeture des spiracles³³. Les hypothèses de Shafer seront reprises et contestées à partir des années 1920, quand une autre génération de chercheurs se penchera sur les mécanismes d'intoxication. Shafer aura cessé toutefois de travailler sur la toxicité et les insectes après son départ pour le département de physiologie de l'Université Stanford en 1918.

La mise en forme de concepts scientifiques à partir de critères techniques: la toxicité relative des insecticides

Les travaux de Shafer, tant par leur problématique que par leur condition institutionnelle de production, se démarquent clairement de la littérature existante. Tout en soulignant un premier intérêt pour la physiologie de l'insecte en entomologie économique, ils présentent une première mise en forme de la toxicité des insecticides autrement que par le seul décompte des insectes pulvérisés dans un verger expérimental. Avec la mise au point des techniques d'évaluation de la toxicité relative, l'enjeu sera de déterminer l'efficacité d'un insecticide indépendamment des conditions d'application sur le terrain. Les entomologistes tenteront de contrôler les variables qui contraignent ou stimulent l'efficacité insecticide des composés.

Cette opérationnalisation de l'étude de la toxicité des insecticides en laboratoire et la réorientation de la recherche découlent d'une double conjoncture qui se traduit par l'introduction des insecticides botaniques sur les terrains agricole et expérimental. D'abord, l'inefficacité des traitements chimiques devient patente au point où des autorités phytosanitaires nationales exigent que les importations de produits agricoles soient accompagnées d'une certification voulant que les produits sont exempts d'insectes nuisibles alors absents de leur territoire³⁴.

Ce problème apparaît relativement mineur comparativement à la crise liée à la présence de résidus d'insecticides sur les denrées. En 1925, le gouvernement britannique menace d'imposer un embargo sur les fruits en provenance des États-Unis et oblige les autorités américaines à convenir d'un plan d'inspection avec les producteurs fruitiers et les exportateurs pour éviter d'acheminer sur le marché britannique des denrées contaminées par des résidus³⁵. De plus, la présence sur le

³² Shafer, 1908.

³³ Shafer, 1911, 1915. Pour d'autres contributions, voir Woodworth, 1915; Moore, 1917.

³⁴ Les phénomènes de quarantaine internationale sont analysés dans Seftel, 1985; Castonguay 2003.

³⁵ Whorton, 1974, pp. 84-86, 134.

marché américain de produits comestibles jugés trop toxiques pour le consommateur britannique inquiète certains Américains qui tentent d'appliquer aux États-Unis une norme similaire à celle en vigueur en Grande-Bretagne.

La résolution du problème des résidus est complexe, notamment parce qu'il prend sa source dans la multiplication des pulvérisations qu'encouragent les services entomologiques pour surmonter les problèmes de quarantaine par les gouvernements étrangers inquiets de la présence d'insectes sur les cargaisons de denrées importées. Ce problème concerne principalement les pomiculteurs qui recourent aux pulvérisations tardives pour le contrôle de la mouche de la pomme – un insecte qui a permis aux autorités britanniques d'exiger des pays exportateurs un certificat d'inspection -, et ceux qui multiplient les pulvérisations contre la pyrale de la pomme. Au début des années 1930, cet insecte ravage les vergers malgré quatre pulvérisations saisonnières, alors que, dix ans plus tôt, une seule application d'arséniate de plomb suffisait pour l'enrayer³⁶.

Une autre facette de ce problème est la plus grande indifférence que manifestent les insectes face aux pulvérisations. Si certains entomologistes constatent le phénomène de résistance chez les insectes et l'identifient comme un problème de protection des cultures, ils le problématisent uniquement en signalant l'inefficacité croissante des traitements insecticides. Un entomologiste californien, A. L. Melander, recourt à la théorie de la sélection naturelle pour expliquer comment se développe une race résistante de certains insectes, et propose comme solution un programme de pulvérisation déficient pour voir réapparaître une race moins vigoureuse la saison suivante³⁷. Aux entomologistes qui s'aventurent sur le terrain des théories évolutionnistes pour indiquer la possibilité d'une immunité acquise et de la transmission d'un facteur de résistance à travers les générations, on rétorque que les races résistantes ne se développent pas également à travers les terrains soumis aux pulvérisations³⁸. Pour les entomologistes, le problème de la résistance en est un d'ordre pratique et concerne uniquement les techniques de pulvérisations chez les arboriculteurs. Il n'est pas question de le concevoir pour modifier les pratiques agricoles ou expérimentales en protection des cultures.

Les problèmes liés à l'inefficacité croissante des insecticides chimiques et les dangers sanitaires que pose leur utilisation abusive fournissent un contexte favorable à l'utilisation croissante des insecticides botaniques, comme la nicotine ou le pyrèthre³⁹. Si bien des recherches sur les insecticides botaniques ne se distinguent guère de celles précédant la crise des résidus, certaines donnent lieu à une formalisation conceptuelle et expérimentale de la toxicité⁴⁰. Le travail sur le terrain s'inscrit dans les essais de pulvérisation et vise à déterminer l'efficacité insecticide et la persistance des propriétés toxiques de ces produits contre différents insectes. Toutefois, un nouvel axe de recherche prend place pour surseoir à certaines difficultés liées aux essais sur le terrain, où varient les facteurs climatiques et les populations d'insectes. Ici, les entomologistes entendent fonder les essais de pulvérisation sur des études en laboratoire touchant l'évaluation de la toxicité relative des insecticides. Les entomologistes reconnaissent que les

³⁶ Perkins, 1982.

³⁷ Melander, 1914; Quayle, 1916; Quayle, 1922; Boyce, 1928.

³⁸ Moore, 1933. Voir aussi Russell, 2001, pp. 24-25.

³⁹ Roark, 1935, pp. 211-215; Roark, 1919; McIndoo, 1916; Roarke, 1934; Laforge et Markwood, 1938. Ces derniers auteurs précisent en introduction que les seuls insecticides organiques discutés sont des composés aux origines végétales : roténone, derrie, cubbé pyrethrines, quassin, nicotine et alcaloïdes reliés.

⁴⁰ Hamilton, 1934, p. 446.

résultats en laboratoire peuvent ne pas être reproduits précisément sur le terrain, et que la performance en verger demeure le test final de la valeur d'un insecticide. Néanmoins, ils estiment que le développement de méthodes d'évaluation de la toxicité relative permet d'élargir la portée de leurs recherches en reproduisant - ou non - leurs résultats, et que la collation de données sur la toxicité des insecticides sous des conditions contrôlées fournit une information de base pour des essais subséquents sur le terrain⁴¹.

La mise en forme de la toxicité repose sur la conception d'un équipement expérimental qui, couplé à un appareil statistique expressément créé pour ce travail⁴², devrait permettre la reproduction des essais et la comparaison des résultats. Des appareils de pulvérisation sont mis au point pour exposer les insectes à une quantité égale d'insecticide pulvérisé à angle fixe dans un temps donné⁴³. De même, l'élevage et la manipulation des insectes occupent une place importante dans la littérature scientifique, les entomologistes cherchant à substituer un matériel standardisé aux espèces nuisibles rencontrées dans les vergers et normalement utilisées dans les essais en laboratoire⁴⁴. Des insectes comme la drosophile (*Drosophila melanogaster*) ou la mouche (*Musca domestica*) gagnent ainsi le laboratoire d'entomologie économique pour attester la normalisation des procédures d'évaluation des insecticides⁴⁵.

Tout en visant à déterminer les conditions d'une utilisation plus efficace de produits à plus faible toxicité pour les humains, les méthodes de recherche permettent de statuer la valeur relative des composés employés à différentes concentrations et pour différents insectes⁴⁶. Elles se basent sur la prémisse que, pour la même concentration d'une substance toxique, le taux de poison reçu par chaque insecte sera toujours équivalent. En faisant varier la substance et sa concentration, le chercheur obtient une mesure de la toxicité qui sera fonction de la proportion d'individus décédés sur le nombre d'individus exposés pour chaque concentration. Il multiplie ces mesures pour dresser des courbes indiquant la variation de toxicité en fonction de la concentration pour chaque insecticide. Ces courbes fournissent un indice de toxicité pour chaque insecticide et identifient la concentration nécessaire à l'élimination de tous les insectes ou la dose à partir de laquelle les insectes survivront. L'expression de la toxicité relative permet alors la sélection des insecticides les plus puissants à plus faible dose.

Les travaux sur les insecticides botaniques sont menés par des entomologistes qui recourent à des travaux en laboratoire comme prélude aux essais de pulvérisations sur le terrain⁴⁷. Les pratiques expérimentales, toujours composées de pulvérisation, s'éloignent du verger et se distinguent peu à peu des pratiques agricoles. La recherche sur la toxicité relative permet de fonder les essais sur le terrain sur une recherche en laboratoire où est comparée la valeur d'un insecticide indépendamment des variables météorologiques et des modalités d'application de l'insecticide. La toxicité ne relève plus de l'effet d'un insecticide sur la protection des cultures, exprimé par les rendements et les dommages, mais plutôt de la capacité du produit à tuer le plus grand nombre

⁴¹ Houser, 1932; Headlee, 1930.

⁴² Voir l'annexe de Fisher dans Tattersfield et Morris 1924.

⁴³ Tattersfield et al. 1925a, b.

⁴⁴ Fleming, 1934; Fleming et Baker, 1934.

⁴⁵ Grady, 1928a, b, c; Peet et Grady, 1928a, b, c. Ces entomologistes travaillent au laboratoire de la compagnie Rohm & Haas, à Bristol, Pennsylvania.

⁴⁶ Gimmingham, 1934; Roarke, 1933; Tattersfield, 1939.

⁴⁷ McIndoo, 1916; McIndoo et al., 1919; Campbell, 1926b; Richardson, 1926; H. H. Shepard et C. H. Richardson, 1931; Richardson et al., 1934. Voir aussi les bulletins techniques de la New Hampshire Agricultural Experiment Station dans la série « Studies of contact insecticides ». Par exemple, O'Kane et al., 1930 et 1933.

d'insectes dans un temps donné. Les essais sur le terrain et la formulation des recommandations de pulvérisation s'inspirent alors d'un potentiel toxique déterminé en laboratoire et non uniquement des récoltes du cultivateur. L'élaboration d'outils mathématiques, l'élevage d'insectes normalisés, la construction d'appareils pour des manipulations standardisées, l'élaboration de constantes établissant la capacité toxique d'un composé, enfin l'élimination des variables météorologiques représentent autant d'éléments de la pratique expérimentale de l'entomologiste qui tente de reproduire et comparer ses résultats. Ce qui importe n'est plus la toxicité directe de l'insecticide et sa capacité de protéger les cultures, mais bien sa valeur toxique – son effet létal sur une population d'insectes dans des conditions données. Les entomologistes se dotent de bases formelles dans leurs essais de pulvérisation en élaborant des critères pour comparer l'effet et l'efficacité d'un insecticide.

L'élargissement de la base cognitive : l'étude des lésions et du métabolisme des insectes nuisibles

Dans les travaux sur la toxicité relative, les entomologistes maintiennent les catégories empoisonnement par contact – empoisonnement par ingestion, et les mécanismes mêmes de toxicité leur demeurent étrangers. Toutefois, les difficultés à employer ces méthodes pour les insecticides par ingestion donnent lieu à une séparation de la recherche sur les insecticides en fonction du mode d'empoisonnement⁴⁸. En effet, les tests de toxicité relative ont comme point de départ les recherches de l'entomologiste britannique Robert Tattersfield⁴⁹. Or les difficultés pratiques en protection des cultures en Grande-Bretagne teintent les procédures expérimentales. Depuis les controverses que soulève la présence de résidus d'insecticides sur les denrées alimentaires, la recherche vise à cerner l'efficacité des insecticides botaniques, car ce sont de produits de faible toxicité pour les humains. Ce choix technique est d'autant plus justifié que les entomologistes britanniques sont principalement préoccupés par des insectes susceptibles à l'empoisonnement par contact comme les pucerons. Peu de travaux portent sur l'empoisonnement par ingestion pour les insectes broyeur qui, comme la mouche de la pomme, sont des ennemis des cultures de faible importance en Grande-Bretagne, mais qui en Amérique mettent en péril des productions régionales. Or, pour les insecticides par ingestion, l'expérimentateur a un faible contrôle sur la quantité d'insecticide auquel est exposé l'insecte qui ingère une dose plus ou moins fixe de matériel végétal empoisonné.

Pour surmonter les difficultés reliées à la détermination de la toxicité relative des insecticides par ingestion, les entomologistes se penchent sur les processus physiologiques chez les insectes pour identifier les facteurs chimiques, physiques et biologiques influençant l'efficacité, sinon l'effet, des insecticides. S'inspirant des approches de la toxicologie humaine, notamment en pharmacologie et en médecine légale, la mise en évidence des lésions provoquées par les poisons employés comme insecticide mobilise, outre les entomologistes, des chercheurs issus des milieux médicaux. Elle donne lieu à l'élaboration d'une physiologie de l'insecte, un domaine qui jusque-là a concerné uniquement les entomologistes éloignés des contextes d'application en zoologie expérimentale⁵⁰.

⁴⁸ Bulger, 1932; Campbell, 1926d; Campbell, 1930.

⁴⁹ Tattersfield et Morris, 1924.

⁵⁰ Hoskins, 1940; Hoskins et Craig, 1935.

C'est par l'étude du système respiratoire et digestif que la contribution des entomologistes à la physiologie des insectes se démarque⁵¹. Il faut dire que dans les deux cas, les contributions en zoologie se tarissent depuis la fin du XIXe siècle⁵². Quelques chercheurs emploient des insectes pour explorer certains phénomènes métaboliques, et consacrent certaines espèces nuisibles comme modèle biologique : *Epehstia kuehniella*, *Tenebrio molitor*, *Periplaneta americana*, *Tribolium confusum*, *Galleria mellonella*, *Blatta orientalis*, *Bombyx mori*⁵³. D'autres insectes nuisibles moins connus du milieu expérimentaliste gagnent une certaine popularité. L'itinéraire d'une espèce de sauterelle, *Melanoplus differentialis*, est ici un cas de figure. Sous la recommandation de son directeur d'études doctorales, Joseph Hall Bodine l'emploie dans ses recherches à l'Université de Pennsylvanie. La sauterelle deviendra la pièce maîtresse des programmes de recherche que Bodine mènera au cours des prochaines décennies, depuis Philadelphie où il agira comme assistant-professeur jusqu'en 1932, puis à la State University of Iowa, où il sera recruté pour consolider les activités du département de zoologie et en renouveler la programmation scientifique⁵⁴. Ses étudiants et ses collègues poursuivront nombre de travaux en physiologie animale sur ce même insecte. Toutefois, les contacts avec les entomologistes seront faibles sinon nuls - les publications entomologiques et zoologiques ne se référant jamais entre elles -, même en plein centre d'un État céréalier comme l'Iowa et à proximité d'un collège agricole rompu à la recherche comme le Iowa Agricultural College⁵⁵.

La séparation entre recherche fondamentale et recherche appliquée est-elle si ancrée dans les institutions que les individus ne peuvent concevoir les surmonter? Certains transcendent ce schisme. Ceux-là appartiennent à la caste des entomologistes appliqués qui proviennent des universités de recherche (Harvard, Columbia, Pennsylvanie), des grands collèges d'agriculture (Californie, Ohio, Iowa, Minnesota, New Jersey), et, à la jonction de ces deux institutions, de l'Université Cornell et de son Collège d'agriculture⁵⁶. Que ces entomologistes se retrouvent dans les stations expérimentales, les collèges d'agriculture ou le USBE, ils conservent de leur formation initiale cette propension à publier dans des revues hors du champ agricole⁵⁷. Cette pratique révèle également la capacité d'inscrire leurs études dans des problèmes de biologie générale participant au contrôle des insectes.

Où la distinction institutionnelle semble avoir une incidence, c'est initialement sur la division du travail entre la recherche sur l'évaluation de la toxicité relative et celle sur les lésions physiologiques que provoque l'insecticide chez l'insecte. En effet, les travaux sur le site d'action des insecticides émanent principalement des départements de zoologie ou des facultés de médecine des grandes universités de recherche, et des instituts privés de recherche⁵⁸. Quant à la

⁵¹ Strand, 1930; Fink, 1926; Fink, 1932; Marshall, 1939; McGovran, 1932; McGovran, 1931; Nelson, 1927; M. C. Swingle, 1931a; M. C. Swingle, 1931b; H. S. Swingle, 1928; Woke, 1939; Woke, 1940.

⁵² Selon Patton (1963, p. 2), toute cette physiologie se trouve résumée dans Marchal (1911), et de nouvelles perspectives émergent seulement après la deuxième guerre mondiale.

⁵³ Valentine, 1931; Campbell, 1929; Yeager et Hendrickson, 1934; Crescitelli, 1935; Fisher, 1935; Campbell, 1926c; Chapman, 1924; Richardson, 1926.

⁵⁴ Sur le travail de Bodine, voir Kohler, 1991, pp. 314-316. Le programme de recherche de Bodine sur les sauterelles dure plus de trois décennies. Voir, entre autres, Bodine, 1922; Bodine et Boell, 1935; Bodine et Robbie, 1940.

⁵⁵ Sur la recherche au Iowa Agricultural College voir Rossiter, 1985.

⁵⁶ Henson, 1991.

⁵⁷ Ellisor et Richardson, 1938; Fink, 1924; Fink, 1925; Campbell, 1926a, c; Yeager et al., 1932; McIndoo, 1930; McIndoo, 1939; Yeager, 1927; Fink, 1927.

⁵⁸ 1925. « The scope of the Institute ». Contributions from Boyce Thompson Institute for Plant Research 1, pp. 3-24.

mise au point des méthodes d'évaluation de la toxicité relative, les études proviennent principalement du Bureau de l'entomologie et de l'industrie phytosanitaire⁵⁹. Aux prises avec des vendeurs sans scrupules, celle-ci tente de protéger sa réputation en revendiquant des lois sévères sur l'étiquetage des insecticides pour garantir la qualité de ces produits. Tout en cherchant à identifier des produits prometteurs, les entomologistes de l'industrie s'affairent à se doter d'outils pour évaluer la toxicité relative des insecticides mis sur le marché⁶⁰.

Au USBE, toutefois, deux nouvelles entités, la Division of Control Investigations et la Division of Insecticides Investigations, remplacent l'unité de recherche de la Division of Deciduous Fruit Insects Investigations et absorbent la section sur les insecticides du Bureau of Chemistry, démantelé en 1935. La première mène des travaux sur les processus physiologiques et métaboliques comme base de la compréhension de l'action des insecticides, la seconde, sur la chimie des insecticides et la relation entre la structure chimique et la toxicité des composés⁶¹. Après l'adoption du Bankhead Jones Act⁶² en 1935 – qui finance la recherche “sur les aspects les plus fondamentaux de la production agricole” – ces divisions et les départements entomologiques de stations expérimentales disposent des ressources et de la légitimité pour participer à cet élargissement de la base cognitive de l'entomologie économique.

Ces conditions institutionnelles et les problèmes techniques en protection des cultures concourent à fonder la recherche en contrôle chimique sur une physiologie expérimentale pour comprendre le mode d'action des insecticides et en évaluer les conditions d'efficacité. La recherche entomologique, qui se désintéresse du symptôme pour élucider le mécanisme d'empoisonnement, porte sur les conditions physiologiques favorisant ou contraignant l'action du matériel toxique et sur les conditions pathologiques ou les désordres métaboliques résultant de l'introduction d'une substance toxique dans le corps. Les entomologistes cherchent spécifiquement à identifier le mode de pénétration des insecticides et leur site d'action. On se demande ce qui garantit l'efficacité insecticide sans engager une toxicité humaine, en pensant que l'identification de mécanismes vitaux propres aux insectes expliquerait l'action spécifique d'un insecticide botanique et son innocuité pour les humains⁶³.

En optant pour classer leurs études selon des phénomènes comme la perméabilité des membranes, la distribution des poisons à travers le corps ou le métabolisme cellulaire, les chercheurs participent à l'élaboration d'une physiologie de l'insecte fondée sur des hypothèses pharmacologiques où le mode d'action des insecticides dicte les parties étudiées: les membranes externes comme le tégument ou le cuticule, les parois du système digestif⁶⁴ et les parois du système respiratoire⁶⁵. Les chercheurs identifient des lésions pour connaître les modalités de pénétration des insecticides, en fonction des parties corporelles (dans les spiracles, dans la

⁵⁹ O'Kane, 1936; Russell, 2001, pp. 81-84.

⁶⁰ Russell, 1993, pp. 237-238.

⁶¹ National Archives and Records Administration (College Park, Maryland). RG-7 Records of the bureau of entomology and plant quarantine. Records of the division of control investigations. Special reports to reports. Division of insecticides investigations, 1935-51 Plan of work of the Division of Control investigations.

⁶² Sur la recherche agricole sous le Bankhead Jones Act, voir Pursell, 1968.

⁶³ Yeager et al. 1935; Yeager et Gahan, 1937, pp. 1-20; Richardson, 1945; Hartzell, 1934; Hartzell et Wilcoxon, 1933; Hartzell et Wilcoxon, 1932; Hartzell et Wexler, 1946; Hockenyos, 1936; Shull et al., 1932.

⁶⁴ H. S. Swingle, 1928; M. C. Swingle, 1931a; M. C. Swingle, 1931b; Hansberry et Richardson, 1936; Campbell et Lukens, 1931; Marshall, 1939; Fink, 1932; Woke, 1938; Woke, 1939.

⁶⁵ Wilcoxon et Hartzell, 1931; Fink, 1926, 1929; Tischler, 1935.

trachée, dans l'épithélium, dans le tégument) et de leurs caractéristiques physiques (la tension de surface du liquide). Des entomologistes rapprochent la composition chimique des membranes aux conditions physiques de leur perméabilité aux insecticides⁶⁶. Ils attribuent notamment l'action sélective des insecticides à la composition du tégument qui favoriserait ou non la pénétration et influencerait leur comportement et leur distribution dans le corps de l'insecte. Ici, ce n'est pas la physiologie de l'insecte que l'entomologie économique refonde, mais la chimie des insecticides qui, plutôt que de voir uniquement à la compatibilité entre les composés chimiques employés dans les pulvérisations, tente de rapprocher la physico-chimie de l'insecte et celle des insecticides et de leur adjuvant.

Généralement, peu de liens s'établissent entre la recherche sur l'évaluation de la toxicité relative et celle des lésions. Ces deux approches se complètent plus qu'elles ne s'imbriquent, sauf chez des entomologistes et des chimistes qui s'intéressent aux modalités de pénétration des insecticides et à l'identification des sites d'action. Des études ancrées dans des perspectives physico-chimiques, articulées initialement par Tattersfield⁶⁷, puis reprises dans différents laboratoires du Bureau de l'entomologie et des stations expérimentales, visent à établir des corrélations entre la structure des composés et leur activité biologique⁶⁸. Le point de départ de ces études est l'évaluation de la toxicité relative pour étudier les composés insecticides les plus efficaces. Une fois connue la structure chimique de ces composés, chimistes et entomologistes manipulent celle-ci par l'ajout ou le retrait de molécules, et incluent d'autres composés appartenant à un groupe chimique apparenté dans la liste des produits à tester⁶⁹. Bien que des chercheurs mettent en évidence le caractère létal des radicaux de la chaîne benzénique ou des radicaux aux propriétés optiques particulières⁷⁰, leurs travaux se heurtent à l'absence d'une définition satisfaisante de la toxicité. Or, la mise au point des méthodes d'évaluation de la toxicité relative doit précisément fournir une définition quantitative qui servirait de base de comparaison.

Si l'étude de la toxicité relative ressemble en bien des points aux travaux des autres entomologistes, avec les pulvérisations, les décomptes, et l'évaluation subjective de la mortalité de l'insecte (degré d'excitation et de mobilité du spécimen), certaines ruptures apparaissent dans la recherche. La mortalité cesse de paraître comme une donnée absolue, en regard des conditions d'expérimentation sur le terrain, pour devenir une donnée relative, indépendante des conditions d'expérimentation. De même, les chercheurs délaissent la simple comptabilité de la mortalité pour s'intéresser aux modalités d'intoxication des insectes. L'étude des lésions met à nu des systèmes métaboliques de l'insecte pour connaître les désordres que provoquent les insecticides sur des fonctions vitales. Des indices sont fournis quant aux conditions de pénétration des insecticides, mais les sites d'action et les modalités de distribution à travers le corps demeurent incertains. Notamment, les entomologistes souhaitent une meilleure détermination de la constitution chimique des éléments des systèmes métaboliques pour appréhender les mécanismes d'empoisonnement⁷¹. Enfin, si les recherches durant l'entre-deux-guerres portent principalement

⁶⁶ Hockenyos 1933, 1936, 1939; Campbell, 1929; Richardson et al., 1934; Wilcoxon et Hartzell, 1933; Hartzell et Wilcoxon, 1932; Hoskins, 1932.

⁶⁷ Tattersfield et Roberts, 1920.

⁶⁸ Jones et al., 1935; Hoskins et al. 1940.

⁶⁹ Gersdorff, 1936; Gersdorff, 1938; Gersdorff, 1939; Ginsburg et al., 1935; Ginsburg et Cavallito, 1936.

⁷⁰ Laforge et Markwood, 1938.

⁷¹ Hoskins, 1940.

sur les systèmes cuticulaire, respiratoire et digestif, le système nerveux gagnera l'attention des chercheurs après l'introduction sur grande échelle des insecticides issus de la chimie organique durant la Seconde Guerre mondiale. Stimulée par la conjoncture militaire et un nouvel environnement de recherche, l'entomologie économique bénéficiera de ressources et d'un intérêt soutenu pour l'étude de l'effet de composés sur le système nerveux.

La reconfiguration institutionnelle et l'innovation technologique: la recherche entomologique durant la Seconde Guerre

De l'histoire de l'entomologie économique durant la guerre, l'historiographie retient principalement l'introduction sur grande échelle des insecticides issus de la chimie organique de synthèse, une révolution technique orchestrée autour du Dichloro-Diphényl Trichloroéthane (DDT). Au déclenchement de la Seconde Guerre mondiale, les travaux sur l'évaluation de la toxicité relative s'intensifient avec l'accélération des programmes de criblage.⁷² Notamment, les services scientifiques des armées américaine et britannique multiplient leurs efforts pour découvrir des insecticides qui serviront à la protection des troupes contre des insectes piqueurs qui agissent comme vecteurs de maladie.

Aux États-Unis, l'Office of Scientific Research and Development (OSRD), le bras scientifique de l'armée américaine, et le USBE supervisent les recherches sur la découverte d'insecticides dans un laboratoire, à Orlando, en Floride⁷³. En novembre 1942, le laboratoire reçoit d'une filiale américaine de la compagnie suisse Geigy, un échantillon de DDT, un composé synthétisé à la fin du siècle dernier, mais dont les propriétés insecticides ont été récemment découvertes. Les premiers tests confirment les propos de la compagnie quant à la persistance et à la puissante toxicité du DDT contre plusieurs insectes. Limitée aux travaux en entomologie médicale, l'utilisation du DDT s'étend à la protection des cultures lorsque le USBE fait parvenir une certaine quantité de DDT aux stations expérimentales en septembre 1943⁷⁴. Malgré des résultats encourageants, les entomologistes maintiennent une attitude réservée face au DDT⁷⁵.

Des recherches militaires sur le DDT mobilisent des spécialistes des sciences de la vie et des approches distinctes des pratiques de recherche entomologique. Elles portent sur la relation entre la structure chimique et l'activité biologique de composés synthétiques, une méthode traditionnelle de la recherche sur les gaz chimiques, mais qui constitue une innovation pour la recherche en contrôle chimique⁷⁶. Ces recherches sont principalement le fait de scientifiques travaillant dans les laboratoires des universités et de l'armée et sont financées par l'OSRD⁷⁷. L'introduction des insecticides de synthèse et l'orientation des recherches financées par les militaires échappent donc aux responsables de l'entomologie économique. Le USBE demeure à l'écart de ces travaux qui débordent les compétences de ses chercheurs. Ceux-là reproduisent les

⁷² Sur la relation entre l'entomologie médicale et l'armée, voir Russell, 1993.

⁷³ Perkins, 1978, pp. 174-177.

⁷⁴ Perkins, 1978, pp. 179-180.

⁷⁵ Russell, 1993, pp. 398-399.

⁷⁶ Russell, 1993, pp.428-429.

⁷⁷ Comme Julian Tobias au Toxicity Laboratory de l'Université de Chicago, Kenneth Roeder de la Tufts University, A. G. Richards de Penn University, Vincent Dethier de Harvard, Daniel Ludwig à New York University ou Dietrich Bodenstien au Edgewood Arsenal dans le Maryland. Voir Chadwick et Dethier, 1948; Dethier et Chadwick, 1946; Richards et Cutkomp, 1945a; Ludwig, 1946; Richards et Cutkomp, 1945b; Tobias et Kollros, 1946; Tobias et al., 1946a; Roeder, 1948b; Roeder et Weiant, 1951; Bodenstien, 1946.

pratiques expérimentales caractéristiques du développement de la recherche en contrôle chimique en agriculture pour encadrer l'introduction des insecticides de synthèse.

Après la Guerre, l'*Insect Control Committee* - que l'OSRD met sur pied pour poursuivre la recherche militaire sur les insecticides - ne comporte aucun entomologiste, mais seulement des chercheurs en physique, en chimie et en biologie médicale. La *National Academy of Science* justifie cette exclusion en invoquant la nature chimique et médicale des problèmes à résoudre prestement et l'incertitude quant à la représentation des entomologistes, ne sachant à quelle connaissance entomologique et ni vers quel chercheur se tourner⁷⁸. Après des pressions du département de l'Agriculture et de l'Association américaine des entomologistes économiques, la *National Academy of Sciences* nomme Roger B. Friend, entomologiste de l'État du Connecticut, sur le comité près d'un an après la création de celui-ci⁷⁹. Au lendemain de la guerre, le *Insect Control Committee* devient le *Chemical Biological Coordination Center* pour recueillir des données sur la corrélation des propriétés chimiques et l'activité biologique de composés ainsi que sur le criblage de nouvelles molécules pour leur action insecticide⁸⁰. Le USBE se réapproprie le domaine de recherche en se dotant d'un programme de recherche en entomologie médicale - désignée entomologie militaire - et en absorbant à cette fin une partie du programme sur les insecticides du Medical Research Laboratory au Edgewood Arsenal dans le Maryland, pour l'étude de la physiologie des insectes et du mode d'action des insecticides⁸¹.

Les circonstances exceptionnelles durant la Seconde Guerre mondiale ont permis de surseoir à l'inertie institutionnelle qui avait quelque peu marginalisé la physiologie et la toxicologie des insectes dans le champ de l'entomologie économique. Aux innovations organisationnelles et technologiques qui ont cours durant cette période s'ajoutent des problèmes de recherche autour de nouveaux enjeux pratiques. En effet, l'introduction des insecticides de synthèse en agriculture génère une série de difficultés qui donnent lieu à une redéfinition du mode d'action des insecticides et de la résistance des insectes.

⁷⁸ Ross, 1946, p. 2.

⁷⁹ Russell, 1993, pp. 423-428.

⁸⁰ « Report of the representative of the Division of Biology and Agriculture of the National Research Council, 1947 ». *Journal of Economic Entomology* 1948, 41, p. 143.

⁸¹ Research and related services in the United States Department of Agriculture, vol. III, prepared for the Committee on Agriculture of the House of Representatives, 81st Congress, 2nd Sess., December 21, 1950. Chapter 31, Part II « Pests and Pesticides », pp. 2157-2159

Un corps de connaissance endogène et autonome : toxicologie des insectes et mode d'action des insecticides

Au lendemain de la Guerre, dans les institutions militaires comme dans les universités, les entomologistes reprennent l'initiative, même si la recherche demeure ancrée dans une approche fondée sur le mode de pénétration des insecticides et l'évaluation de la toxicité relative⁸². Introduites pour identifier les insecticides inorganiques et botaniques les plus efficaces, ces approches guident la sélection des insecticides issus de la chimie organique de synthèse par la corrélation de la structure et de la toxicité des composés.⁸³ Or, devant l'introduction d'une multiplicité d'insecticides de synthèse, les procédures de criblage sont toutefois dépassées par le nombre de composés à évaluer : la conception future des insecticides requiert des directives plus spécifiques⁸⁴. De plus, les chercheurs des laboratoires entomologiques, peu importe leur discipline - ont acquis des connaissances en physiologie des insectes non pas dans le seul but de tester des composés, mais aussi pour comprendre leur action sur le métabolisme des insectes. Plusieurs dénoncent la généralité des connaissances sur le site et le mode d'action des insecticides et le besoin de composés dont l'action toxique s'exercerait sur certaines fonctions physiologiques particulières⁸⁵. Enfin, si l'industrie chimique et les services entomologiques cherchent à introduire de nouveaux composés, ils doivent composer avec de nouvelles difficultés sur le terrain. Des problèmes de protection des vergers prennent de l'ampleur avec l'utilisation massive et à grande échelle des insecticides de synthèse, et signalent les limites du contrôle chimique: des insectes développent une résistance aux insecticides, des parasites et des prédateurs sont éliminés et, surtout, la réduction initiale des insectes nuisibles est suivie, dans le moyen terme, par un accroissement rapide de leur population⁸⁶. Les conséquences de l'usage indiscriminé des insecticides favorisent l'essor du contrôle intégré dans certains quartiers, particulièrement au laboratoire de contrôle biologique de Riverside de la Station expérimentale agricole de Californie⁸⁷. Pour notre part, nous retiendrons les stratégies de recherche autour de l'étude du mode d'action des insecticides.

Les essais sur le terrain continuent de nourrir la recherche de plusieurs entomologistes, tandis que d'autres poursuivent des problématiques abordées depuis la mise au point des techniques d'évaluation de la toxicité relative : influence de la taille et de la forme des particules sur la toxicité, persistance et la toxicité pour les insectes, relation entre la structure chimique et la toxicité. Toutefois, certaines recherches s'organisent autour des problématiques physiologiques plutôt que physico-chimiques, et proposent une interprétation biochimique et neurologique de la toxicologie des insectes. Les entomologistes explorent spécifiquement deux mécanismes vitaux: la transmission nerveuse et le métabolisme énergétique.

L'orientation des recherches découle de spécialisation universitaire des entomologistes en zoologie et en physiologie, mais aussi des principales tendances en toxicologie où la physiologie humaine fournit les principales hypothèses de travail pour expliciter le mode d'action des

⁸² Nous en trouvons un exemple dans la revue publiée par Metcalf, 1948.

⁸³ Wigglesworth, 1948.

⁸⁴ En 1947, Frear et Seiferle notent un total de 6155 composés chimiques pour lesquels des tests insecticides sont effectués.

⁸⁵ Graham, 1946; Wigglesworth, 1948, pp. 35-37.

⁸⁶ Ripperr, 1956. Pour un résumé de ces enjeux, voir Perkins, 1982; Dunlap 1981.

⁸⁷ Sawyer, 1996; Palladino, 1996.

insecticides de synthèse⁸⁸. Par exemple, les études physiologiques sur l'empoisonnement au gaz chimique portent sur l'effet inhibiteur des composés organophosphorés sur la cholinestérase. Cette enzyme décompose l'acétylcholine, une substance responsable de la transmission synaptique des impulsions nerveuses et dont l'hydrolyse par la cholinestérase permet le relâchement des impulsions nerveuses. Les recherches entomologiques visent alors à démontrer l'existence d'un système enzymatique similaire chez les insectes et les mammifères pour appuyer l'hypothèse selon laquelle est identique l'action des composés organophosphorés (gaz chimiques et insecticides) sur le système nerveux des vertébrés et des invertébrés (humains et insectes). Les travaux portent alors sur l'identification de l'acétylcholine et de la cholinestérase chez les insectes, sur les propriétés et l'inhibition de la cholinestérase, et sur la structure de la chaîne nerveuse centrale et son contenu en acétylcholine⁸⁹.

L'étude du système enzymatique chez les insectes devient le point de départ des recherches sur les insecticides organochlorés. Dès la mise en disponibilité du DDT, des entomologistes ont tenté de rendre compte du mode d'action de ce nouvel insecticide. Les premières recherches sont axées sur le mode de pénétration du composé et sur son effet sur la liposolubilité du tégument⁹⁰. Dans la foulée des hypothèses soulevées pour expliquer le mode d'action des organophosphorés, des chercheurs évaluent l'action des organochlorés, dont le DDT, sur la cholinestérase⁹¹. Devant les résultats contradictoires obtenus, d'autres mécanismes biochimiques sont explorés, notamment ceux reliés au métabolisme énergétique chez les insectes comme sur l'inhibition, par les insecticides organochlorés, des enzymes glycolytiques, responsables de la dégradation des hydrates de carbone et de la production d'énergie dans le métabolisme animal⁹².

Telle que développée par les chercheurs en toxicologie des insectes, la recherche sur le mode d'action des insecticides dépasse le seul stade de l'anatomie pathologique pour se fonder sur l'étude des mécanismes vitaux des insectes dessinés à partir de la toxicologie humaine et décrire les mécanismes d'intoxication par les insecticides de synthèse. Il n'est nullement question d'appliquer une science fondamentale pour comprendre le mode d'action des insecticides, mais bien d'élaborer un corps de connaissance propre à l'entomologie économique. De même, la toxicité est cette fonction vitale perturbée, et non uniquement la mortalité absolue enregistrée sur le terrain ou celle relative calculée en laboratoire. La physiologie de l'insecte qui prend forme dans ces travaux vise à détailler les dysfonctionnements métaboliques que provoquent les insecticides pour tracer la voie des composés à synthétiser à des fins de contrôle. Cette physiologie se conçoit à partir des réactions de l'insecte aux métabolites insecticides, de ses interactions avec une chimie organique qui la façonne.

⁸⁸ Metcalf, 1959. Sur la relation entre la recherche en entomologie économique et la recherche sur les gaz chimiques, voir Russell, 1993.

⁸⁹ Richards et Cutkomp, 1945a; Babers et Pratt 1950; Babers et Pratt, 1951; Chadwick and Hill, 1947; Chamberlain, 1951; Johnson, 1952; Metcalf, 1951; Metcalf et March, 1949; Metcalf et March, 1950; Smallman, 1958.

⁹⁰ Martin et Wain, 1944; Yeager et Munson, 1945.

⁹¹ Tobias et Kollros, 1946; Richards et Cutkomp, 1946; Roeder, 1948a; Roeder et Weiant, 1951; Metcalf et March, 1949; Metcalf et March, 1950; Bodenstein, 1946. La Medical Division du Chemical Warfare Service finançait une partie des recherches en milieu universitaire non-agricole (Tobias) ou dans ses propres laboratoires (Bodenstein).

⁹² Pour un survol des études sur l'inhibition des enzymes comme explication du mode d'action des insecticides organochlorés, voir Kearns, 1956.

Les problèmes de terrain comme objet de recherche : la résistance aux insecticides

L'endogénéité de cette base cognitive se reflète également dans les tentatives de résolution du problème de la résistance des insectes. Tel que mentionné plus haut, des entomologistes avaient révélé ce phénomène au cours des années 1910, alors que des insectes toléraient des pulvérisations répétées. Deux décennies plus tard après l'identification du phénomène, un spécialiste de la génétique des populations, Theodosius Dobzhansky, trouve dans la formation des races d'insectes résistants aux insecticides la meilleure illustration de l'efficacité de la sélection naturelle⁹³. Au lendemain de la Seconde Guerre, la résistance des insectes devient une préoccupation générale puisqu'elle concernait un problème majeur de santé publique quand des vecteurs de maladies humaines comme la mouche, le moustique et le pou - incidemment les premières victimes du DDT employé à grande échelle - exhibent une tolérance aux insecticides⁹⁴. Tandis que certains proposent l'intensification du criblage des molécules chimiques pour découvrir de nouveaux produits létaux, des entomologistes recherchent les moyens techniques de surmonter la résistance dans les mécanismes sous-tendant ce phénomène⁹⁵. Tout en attribuant la résistance à la sélection de facteurs héréditaires, ils s'intéressent spécifiquement aux mécanismes physiologiques et biochimiques que les gènes altèrent et qui confèrent la résistance : une détoxification accélérée, une pénétration réduite, ou des modifications au site d'action des insecticides⁹⁶. Pour ces entomologistes, la connaissance des processus métaboliques responsables de l'empoisonnement de l'insecte indiquerait le procédé de détoxification responsable de l'efficacité limitée des insecticides et orienterait la production des composés futurs pour résister à la résistance des insectes.

Cette montée en amont des contextes d'application, où l'élaboration d'un cadre conceptuel pour expliquer un problème sur le terrain élargit les possibilités techniques d'une science appliquée, contribue à renouveler les approches en toxicologie des insectes et en protection des cultures. La connaissance des changements aux sites d'action, comme l'insensibilité des sites d'action (par exemple, une cholinestérase à la réactivité réduite), ou l'accroissement des processus de détoxification des insecticides (par exemple, la présence d'enzymes telle la DDT-déhydrochlorinase qui dégrade le DDT en métabolites inoffensifs⁹⁷), fournit des pistes pour restaurer la susceptibilité des composés. Ainsi, l'approche dite rationnelle pour la conception d'insecticides sélectifs vise à réactiver la cible biochimique - le site d'action - par des modifications structurelles des insecticides organophosphorés, ou à court-circuiter des mécanismes de résistance en inhibant la détoxification par l'ajout d'un synergiste⁹⁸.

L'élaboration de molécules insecticides sélectives ne peut résoudre définitivement les problèmes sur le terrain. La résistance combinée ou l'engendrement d'une résistance alternative⁹⁹, pour ne nommer que ces problèmes en protection des cultures, se conjuguent aux enjeux sanitaires et environnementaux révélés par Rachel Carson dans *Silent Spring* en 1962 et entraînent une

⁹³ Dobzhansky, 1937. Sawyer, 1996, pp. 139-141.

⁹⁴ Russell, 2001, pp. 197-199.

⁹⁵ National Research Council, 1952; Brown, 1961; Metcalf, 1955.

⁹⁶ Perry et Hoskins, 1951; Perry et Hoskins, 1950; Sternburg et al. 1950a.

⁹⁷ Sternburg et Kearns, 1950b; Perry et Hoskins, 1951.

⁹⁸ Oppenorth, 1974.

⁹⁹ Pratt et Babers, 1950.

révision de certaines recherches en entomologie économique¹⁰⁰. Notamment, l'évaluation de la toxicité des insecticides pour les formes animales autres que les arthropodes doit se fonder sur des bases plus solides que celles en place depuis les débuts du contrôle chimique en agriculture; les entomologistes doivent intégrer de telles bases dans leur objet de recherche, non pas comme un but lointain, mais comme un problème immédiat, avec ses propres données et concepts. Le processus de fondamentalisation est un phénomène continu, non parce qu'il viserait l'infiniment petit, mais plutôt parce que les modifications des contextes d'application - notamment à cause de la variabilité du vivant dans le cas sous étude - requièrent constamment une refonte des fondements cognitifs de la science appliquée, et que celle-ci peut également solliciter des données exogènes, celles-là aussi mouvantes et dynamiques - comme l'innovation technologique, l'arrivée de transfuges disciplinaires et les avancées dans les sciences connexes.

Au final se dessine une physiologie des insectes tributaire des effets toxiques des insecticides, alors que les fonctions vitales et le métabolisme de l'insecte sont saisis à partir de réactions occasionnées par la présence de molécules insecticides. Pour illustrer l'effet de retour de la fondamentalisation de la science appliquée sur les disciplines auxiliaires apparentées aux sciences dites fondamentales, regardons comment la physiologie de l'insecte se transforme au contact de la toxicologie des insectes. La contribution de chercheurs provenant de département de zoologie ou de faculté de médecine, eux dont les travaux sont abondamment cités dans des revues de la littérature en toxicologie et physiologie des insectes au déclenchement de la Deuxième Guerre mondiale, se fait plus rare¹⁰¹. Les fondations privées se retirent, les départements universitaires de biologie également - bien que des chercheurs de ces institutions rejoignent les facultés d'agriculture¹⁰². Par contre, les entomologistes économiques reconnaissent la spécificité de leur savoir en regard de la zoologie et se sentent investis de la mission de dégager les faits fondamentaux touchant les arthropodes¹⁰³. C'est ainsi que la physiologie des insectes prend place principalement dans le USBE et dans les départements d'entomologie des collèges d'agriculture¹⁰⁴. Dans les manuels d'entomologie apparaît subséquemment une physiologie des insectes fondée sur l'étude du mode d'action des insecticides, avec l'explicitation du fonctionnement de l'inhibition des enzymes, de la transmission neuromusculaire et du métabolisme énergétique¹⁰⁵.

Tout en éclairant la physiologie des insectes, cette connaissance demeure toujours attachée aux conditions d'efficacité des interventions. Qu'il s'agisse du système nerveux ou endocrinien, du métabolisme énergétique, de l'appareil digestif et de ses enzymes, de membranes externes comme le tégument ou le cuticule, il faut remarquer que la mise en forme d'une physiologie de l'insecte se fonde sur des problématiques provenant de spécialités en entomologie économique qui ne se limitent pas à la toxicologie des insectes: écologie physiologique, nutrition des insectes,

¹⁰⁰ Voir entre autres, Perkins, 1982; Palladino, 1994.

¹⁰¹ Hoskins, 1940; Richards et Cutkomp, 1945b. Parmi les contributions des zoologistes, voir Roeder, 1953.

¹⁰² Albert Glenn Richards quitte l'Université de Pennsylvanie pour rejoindre la faculté d'Agriculture de l'Université de Minnesota.

¹⁰³ Smith, 1947, p. 609. D'ailleurs, ils sont plusieurs à rejoindre les deux sociétés savantes au lendemain de la Guerre, et celles-là se fusionnent en 1953. Chapman, 1955.

¹⁰⁴ *Research and related services in the United States Department of Agriculture*, vol. III, prepared for the Committee on Agriculture of the House of Representatives, 81st congress, 2nd sess, December 21, 1950. Chapter 31, Part II « Pests and Pesticides », pp. 2157-2159. Outre les collèges nommés précédemment, nous retrouvons également ceux de la Pennsylvanie et de l'Oregon.

¹⁰⁵ Patton, 1963.

dynamique des populations, pathologie des insectes¹⁰⁶. Notons aussi que certains insectes nuisibles sont devenus des modèles biologiques pour l'étude de certaines fonctions, substituant à leur statut de nuisance le rôle plus noble d'animal de laboratoire. Le cèpe de blé pour les études sur la quiescence et la diapause, les pucerons pour les études nutritionnelles, le doryphore pour les études sur le photopériodisme, la pyrale du maïs pour l'étude des rapports plante-hôte, la tordeuse des bourgeons de l'épinette pour la modélisation en écologie des populations, ces insectes étaient non seulement connus - à divers degrés - des entomologistes depuis plusieurs décennies; ils avaient également été élevés en grand nombre, dotant les entomologistes d'un pool de connaissances plus important que celui fourni par l'insecte modèle de la recherche biologique, *Drosophila melanogaster*. Ainsi, dans la première revue scientifique consacrée exclusivement à la physiologie des insectes, apparaissent des entomologistes agricoles et des insectes nuisibles qui marquent le développement de cette spécialité et illustrent l'endogénéité de la connaissance dans une entomologie économique fondamentalisée¹⁰⁷.

Conclusion

En distinguant pratiques agricoles et pratiques expérimentales en protection des cultures, nous avons illustré un déplacement de l'objet de recherche en entomologie économique – de l'infestation comme problème technique en production agricole au métabolisme individuel comme problème scientifique en physiologie expérimentale. Dans un premier temps, la recherche se fondait sur l'étude du cycle évolutif de l'insecte et la mise à l'essai de différentes méthodes de contrôle. Les entomologistes poursuivaient alors les travaux des premiers naturalistes qui avaient établi les fondements de l'entomologie économique par la description de l'insecte et de son comportement à ses différents stades de développement. Dans un deuxième temps, la définition des méthodes de protection des cultures passait par l'identification des réponses physiologiques des insectes à des facteurs physiques et des conditions d'efficacité des agents biochimiques. L'objectif de ces recherches demeurait la protection des cultures, mais l'identification des interventions adéquates se fondait dorénavant sur l'élucidation des perturbations neurophysiologiques et des mécanismes d'intoxication d'insectes exposés à des composés chimiques.

L'entomologie économique s'inscrit alors dans un processus de fondamentalisation d'une science appliquée où, tout en poursuivant un objectif pratique spécifique - la répression des insectes-, les chercheurs produisent une connaissance fondamentale générale. Nous ne cherchons pas à faire de l'entomologie économique une science fondamentale, puisque les chercheurs maintiennent un objectif pratique dans leurs activités de recherche: la protection des cultures contre les insectes. Par contre, l'horizon pragmatique ne repose plus sur la seule mise à l'essai de méthodes de contrôle. Dorénavant, l'atteinte de l'objectif de protection des cultures requiert la compréhension des phénomènes biologiques régulant les populations d'insectes ou leur comportement individuel et influençant l'efficacité des méthodes de contrôle. Ainsi se développent conjointement un objet scientifique faisant l'objet d'interventions expérimentales et agricoles et une base cognitive endogène à un ensemble de pratiques expérimentales et agricoles.

¹⁰⁶ Castonguay, 2004, pp. 201-225.

¹⁰⁶ Rheinberger, 2001, a étudié le cas d'*Ephestia* d'une manière similaire.

¹⁰⁷ Wigglesworth 1957-1958. Dans l'éditorial de ce premier numéro, le doyen de la physiologie des insectes, ne peut s'empêcher dans l'introduction du premier numéro de reconnaître la contribution incontournable de l'entomologie appliquée à la physiologie des insectes en invitant des travaux originaux sur la biochimie et la toxicologie.

Si certains auteurs situent la tension entre science fondamentale et science appliquée au niveau de la seule rhétorique des acteurs, nous avons opté pour la saisir sur un autre terrain, celui de la pratique expérimentale. L'objectif n'était pas de subvertir l'existence de ces catégories, mais de comprendre la dynamique du développement de la recherche appliquée. À cette fin, nous avons recouru à la notion de fondamentalisation pour comprendre les conditions institutionnelles et intellectuelles de remontée en amont des contextes d'application. Il nous importait de démontrer les traductions multiples de l'objectif pratique dans l'appareil conceptuel des entomologistes, en fonction de l'élargissement de la base cognitive de l'entomologie économique et de l'émergence - ou la persistance - de problèmes sur le terrain. Enfin, nous avons explicité certaines caractéristiques de la science appliquée qui constituent des indicateurs du processus de fondamentalisation: maintien de l'horizon pragmatique, intégration des objectifs pratiques dans des concepts scientifiques, formation d'un objet de recherche à partir d'un problème sur le terrain, élargissement de la base cognitive, constitution d'un corps de connaissance endogène et autonome.

Finalement, la notion de fondamentalisation nous mène à nous interroger sur les conditions institutionnelles de cette transformation des pratiques de recherche, car les praticiens d'une science appliquée ont des comptes à rendre: autonomie ne signifie pas autarcie. Pour comprendre comment les organisations de recherche et les disciplines scientifiques participent aux transformations de la recherche appliquée, nous avons esquissé deux phénomènes qui accompagnent une modification du niveau d'investigation de la population d'insectes nuisibles dans le verger au mécanisme physiologique *in vitro* : les transformations du lieu de la recherche (où se succèdent le terrain agricole avec ses places-échantillons (*sample plots*), l'insectarium avoisinant le verger expérimental, puis le laboratoire en milieu urbain) et les revendications des entomologistes pour une actualisation de la physiologie des insectes en regard des besoins de la recherche en protection des cultures. La relation entre les chercheurs et leur environnement organisationnel, tel qu'elle se manifeste dans leurs pratiques de recherche qui subissent une pression à la fondamentalisation, joue également sur ces deux autres tableaux qui devraient faire l'objet d'une étude conjointe pour voir comment se renforcent les dimensions matérielle, spatiale et discursive de la dynamique du changement scientifique en contexte d'application.

Références

- Averch, Harvey. 1990. *A Strategic Analysis of Science and Technology Policy*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Babers, F. H. et J. J. Pratt. 1950. « Studies on the Resistance of Insect to Insecticides. I. cholinesterase in house flies (*Musca domestica* L.) resistant to DDT ». *Physiological zoology*, vol. 23, pp. 58-63.
- Babers, F. H. et J. J. Pratt. 1951. « Comparison of the Cholinesterase in the Heads of the House Fly, Cockroach and Honey Bee ». *Physiological Zoology*, vol. 24: pp. 127-131.
- Bodenstein, Dietrich. 1946. « Investigation on the Locus of Action of DDT in Flies (*Drosophila*) ». *Biological Bulletin*, vol. 90, pp. 148-157.
- Bodine, J. H. et Edgar John Boell. 1935. « Enzymes in Ontogenesis (Orthoptera). I ». *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, vol. 6, pp. 263-291.
- Bodine, Joseph Hall et W. A. Robbie. 1940. « Physiological Characteristics of the Diapause of Grasshopper Egg. I. Stability of Diapause Condition ». *Physiological Zoology*, vol. 13, pp. 127-131.
- Bodine, Joseph Hall. 1922. « Hibernation in Orthoptera. I. Physiological Changes during Hibernation in Certain Orthoptera ». *Journal of Experimental Zoology*, vol. 35, pp. 457.
- Boyce, A. M. 1928. « Studies on the Resistance of certain Insects to Hydrocyanic Acid ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 21, pp. 715-720.
- Boyce, A. M. 1974. « Historical Aspects of Insecticide Development ». In Robert L. Metcalf et John J. McKelvey (eds), *The Future for Insecticides. Needs and Prospects*. New York: Wiley, pp. 469-488.
- Brown, A. W. A. 1961. « The Challenge of Insecticide Resistance ». *Bulletin of the Entomological Society of America*, vol. 7, pp. 6-19.
- Bulger, J. W. 1932. « Additions to our Knowledge of the Toxicity of Stomach Poisons to Insects ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 25, pp. 261-268.
- Busch, Lawrence, William B. Lacy et Jeffry Burkhardt. 1991. « Plants, Power, and Profit: Social, Economic and Ethical Consequences of the New Biotechnologies », Cambridge: Blackwell.
- Cameron, J. M. 1973. « Insect Pathology ». In Ray F. Smith, Thomas E. Mittler et Carroll N. Smith (eds), *History of Entomology*. Palo Alto: Annual Reviews, pp. 285-298.
- Campbell, F. L. 1926a. « Effects of Trivalent and Pentavalent Arsenic on Heart Pulsations of the Wireworm ». *Journal of Pharmacological and Experimental Therapeutics*, vol. 26, pp. 277-85.
- Campbell, F. L. 1926b. « Insect Toxicology ». *Science*, vol. 43, pp. 45-46.
- Campbell, F. L. 1926c. « Relative Susceptibility to Arsenic in Successive Instars of the Silkworm ». *Journal of General Physiology*, vol. 9, pp. 729-733.
- Campbell, F. L. 1926d. « The Practicability of Quantitative Toxicological Investigations on Mandibulate Insects ». *Journal of Agricultural Research*, vol. 32, pp. 359-370.
- Campbell, F. L. 1929. « Detection and Estimation of Insect Chitin: and Irrelation of Chitinization to Hardness and Pigmentation of the Cuticula of the American Cockroach, *Periplaneta Americana* ». *Annals of the Entomological Society of America*, vol. 22, pp. 401-426.
- Campbell, F. L. 1930. « A Comparison of Four Methods for Estimating the Relative Toxicity of Stomach Poison Insecticides ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 23, pp. 357-370.
- Campbell, F. L. et C. Lukens. 1931. « Radioactive Indicator Method for Estimating the Solubility of Acid and Lead Arsenate within the Alimentary Tract of the Silkworm ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 24, pp. 88-94.
- Castonguay, Stéphane. 2001. « The Emergence of Research Specialties in Canadian Government Laboratories after World War II ». *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, vol. 32, pp. 19-40.
- Castonguay, Stéphane. 2003. « Standardizing Diversity: International Phytopathological Conventions and the Entomological Unification of the World, 1881-1929 ». In L. Jelecek, P. Chromy, H. Janu, J. Miskovsky et L. Uhlirova (eds), *Dealing with Diversity*. Prague: Charles University Faculty of Science, pp. 349-351.
- Castonguay, Stéphane. 2004. *Protection des cultures, construction de la nature. L'entomologie économique au Canada, 1884-1959*. Sillery, Septentrion, 370 p.

- Chadwick, L. E. et D. L. Hill. 1947. « Inhibition of Cholinesterase by Di-isopropyl Fluorophosphate, Physostigmine and Hexaethyl Tetraphosphate in the Roach ». *Journal of Neurophysiology*, vol. 10, pp. 235-246.
- Chamberlain, W. F. et W. M. Hoskins. 1951. « Inhibition of Cholinesterase in American Roach by Organic Insecticides and Related Phosphorus Containing Compounds ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 44, pp. 177-191.
- Chapman, P. J. 1955. « Entomology and Its Future ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 48, pp. 491-494.
- Chapman, R. N. 1924. « Nutritional Studies on the Confused Flour Beetle, *Tribolium Confusum* Duval ». *Journal of General Physiology*, vol. 6, pp. 565-585.
- Clark, J. F. M. 2001. « Bugs in the System: Insects, Agricultural Science and Professional Aspirations in Britain, 1890-1920 ». *Agricultural History*, vol. 75, pp. 83-114.
- Crescitelli, Frederick. 1935. « The Respiratory Metabolism of *Galleria Mellonella* (Bee moth) During Pupal Development at Different Constant Temperatures ». *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, vol. 6, pp. 351-368.
- Davis, Frederick Rowe. 2001. « Pesticides and Toxicology: Episodes in the Evolution of Environmental Risk Assessment (1937-1977) ». thèse de doctorat, Yale University.
- Dethier, W. G. et L. E. Chadwick. 1946. « Rejection Thresholds of the Blowfly for a Series of Aliphatic Alcohols ». *Journal of General Physiology*, vol. 30, pp. 247-253.
- Dobzhansky, Theodosius. 1937. *Genetics and the Origins of Species*. New York: Columbia University Press.
- Dunlap, Thomas R. 1978. « The Triumph of Chemical Pesticides in Insect Control, 1890-1920 ». *Environmental Review*, vol. 5, pp. 38-47.
- Dunlap, Thomas R. 1981. *DDT. Scientists, Citizens, and Public Policy*. Princeton: Princeton University Press.
- Ellisor, L. O. et Charles H. Richardson. 1938. « Penetration of Nicotine into Gold Fish from Solutions of Various Hydrogen Ion Concentrations ». *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, vol. 11, pp. 377-387.
- Fernald, H. T. 1908. « The Fundamental Principles of Spraying ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 1, pp. 265-267.
- Fink, David E. 1924. « Metabolism During Embryonic and Metamorphic Development of Insects ». *Journal of General Physiology*, vol. 7.
- Fink, David E. 1925. « Physiological Studies on Hibernation the Potato Beetle *Leptinotarsa Decemlineata* Say ». *Biological Bulletin*, vol. 49, p. 381.
- Fink, David E. 1926. « Physiological Studies of the Effect of Arsenicals on the Respiratory Metabolism of Insects ». *Journal of Agricultural Research*, vol. 33, pp. 993-1008.
- Fink, David E. 1927. « Micro method for estimating the relative distribution of glutathione in insects ». *Science*, vol. 65, pp. 143-145.
- Fink, David E. 1932. « The Digestive Enzymes of the Colorado Potato Beetle and the Influence of Arsenicals on their Activity ». *Journal of Agricultural Research*, vol. 45, pp. 471-482.
- Fisher, Robert A. 1935. « Effect of Acetic Acid Vapor Treatment on Blood Cell Counts in the Cockroach, *Blatta Orientalis* L. (Blattidae: Orthoptera) ». *Annals of the Entomological Society of America*, vol. 28, pp. 146-153.
- Fitzgerald, Deborah Kay. 1990. *The Business of Breeding. Hybrid Corn in Illinois, 1890- 1940*. Ithaca: Cornell University Press.
- Fleming, Walter E. 1934. « Development of a Standard Cage Method for Testing the Effectiveness of Stomach-Poison Insecticides on the Japanese Beetle ». *Journal of Agricultural Research*, vol. 48, pp. 115-130.
- Fleming, Walter E. et Francis E. Baker. 1934. « Testing Contact Insecticides on the Japanese Beetle and Results with Sodium and Potassium Soaps ». *Journal of Agricultural Research*, vol. 49, pp. 29-38.
- Frear D. E. et E. J. Seiferle. 1947. « Chemical Structure and Insecticidal Efficiency ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 40, pp. 739-741.
- Gaudillière, Jean-Paul et Ilana Löwy (dirs). 1998. *The Invisible Industrialist : Manufactures and the Production of Scientific knowledge*. New York, St. Martin's Press.
- Geong, Hae-Gyung. 1999. « Exerting Control: Biology et Bureaucracy in the Development of American Entomology, 1870-1930 ». Thèse de doctorat, University of Wisconsin-Madison.
- Gersdoff, W. A. 1939. « Effect of the Introduction of the Nitro Group into the Phenol Molecule on Toxicity to Goldfish ». *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, vol. 14, pp. 61-72.

*La dynamique du changement scientifique en contexte d'application :
la fondamentalisation de l'entomologie économique aux États-Unis au 20^e siècle*

- Gersdorff, W. A. 1936. « Relative Toxic Action of Phenol and Phenyl Mercaptan, When the Gold-Ffish Is Used as the Test Animal ». *Journal of Agricultural Research*, vol. 53, pp. 841-848.
- Gersdorff, W. A. et H. B. Claborn. 1938. « The Toxicity of Phenothiazine and Some of Its Oxidation Products in Experiments With *Carassius Auratus* ». *Journal of Agricultural Research*, vol. 56, pp. 277-282.
- Gibbons, Michael, Camille Limoges, Helga Nowotny, Simon Schwartzman, Paul Scott et Martin Trow. 1994. *The New Production of Knowledge*. Beverly Hills, Sage.
- Gimingham, C. T. 1934. « Recent Researches on Insecticides in Great Britain ». *Proceedings of the Fifth Pacific Science Congress 5*, Toronto, University of Toronto Press, pp. 3423-3435.
- Ginsburg, Joseph M. et C. J. Cavallito. 1936. « Arsenical Substitutes. II. Some Relationships Between Molecular Structure and Toxicity of Organic Compounds to Silkworm ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 29, pp. 856-859.
- Ginsburg, Joseph M., John B. Schmitt et Philip Granett. 1935. « Comparative Toxicity of Anabasine and Nicotine Sulphates to Insects ». *Journal of Agricultural Research*, vol. 51, pp. 349-354.
- Grady, A. G. 1928a. « Studies on Breeding Insects Throughout the Year for Insecticide Tests. I. House flies (*Musca domestica*) ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 21, pp. 597-604.
- Grady, A. G. 1928b. « Studies on Breeding Insects Throughout the Year for Insecticide Tests. II. Leather beetles flies (*Dermestes vulpinus* Fab.) ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 21, pp. 604-608.
- Grady, A. G. 1928c. « Studies on Breeding Insects Throughout the Year for Insecticide Tests. III. Roaches, Clothes Moth, Weevil ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 21, pp. 608-612.
- Graham, K. 1946. « Respiratory Enzyme Mechanisms in an Insect With Reference to the Qualitative and Quantitative Effects of Inhibitors as an Approach to Insect Toxicology ». *Transactions of the Royal Society of Canada. Section V Third Series*, vol. 90, pp. 41-76.
- Hamilton, C. C. 1934. « Field Tests Showing the Comparative Efficiency of Derris, Pyrethrum and Hellbore Powders on Different Insects ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 27, p. 446.
- Hansberry, T. R. et C. H. Richardson. « Toxicity of Certain Stomach Poisons to Several Common Lepidopterous Larvae ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 29, pp. 1160-1166.
- Hartzell, Albert et Eleanor Wexler. 1946. « Histological Effects of Sesamin on the Brain and Muscles of the Housefly. » *Contributions of the Boyce Thompson Institute*, vol. 14, p. 123.
- Hartzell, Albert et F. Wilcoxon. 1933. « Experiments on the Mode of Pyrethrum and its Effects on Insect Tissues ». *International Congress of Entomology*, vol. 2, pp. 289-293.
- Hartzell, Albert et Frank Wilcoxon. 1932. « Factors Affecting the Efficiency of Contact Insecticides. II. Chemical and Toxicological Studies of Pyrethrum ». *Contribution of the Boyce Thompson Institute*, vol. 4, pp. 1070-1071.
- Hartzell, Albert. 1934. « Histopathology of Insect Nerve Lesions Caused by Insecticides ». *Contributions of the Boyce Thompson Institute*, vol. 6, pp. 211-223.
- Headlee, T. J. (1911). « A Brief Report on the Work Being Prosecuted by some Economic Entomologists in the State Universities, Agricultural Colleges and Experiment Stations of the United States ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 4, pp. 35-47.
- Headlee, T. J. 1930. « Some Tendencies in Modern Economic Entomological Research ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 23, pp. 28-35.
- Helms, Douglas. 1979. « Technological Methods for Boll Weevil Control ». *Agricultural History*, vol. 53, pp. 286-299.
- Henson, Pamela. 1993. « The Comstock Research School in Evolutionary Entomology ». *Osiris*, vol. 8, pp. 159-177.
- Herms, W. B. 1929. « The Experimental Methods as Applied to Entomological Investigations ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 22, pp. 45-61.
- Hockenyos, George L. 1933. « The Mechanisms of Absorption of Sodium Fluoride by Roaches ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 26, pp. 792-794.
- Hockenyos, George L. 1936. « Mechanism of Absorption of Pyrethrum Powder by Roaches ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 29, pp. 433-437.
- Hoskins, W. M. 1932. « Toxicity and Permeability. I. The Toxicity of Acid and Basic Solutions of Sodium Arsenite to Mosquito Pupae ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 25, pp. 1212-1224.

- Hoskins, W. M. 1940. « Recent Contributions of Insect Physiology to Insect Toxicology and Control ». *Hilgardia*, vol. 13, pp. 307-386.
- Hoskins, W. M. et R. Craig. 1935. « Recent Progress in Insect Physiology ». *Physiological Reviews*, vol. 15, pp. 525-596.
- Hoskins, W. M., H. P. Bloxham et M. W. van Ess. 1940. « Insecticidal Effects of Organic Compounds ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 33, p. 875.
- Houser, J. S. 1932. « Some Problems in Economic Entomology ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 25, pp. 28-37.
- Howard, L. O. 1914. « The Education of the Entomologists in the Service of the U. S. Department of Agriculture ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 7, pp. 279-280.
- Howard, L. O. 1928. « Entomology ». *Science*, vol. 68, pp. 143-145.
- Jansen, Sarah. 2000. « An American Insect in Imperial Germany: Visibility and Control in Making Phylloxera in Germany, 1870-1914 ». *Science in Context*, vol. 13, no 1, pp. 31-70.
- Johnson, Gerald A., John H. Fletcher, Kenneth G. Nolan et Jack T. Cassaday. 1952. « Decrease Toxicity and Cholinesterase Inhibition in a New Series of Dithiophates ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 45, pp. 279-283.
- Jones, Howard A., F. L. Campbell et W. N. Sullivan. 1935. « Relations Between Chemical Composition and Insecticidal Effectiveness of Rotenone-Bearing Plants ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 28, pp. 285-291.
- Kamminga, Harmke et Soraya de Chadarevian (dirs). 1998. *Molecularizing Biology and Medicine. Molecularizing Biology and Medicine. New Practices and Alliances, 1910s-1970s*. Amsterdam: Harwood Academic Publisher.
- Kay, Lily E. 1998. « Problematizing Basic Research in Molecular Biology ». In Arnold Thackray (dir.), *Private Science. Biotechnology and the Rise of Molecular Science*. Philadelphia, University of Pennsylvania Press, pp. 20-38.
- Kearns, C. W. 1956. « The Mode of Action of Insecticides ». *Annual Review of Entomology*, vol. 1, pp. 123-148.
- Kimmelman, Barbara Ann. 1987. « A Progressive Era discipline. Genetics at American Agricultural Colleges and Experiment Stations, 190-1920 ». Thèse de doctorat, University of Pennsylvania.
- Kingsland, Sharon. 1985. *Modeling Nature. Episodes in the History of Population Ecology*. Chicago, University of Chicago Press.
- Kline, Ronald R. 1995. « Construing "Technology" as "Applied Science": Public Rhetoric of Scientists and Engineers in the United States, 1880-1945 ». *Isis*, vol. 86, pp. 194-221.
- Kline, Ronald R. 1995. *Steinmetz: Engineer and Socialist*. Baltimore, Johns Hopkins University Press.
- Klinge, Matthew W. 1998. « Plying atomic waters: Lauren Donaldson and the "Fern Lake Concept" of fisheries management. » *Journal of the History of Biology*, vol. 31, pp. 1-32.
- Kohler, Robert. 1991. *Partners in Science. Foundations and Natural Scientists 1900-1945*. Chicago, University of Chicago.
- Kraft, Alison. 2004. « Pragmatism, Patronage and Politics in English Biology: The Rise and Fall of Economic Biology ». *Journal of the History of Biology*, vol. 37, pp. 213-258.
- Krimsky, Sheldon. 1996. *Agricultural Biotechnology and the Environment: Science, Policy and Social Issues*. Urbana, University of Illinois Press.
- Laforge, F. B. et L. N. Markwood. 1938. « Organic Insecticides ». *Annual Review of Biochemistry*, vol. 7, pp. 473-487.
- LeConte, J. 1875. « On the Method of Subduing Insects Injurious to Agriculture ». *Proceedings of the American Association for the Advancement of Science*, vol. 2, pp. 202-207.
- Ludwig, Daniel. 1946. « Effect of DDT on Metabolism of the Japanese Beetle, *Popillia Japonica* Newman ». *Annals of the Entomological Society of America*, vol. 39, pp. 496-509.
- Marchal, Paul. 1911. *La physiologie des insectes*. Paris, Ancienne Librairie Germer Baillière.
- Marchal, Paul. 1916. *Les Sciences biologiques appliquées à l'agriculture et la lutte contre les ennemis des plantes aux États-Unis*. Paris, Librairie L'homme.
- Marcus, Allan I. 1985. *Agricultural Science and the Quest for Legitimacy. Farmers, Agricultural Colleges, and Experiment Stations, 1870-1890*. Ames: Iowa State University Press.
- Marshall, James. 1939. « The Hydrogen Ion Concentration of the Digestive Fluids and Blood of the Codling Moth ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 32, pp. 838-843.
- Martin, H. et R. L. Wain. 1944. « Insecticidal Action of DDT ». *Nature*, vol. 154, pp. 312-313.

*La dynamique du changement scientifique en contexte d'application :
la fondamentalisation de l'entomologie économique aux États-Unis au 20^e siècle*

- McGovran, E. R. 1931. « Method of Measuring Tracheal Ventilation in Insects and Some Results Obtained with Grasshoppers ». *Annals of the Entomological Society of America*, vol. 24, pp. 751-761.
- McGovran, E. R. 1932. « The Effect of Some Gases on the Tracheal Ventilation of Grasshoppers ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 25, pp. 271-276.
- McIndoo, N. E. 1916. « Effects of nicotine as an insecticide ». *Journal of Agricultural Research*, vol. 7, pp. 89-121.
- McIndoo, N. E. 1939. « Segmental Blood Vessels of the American Cockroach (*Periplaneta Americana* L.) ». *Journal of Morphology*, vol. 65.
- McIndoo, N. E., A. F. Sievers et W. S. Abbott. 1919. « Derris as an Insecticide ». *Journal of Agricultural Research*, vol. 17, pp. 177-200.
- McIndoo, N.E. 1930. « Chemoreceptors of Blowflies ». *Journal of Experimental Zoology*, vol. 56, p. 445.
- Melander, A. L. 1914. « Can Insects Become Resistant to Spray? ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 7, pp. 167-172.
- Metcalf, R. L et R. B. March. 1949. « Studies of Mode of Action of Parathion and Its Derivatives and Their Toxicity to Insects ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 42, pp. 721-728.
- Metcalf, R. L. 1951. « Colorimetric Microstructuration of Human Blood Cholinesterases and Its Applications to Poisoning by Organic Phosphate Insecticide ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 44, pp. 883-890.
- Metcalf, R. L. 1959. « The Impact of the Development of Organophosphorus Insecticides Upon Basic and Applied Science ». *Bulletin of the Entomological Society of America*, vol. 5, pp. 3-15.
- Metcalf, R. L. et R. B. March. 1950. « Properties of Acetylcholine Esterase from the Bee, the Fly and the Mouse and their Relation to Insecticide Action ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 43, pp. 670-677.
- Metcalf, Robert L. 1948. *The Mode of Action of Organic Insecticides*. Washington, D. C., Chemical-Biological Coordination Center - National Research Council.
- Metcalf, Robert L. 1955. « Physiological Basis for Insect Resistance to Insecticides ». *Physiological Reviews*, vol. 35, pp. 197-232.
- Moore, William. 1917. « Toxicity of Various Benzene Derivatives to Insects ». *Journal of Agricultural Research*, vol. 9, pp. 371-381.
- Moore, William. 1933. « Studies of the 'Resistant' California Red Scale, *Aonidiella aurantii* Mask., in California ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 26, pp. 1140-1161.
- Mukerji, Chandra. 1989. *A Fragile Power. Scientists and the State*. Princeton, Princeton University Press.
- National Research Council, Division of Medical Sciences. 1952. *Conference on Insecticide Resistance and Insect Physiology*. Washington D.C., National Academy of Sciences.
- Nelson, Franklin C. 1927. « The Penetration of a Contact Oil Spray into the Breathing System of an Insect ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 20, pp. 632-635.
- Nicholson, Heather Johnston. 1977. « Autonomy and Accountability of Basic Research ». *Minerva*, vol. 15, pp. 32-61.
- O'Kane, W. C. 1936. « The Crop Protection Institute. Its Organization, Plan of Procedure and Work Accomplished ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 29, pp. 6-21.
- O'Kane, W. C., G. L. Walker, H. G. Guy et O. J. Smith. 1933. « Studies of Contact Insecticides VI Reactions of Certain Insects to Controlled Applications of Various Concentrated Chemicals. A New Technique for Initial Appraisal of Proposed Contact Insecticides ». *New Hampshire Agricultural Experiment Station Technical Bulletin*, vol. 54, pp. 1-23.
- O'Kane, W. C., W. A. Westgate, L. C. Glover et P. R. Lowry. 1930. « Studies of Contact Insecticides I. Surface Tension, Surface Activity and Wetting Ability as Factors in the Performance of Contact Insecticides ». *New Hampshire Agricultural Experiment Station Technical Bulletin*, vol.39, pp. 1-44.
- Oppenorth, F. J. 1974. « Development of Resistance to Insecticides ». In Robert L. Metcalf et John J. McKelvey (dirs.), *The Future for Insecticides. Needs and Prospects*. New York: Wiley, pp. 41-59.
- Osborn, Herbert F. 1894. « Entomological Work in the Experiment Stations ». *Proceedings of the American Association of Agricultural Colleges and Experiment Stations*, vol. 8, pp. 85-86.
- Palladino, Paolo S. 1996. *Entomology, Ecology and Agriculture. The Making of Scientific Careers in North America, 1885-1985*. Amsterdam: Harwood.

- Palladino, Paolo. 1994. « On 'Environmentalism': the Origins of the Debates over Policy for Pest-Control Research in America, 1960-1975 ». In Michael Shortland (dir.), *Science and Nature. Essays in the History of the Environmental Sciences*. Stratford in the Vale: British Society for the History of Science, pp. 181-212.
- Patton, Robert Lee. 1963. *Introductory Insect Physiology*. Philadelphia: Saunders.
- Peet, C. H. et A. G. Grady. 1928a. « Studies in Insecticidal Activity. I. Testing Insecticides Against Flies ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 21, pp. 612-617.
- Peet, C. H. et A. G. Grady. 1928b. « Studies in Insecticidal Activity. II. Direct Contact Sprays ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 21, pp. 617-620.
- Peet, C. H. et A. G. Grady. 1928c. « Studies in Insecticidal Activity. III. Testing Insecticidal Fumigants –i.e. Insecticide Which Function in the Vapor Phase ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 21, pp. 621-627.
- Perkins, John H. 1978. « Reshaping Technology in Wartime: the Effect of Military Goals on Entomology Research and Insect Control Practices ». *Technology and Culture*, vol. 19, pp. 169-186.
- Perkins, John H. 1982. *Insects, Experts, and the Insecticide Crisis. The Quest for New Pest Management Strategies*. New York: Plenum Press.
- Perry, A. S. et W. M. Hoskins. 1950. « The Detoxification of DDT by Resistant House Flies and Inhibition of this Process by Piperonyl Cyclonene ». *Science*, vol. 111, pp. 600-601.
- Perry, A. S. et W. M. Hoskins. 1951. « Detoxification of DDT as a Factor in the Resistance of Houseflies ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 44, pp. 850-857.
- Prina G. Abir-Am. 1997. « The Molecular Transformation of Twentieth-Century Biology ». In John Krige et Dominique Pestre (dirs), *Science in the Twentieth Century*. Amsterdam: Harwood Academic Publisher, pp. 495-524.
- Pratt, J. J. et F. H. Babers. 1950. « Cross Tolerance in Resistant House Flies », *Science*, vol. 112, pp. 141-144.
- Pursell, C. W. 1968. « The Administration of Science in the Department of Agriculture ». *Agricultural History*, vol. 42, pp. 231-240.
- Quayle, H. J. 1916. « Are Scales Becoming Resistant to Hydrocyanic Acid Fumigation? » *Journal Agriculture University of California*, vol. 3, p. 333.
- Quayle, H. J. 1922. « Resistance of certain Scale Insects in certain Localities to Hydrocyanic Acid Fumigation ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 15, pp. 400-404.
- Rheinberger, Hans-Jörg. 2000. « Ephestia: le projet expérimental d'une génétique de la physiologie du développement dans l'oeuvre d'Alfred Kühn ». *Revue d'histoire des sciences*, vol. 53, pp. 401-446.
- Richards, A. Glenn et L. K. Cutkomp. 1945a. « Cholinesterase of Insect Nerves ». *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, vol. 26, pp. 57-61.
- Richards, Albert Glenn et L. K. Cutkomp. 1946. « Correlation between the Possession of Achitinous Cuticle and Sensitivity to DDT ». *Biological Bulletin*, vol. 90, pp. 97-108.
- Richards, Albert Glenn et L. K. Cutkomp. 1945b. « Neuropathology in Insects ». *Journal of the New York Entomological Society* vol. 53, pp. 313-349.
- Richardson, Charles H. 1926. « A Physiological Study of the Growths of the Mediterranean Flour Moth (*Ephestia kuehniella* Zeller) in Wheat Flour ». *Journal of Agricultural Research*, vol. 32, pp. 895-929.
- Richardson, Charles H. 1945. « Rate of Penetration of Nicotine into the Cockroach from Solution of Various Hydrogen Ion Concentration ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 38, pp. 710-711.
- Richardson, Charles H. et H. H. Shepard. 1930. « The Insecticidal Action of some Derivatives of Pyridine and Pyrrolidine and of some Aliphatic Amines ». *Journal of Agricultural Research*, vol. 40, pp. 1007-1016.
- Richardson, Charles H., Louise H. Glover et L. O. Ellisor. 1934. « Penetration of Gaseous Pyridine, Piperidine and Nicotine into the Bodies of certain Insects ». *Science*, vol.80, pp. 76-77.
- Richardson, C. H. et C. R. Smith. 1926. « Toxicity of Dipyriddyis and certain other Organic Compounds as Contact Insecticides ». *Journal of Agricultural Research*, vol. 33, pp. 597-610.
- Ripper, W. E. 1956. « Effect of Pesticides on Balance of Arthropod Populations ». *Annual Review of Entomology*, vol. 1, pp. 403-438.
- Roark, R. C. 1919. « Plants Used as Insecticides ». *American Journal of Pharmacology*, vol. 91, pp. 25-37 et pp. 91-107.

*La dynamique du changement scientifique en contexte d'application :
la fondamentalisation de l'entomologie économique aux États-Unis au 20^e siècle*

- Roark, R. C. 1934. « Recent Developments in Insecticide Research ». *Proceedings of the Fifth Pacific Science Congress 5*, Toronto: University of Toronto Press, pp. 3405-3410.
- Roark, R. C. 1935. « Advantages and Limitations of Organic Insecticides ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 28, pp. 211-215.
- Roeder, Kenneth D. 1948a. « Effect of DDT on Sensory and Motor Structures in the Cockroach Leg ». *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, vol. 32, pp. 175-186.
- Roeder, Kenneth D. 1948b. « Effect of Potassium and Calcium on the Nervous System of the Cockroach, *Periplaneta Americana* ». *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, vol. 31, pp. 327-338.
- Roeder, Kenneth D. (dir.) . 1953. *Insect Physiology*. New York: Wiley.
- Roeder, Kenneth D. et E. A. Weiant. 1951. « Effect of Concentration, Temperature, and Washing on the Time of Appearance of DDT-Induced Trains in Sensory Fibers of the Cockroach ». *Annals of the Entomological Society of America*, vol. 44, pp. 372-380.
- Rosenberg, Charles E. 1978. *No Other God. On Science and American Social Thought*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Ross, Herbert H. 1946. « News of the Moment ». *Annals of the Entomological Society of America*, vol. 39, pp. 1-3.
- Rossiter, Margaret W. 1979. « The Organization of the Agricultural Sciences ». In Alexandra Oleson et John Voss (dirs), *The Organization of Knowledge in Modern America*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, pp. 211-248.
- Rossiter, Margaret. 1986. « Graduate Work in the Sciences, 1900-1970 ». *Agricultural History*, vol. 60, pp. 37-57.
- Rothman, Harry. 1987. « Insect Pest Control Research: the Analysis of Historical Trends with Special Reference to Scientometric Analysis ». Thèse de doctorat, University of Aston in Birmingham.
- Russell, Edward P. 1993. « War on Insects: Warfare, Insecticides, and Environmental Changes in the United States, 1870-1945 ». Thèse de doctorat, University of Michigan.
- Russell, Edward P. 2001. *War and Nature: Fighting Humans and Insects with Chemicals from World War I to Silent Spring*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sanderson, E. Dwight. 1907. « What Research in Economic Entomology is Legitimate under the Adams Act ». *Association of Economic Entomologists. Proceedings of the Ninth Annual Meeting* reprinted *Entomology Bureau Bulletin*, vol. 67, pp. 77-84.
- Sawyer, Richard. 1996. *To Make a Spotless Orange. Biological Control in California*. Ames: Iowa State University Press.
- Seely, Bruce. 1993. « Research, Engineering, and Science in American Engineering Colleges: 1900-1960 ». *Technology and Culture*, vol. 34, pp. 344-386.
- Seftel, Howard. 1985. « Government Regulation and the Rise of the California Fruit Industry: the Entrepreneurial Attack on Fruit Pests, 1880-1920. *Business History Review*, vol. 59, pp. 369-402.
- Shafer, George D. 1911. « How Contact Insecticides Kill. I-II. » *Michigan Agricultural College Experiment Station. Technical Bulletin*, vol. 11, pp. 1-65.
- Shafer, George D. 1915. « How Contact Insecticides Kill. III. » *Michigan Agricultural College Experiment Station. Technical Bulletin*, vol. 21, pp. 1-67.
- Shafer, George Daniel. 1908. « Structure and Development of the Eyes of Certain Spiders ». Thèse de doctorat, Cornell University.
- Shepard, H. H. 1939. *The Chemistry and Toxicology of Insecticides*. Minneapolis: Burgess.
- Shepard, H. H. et C. H. Richardson. 1931. « Method for Determining Relative Toxicity of Contact Insecticides, with Special Reference to the Action of Nicotine ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 24, pp. 905-914.
- Shepard, Harold H. 1948. « Report of the Representative of the Division of Biology and Agriculture of the National Research Council, 1947 ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 41, pp. 143-144.
- Sherman, Franklin. 1909. « Demonstration Work in Economic Entomology ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 2, pp. 336-341.
- Shull, W. Earl, Merrill K. Riley et Charles H. Richardson. 1932. « Some Effects of certain Toxic Gases on the Blood of the Cockroach ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 25, pp. 1070-1072.
- Slingerland, M. 1907. « The more Urgent Problems in Insect Control ». *Proceedings of the American Association of Agricultural Colleges and Experiment Stations*, vol. 21, pp. 104-110.

- Smallman, B. N. 1958. « The Physiological Basis of the Mode of Action of Organophosphorus Insecticides ». In E. C. Becker (dir.), *Proceedings of the 10th International Congress of Entomology*, vol. 2. Ottawa: Mortimer, pp. 5-12.
- Smith, R. C. 1947. « Is Entomology Zoology? » *Journal of Economic Entomology*, vol. 40, pp. 608-609.
- Smith, R. N. 1926. « The Efficacy of Lead Arsenate in Controlling the Codling Moth ». *Hilgardia*, vol. 1, pp. 403-503.
- Smith, Ray F. Thomas E. Mittler et Carroll N. Smith (dirs), *History of Entomology*. Palo Alto: Annual Reviews.
- Sorensen, W. Conner. 1988. « The Rise of Government Sponsored Applied Entomology, 1840-1870 ». *Agricultural History*, vol. 62, pp. 98-115.
- Sorensen, W. Conner. 1995. *Brethren of the Net. American Entomology, 1840-1880*. Tuscaloosa: University of Alabama Press.
- Staudenmaier, John M. 1989. *Technology Storytellers. Reweaving the Human Fabric*. Cambridge: M. I. T. Press.
- Sternburg, J. et C. W. Kearns. 1950. « Degradation of DDT by Resistant and Susceptible Strains of House Flies ». *Annals of the Entomological Society of America*, vol. 43, pp. 444-458.
- Sternburg, J., C. W. Kearns et W. N. Bruce. 1950. « Absorption and Metabolism of DDT by Resistant and Susceptible House Flies ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 43, pp. 214-219.
- Stokes, Donald E. 1997. *Pasteur's Quadrant. Basis Science and Technological Innovation*. Washington, D. C.: Brookings Institution Press.
- Strand, A. L. 1932. « Some Remarks on the Physiological Action of Oil Sprays ». *Journal of Economic Entomology*, vol. 25, pp. 991-994.
- Sutton, J. R. 1984. « Organizational Autonomy and Professional Norms in Science: a Case Study of the Lawrence Livermore Laboratory ». *Social Studies of Science*, vol. 14, pp. 197-224.
- Swingle, H. S. 1928. « Digestive Enzymes of Oriental Fruit Moth ». *Annals of the Entomological Society of America*, vol. 21, pp. 469-475.
- Swingle, Millard C. 1931a. « Hydrogen Ion Concentration within the Digestive Tract of certain Insects ». *Annals of the Entomological Society of America*, vol. 24, pp. 489-495.
- Swingle, Millard C. 1931b. « Notes on the Digestion in Seven Species of Insects ». *Annals of the Entomological Society of America*, vol. 24, pp. 177-180.
- Tattersfield, F. 1939. « Biological Methods of Testing Insecticides ». *Annals of Applied Biology*, vol. 26, pp. 365-384.
- Tattersfield, F. et A. W. R. Roberts. 1920. « The Influence of Chemical Constitution on the Toxicity of Organic Compounds to Wireworms ». *Journal of Agricultural Science*, vol. 10, pp. 199-232.
- Tattersfield, F. et H. M. Morris. 1924. « An Apparatus for Testing Toxic Values of Contact Insecticides under Controlled Conditions ». *Bulletin of Entomological Research*, vol. 14, pp. 232-233.
- Tattersfield, F., C. T. Gimingham et H. M. Morris. 1925. « Studies on Contact Insecticides” Part III. A Quantitative Examination of the Insecticidal Action of the Chlor-, Nitro- and Hydroxyl Derivatives of Benzene and Naphtalene ». *Annals of Applied Biology*, vol. 12, pp. 218-262.
- Tattersfield, F., C. T. Gimingham et H. M. Morris. 1925. « Studies on Contact Insecticides” Part I Introduction and Methods, Part II. A Quantitative Examination of the Toxicity of *Tephrosia vogelii* Hook. to *Aphis rumicis* L. (The Bean Aphis) ». *Annals of Applied Biology*, vol. 12, pp. 61-76.
- Tobias, J. M. et J. J. Kollros. 1946. « Loci of Action of DDT in the Cockroach (*Periplaneta americana*) ». *Biological Bulletin*, vol. 91, pp. 247-255.
- Tobias, J. M., J. J. Kollros et J. Savitta. 1946a. « Relation of Absorbability to the Comparative Toxicity of DDT for Insects and Mammals ». *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, vol. 86, p. 287.
- Tobias, J. M., J. J. Kollros et J. Savit. 1946b. « Acetylcholine and related substances in the cockroach, fly and crayfish and the effect of DDT ». *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, vol. 28, pp. 159-182.
- Valentine, J. Manson. 1931. « Olfactory Sense of the Adult Mealworm Beetle *Tenebrio molitor* (Linn.) ». *Journal of Experimental Zoology*, vol. 58, p. 165.
- Vincenti, Walter C. 1990. *What Engineers Know and How They Know It*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Weber H. J. 1907. « A Plan of Publication for Agricultural Experiment Station Investigations ». *Science*, vol. 26, pp. 509-512.

- Weber, Gustavus A. 1930. « The Bureau of Entomology. Its History, Activities and Organization ». *Service Monographs of the United States Government* 60, Washington: Brookings Institution.
- Welch, Paul S. 1927. « Insect Physiology ». *Annals of the Entomological Society of America*, vol. 20, pp. 429-436.
- Whorton, James. 1974. *Before Silent Spring. Pesticides and Public Health in pre-DDT America*. Princeton: Princeton University Press.
- Wigglesworth, V. B. 1948. « Mode of Action of New Insecticides ». *Report of the Fifth Commonwealth Entomological Conference*. London: Commonwealth Institute of Entomology, pp. 35-37.
- Wigglesworth, V. B. 1957/1958. « Foreword ». *Journal of Insect Physiology*, vol. 1, pp. 1-2.
- Wilcoxon, Frank et Albert Hartzell. 1931. « Factors Affecting the Efficiency of Contact Insecticides. I. Surface Forces as Related to Wetting and Tracheal Penetration of Insecticides ». *Contribution of the Boyce Thompson Institute*, vol. 3, pp. 1-12.
- Wilcoxon, Frank et Albert Hartzell. 1933. « Some Factors Affecting the Efficiency of Contact Insecticides. III. Further Chemical and Toxicological Studies of Pyrethrum ». *Contribution of the Boyce Thompson Institute*, vol. 5, pp. 115-127.
- Woke, P. A. 1938. « The Biological Disposition of Rotenone after Ingestion by the Southern Armyworm ». *Journal of Agricultural Research*, vol. 57, pp. 707-712.
- Woke, P. A. 1939. « Inactivation of Pyrethrum after Ingestion by the Southern Armyworm and During Incubation with its Tissues ». *Journal of Agricultural Research*, vol. 58, pp. 289-296.
- Woke, P. A. 1940. « Effects of some Ingested Insecticides on the Midgut Wall of the Southern Armyworm Larva ». *Journal of Agricultural Research*, vol. 61, pp. 321-330.
- Woodworth, C. W. 1915. « The Toxicity of Insecticides ». *Science*, vol. 61, pp. 367-369.
- Yeager, J. F. et S. O. Munson. 1945. « Physiological Evidence of the Site of Action of DDT ». *Science*, vol. 102, pp. 305-307.
- Yeager, J. Franklin et J. B. Gahan. 1937. « Effects of the Alkaloid Nicotine on the Rhythmicity of Isolated Heart Preparations from *Periplaneta americana* and *Prodenia eridania* ». *Journal of Agricultural Research*, vol. 55, pp. 1-20.
- Yeager, J. Franklin, A Hager et J. M. Straley. 1935. « Some Physiological Effects of Aliphatic Thiocyanates on Isolated Heart Preparation ». *Annals of the Entomological Society of America*, vol. 28, pp. 256-264.
- Yeager, J. Franklin. 1927. « Hemolysis and Sodium Taurocholate with Special Reference to the Series of Ryvosh ». *Journal of General Physiology*, vol. 11.
- Yeager, James Franklin, B. L. Woolley et E. V. Brown. 1932. « Physiological Effects of Injections of Various Benzene and Furan Derivatives into the Cockroach ». *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, vol. 30, p. 19.
- Yeager, J. F. et G. O. Hendrickson. 1934. « Circulation of Blood in Wings and Wing Pads of the Cockroach *Periplaneta americana* Linn ». *Annals of the Entomological Society of America*, vol. 27, pp. 257-272.
- Young, Christian C. 1998. « Defining the Range: the Development of Carrying Capacity in Management Practice ». *Journal of the History of Biology*, vol. 31, pp. 61-83.

TITRES PARUS

- 05-05 **Larivière**, Vincent, **Éric Archambault**, Yves **Gingras** et Étienne **Vignola-Gagné**, «The Place of Serials in Referencing Practices: Comparing Natural Sciences and Engineering with Social Sciences and Humanities»
- 05-04 **Gemme**, Brigitte et Yves **Gingras**, «La formation à la recherche dans le cadre des collaborations université-milieu : analyse comparative des différents modes d'encadrement»
- 05-03 **Doray**, Pierre et Christian **Maroy**, «Le travail de rapprochements entre économie et éducation : analyse de quatre expériences de formation en alternance »
- 05-02 **Czarnitzki**, Dirk, Petr **Hanel** et Julio Miguel Rosa, « Evaluating the Impact of R&D Tax Credits on Innovation : A Microeconomic Study on Canadian Firms»
- 05-01 **Milot**, Pierre, «La commercialisation des résultats de la recherche universitaire : une revue de la littérature»
- 04-01 **Hanel**, Petr, «Intellectual Property Rights Business Management Practices: A survey of literature»
- 03-09 **Hanel**, Petr, «Impact of Government Support Programs on Innovation by Canadian Manufacturing Firms»
- 03-08 **Hanel**, Petr, «Impact of innovation motivated by environmental concerns and government regulations on firm performance : a study of survey data»
- 03-07 **Milot**, Pierre, Lysanne **Couture**, Émilie **Leblanc** et Yves **Gingras**, «Les programmes de formation du personnel hautement qualifié dans les systèmes d'enseignement supérieur des pays de l'OCDE»
- 03-06 **Doray**, Pierre «Les parcours scolaires en sciences et technologies au collégial»
- 03-05 **Gemme**, Brigitte, Yves **Gingras** et Pierre **Milot**, «Formation à la recherche et milieu de pratique : Un portrait des étudiants et diplômés du programme «Bourses de recherche en milieu de pratique» »
- 03-04 **Doray**, Pierre, «Choix professionnel, carrières scolaires et production de la « relève » technique»
- 03-03 **Fortier**, Claire, «Les yeux grands fermés : le passage du secondaire au collégial dans des programmes de formation technique»
- 03-02 **Milot**, Pierre, «La formation postdoctorale financée par les conseils subventionnaires»
- 03-01 **Keating**, Peter et Alberto **Cambrosio**, «Signs, Markers, Profiles and Signatures: Clinical Haematology Meets the New Genetics (1980-2000)»
- 02-05 **De Sousa**, Maria-Philomena, «Knowledge and Rules : Hayek's social theorizing in later work»
- 02-04 **Gentzoglani**, Anastassios, «Networks and Proximity : An Empirical Analysis»
- 02-03 **Dodgson**, Mark, «Policies for Science, Technology and Innovation in East Asia»
- 02-02 **Pavitt**, Keith, «Innovating routines in the business firm : what corporate tasks should they be accomplishing?»
- 02-01 **Fredette**, Raymond, «D'ou vient l'antiaristotélisme de Galileo Galilei?»
- 01-01 **Castelli Gattinara**, Enrico, «Épistémologie 1900: la tradition française»
- 00-04 **Gentzoglani**, Anastassios, «Innovation and Growth in the Knowledge-based Economy»
- 00-03 **Bouchard**, Louise et Marie-Noëlle **Ducharme**, , «Les défis pour le travail social à l'ère des technologies de l'information»
- 00-02 **Foisy**, Martine, Yves **Gingras**, Judith **Sévigny** et Sabine **Séguin**, «Portrait statistique des effectifs étudiants en sciences et en génie au Québec (1970-2000)»
- 00-01 **Prévost**, Jean-Guy, « Science et fascisme le champ statistique italien (1910-1945) »
- 99-12 **Albert**, Mathieu, «Stratégies d'adaptation des organismes subventionnaires en sciences humaines et sociales au Canada et au Québec aux compressions budgétaires gouvernementales»
- 99-11 **Godin**, Benoît et Stéphane **Ratel**, « Jalons pour une histoire de la mesure de la science »

www.cirst.uqam.ca

CIRST

Centre interuniversitaire de recherche
sur la science et la technologie

Le CIRST est, au Canada, le principal regroupement de chercheurs dont les travaux sont consacrés à l'étude des multiples dimensions de l'activité scientifique et technologique. La production régulière de travaux de recherche ainsi que la formation de nouveaux chercheurs contribuent à éclairer les débats et à informer les décideurs sur les enjeux actuels des sciences et des technologies. Ces recherches s'ordonnent autour de trois grands axes : l'analyse du développement scientifique et technologique, l'analyse socioéconomique et la gestion des technologies et enfin, l'analyse sociopolitique des usages et des incidences des technologies.



Créé en 1986, le CIRST est reconnu par quatre universités : l'Université du Québec à Montréal, l'Université de Montréal, l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) et l'Université de Sherbrooke. Il rassemble une quarantaine de chercheurs en provenance d'une douzaine d'institutions et des disciplines suivantes : histoire, sociologie, science politique, philosophie, sciences économiques, sciences administratives et communications. Le CIRST fournit un milieu de formation par la recherche à de nombreux étudiants aux cycles supérieurs dans les domaines de recherche de ses membres.

