

# **LA RECHERCHE EN SCIENCES ET EN GÉNIE**

Guide pratique et méthodologique

sous la direction de  
Marc Couture et René-Paul Fournier

## **CHAPITRE 4**

**Le projet de recherche**  
Marc Couture

**Manuscrit final de ce chapitre de l'ouvrage (p. 87-104)  
paru en 1997 aux Presses de l'Université Laval**



## Le projet de recherche

La réalisation du projet de recherche est la partie la plus importante d'un programme de maîtrise ou de doctorat. C'est aussi celle qui prendra normalement le plus de temps, et qui comportera la plus grande part d'imprévu. Ceux-ci font partie intégrante tant du processus de recherche que de son apprentissage, mais sont en même temps un des facteurs importants affectant la durée des études, que tant les autorités universitaires que gouvernementales souhaitent depuis un certain temps réduire.

La réalisation d'un projet de recherche comprend quatre grandes phases, dont plusieurs se chevauchent dans le temps : la recherche de l'information, information qu'il faut par la suite gérer; la planification, dans le cadre ou non de la préparation d'un devis de recherche; l'expérimentation, incluant ou non la tenue d'expériences préliminaires; l'analyse des résultats.

### 4.1 La recherche et la gestion de l'information

Lorsqu'on a trouvé son objet de recherche, il faut d'abord recueillir assez d'information sur le sujet pour, d'une part, préciser son projet et, d'autre part, mettre à profit les travaux antérieurs sur le sujet ou sur des sujets connexes. Ainsi, on sera moins susceptible de « réinventer la roue » ou de répéter des erreurs déjà commises, en empruntant par exemple des voies qui se sont révélées stériles. On pourra aussi éviter — cas extrême mais peu probable semble-t-il — de réaliser sans le savoir un projet identique à un autre dont les résultats auraient déjà été publiés, ce qui en principe rendrait un doctorat inacceptable pour manque d'originalité. Ensuite, il faut gérer cette information, c'est-à-dire la traiter et la classer de façon à pouvoir ultérieurement retrouver rapidement une information ou un document précis. Enfin, il faut mettre à jour cette information tout au long de la durée de ses études, jusqu'à la veille du dépôt du mémoire ou de la thèse.

#### a) La recherche de l'information

Dans ce domaine comme en d'autres, les façons de faire varient selon les habiletés, les préférences ou les habitudes de chacun. Certains préconisent d'effectuer une recherche exhaustive dans les bases de données bibliographiques avant de commencer le travail expérimental; ce serait essentiel lorsque le projet constitue une avancée dans un champ nouveau pour le directeur. Pour les projets qui s'inscrivent au contraire dans la continuité des travaux du laboratoire, d'autres estiment — tout en reconnaissant que cela devient de plus en plus difficile — que le directeur devrait normalement connaître tout ce qui se fait d'important dans son champ de recherche et tous ceux qui y travaillent, et donc posséder sa propre bibliographie complète. Cela est d'autant plus vrai pour certains champs de recherche si pointus que l'on peut compter sur les doigts des deux mains le nombre de laboratoires qui y travaillent. Dans ce contexte, le directeur peut diriger sans risque l'étudiant vers les quelques ouvrages pertinents, dont les mémoires et thèses des autres étudiants du laboratoire, et lui suggérer quelques revues dont il serait bon d'éplucher les numéros des deux ou trois dernières années. Dans certains champs de recherche, la compétition et la frénésie sont telles qu'il faut consulter en priorité les documents qui présentent des résultats plus récents. Le chapitre 5 décrit les diverses sources d'information scientifique et propose quelques stratégies de recherche dont on pourra s'inspirer.

Au début de la maîtrise, il est souvent difficile, sans l'aide du directeur ou d'une personne d'expérience, d'évaluer la pertinence ou la qualité des ouvrages que l'on consulte, de même que reconnaître la contribution importante d'un article. Il est généralement admis que la qualité des articles est très variable, la pression à la publication amenant la parution d'articles mal rédigés, présentant des résultats partiels ou redondants, voire erronés, ou encore omettant des informations importantes. De plus, le jargon propre au

champ peut également être source de difficultés importantes. Ce n'est qu'avec le temps que l'on arrive à développer une bonne compréhension des ouvrages spécialisés et un jugement sûr à leur égard. Au début, il est donc inutile de s'acharner à vouloir comprendre chaque ligne des articles; il vaut mieux apprendre à vivre avec le malaise que procure cette incompréhension. Il n'est souvent pas nécessaire non plus de comprendre tous les éléments d'un article pour qu'il nous soit utile; parfois, on pourra se contenter d'étudier la méthode proposée, quitte à revenir plus tard si nécessaire sur l'analyse des résultats. Par ailleurs, ce ne sont pas tous les étudiants qui sont disposés à passer des mois à lire des articles, d'autant plus qu'à la maîtrise, on a intérêt à ne pas trop tarder à commencer son expérimentation. C'est pourquoi plusieurs suggèrent de commencer simultanément la recherche documentaire et les travaux expérimentaux, de sorte que ce qu'on apprend de chacune des deux activités nous aide peu à peu à mieux effectuer l'autre. Ainsi, la lecture de la description des méthodes dans les articles est essentielle pour commencer à les mettre en pratique, mais certains éléments, surtout techniques, demeurés obscurs à la première lecture ne prendront un sens que lorsqu'on sera en contact direct avec l'expérimentation.

Le directeur de recherche peut jouer un rôle majeur dans cet apprentissage. Certaines activités, formelles ou non, peuvent aussi y contribuer, comme des cours ou rencontres d'équipe où chacun à tour de rôle doit présenter et expliquer au groupe un article. Tous les professeurs le diront : il n'y a pas de meilleure façon d'apprendre un sujet... que d'avoir à l'expliquer ou à l'enseigner.

Il reste que tôt ou tard, si on ne l'a pas fait au tout début, il faudra effectuer une recherche exhaustive sur son objet de recherche. Ce sera fait généralement en vue d'une présentation publique de son projet, dans le cadre d'une activité prévue dans les programmes d'études, par exemple, au moment de l'examen de synthèse au doctorat, ou encore à l'occasion d'un colloque ou d'un congrès. À la limite — ce qui ne serait toutefois pas exceptionnel en pratique —, cette tâche peut être effectuée au moment de la rédaction du mémoire ou de la thèse.

## **b) La gestion de l'information**

Cette recherche nous permet de repérer l'information; encore faut-il pouvoir la mettre à jour, de même que la retrouver au moment où l'on en aura besoin. Chacun pourra utiliser la méthode qui lui convient : si certains préfèrent un système précis et rigoureux, d'autres s'accommodent d'un classement « flou », considérant que le temps qu'ils perdent à chercher l'information équivaut à celui qu'ils auraient dû consacrer à créer et gérer un système de classement. Chose certaine, l'utilisation d'un tel système diminue considérablement le risque de perdre des informations précieuses. Si l'on choisit cette voie, on pourra s'inspirer des consignes suivantes.

On veillera d'abord à garder une trace détaillée (dates, banques consultées, mots clés employés) de toutes les séances de recherche que l'on effectue, de manière à assurer une cohérence dans les mises à jour et à éviter de faire plus d'une fois la même recherche. Ces recherches nous fourniront soit certaines informations seulement sur les documents repérés (comme la notice, avec ou sans résumé), soit les documents complets (photocopies d'articles). De plus, chaque notice ou document sera analysé : on lui attribuera un numéro, on le classera dans un système de catégories qui évoluera tout au long de nos travaux, on jugera de sa pertinence, on en fera parfois un résumé plus détaillé ou plus pertinent pour nos travaux que celui qui apparaît au début de l'article, on pourra aussi relever certaines données précises (comme des valeurs numériques ou des détails sur les méthodes).

On verra donc à se constituer un double système de classement. Le premier système regroupera sur support informatique l'ensemble des notices repérées; on ajoutera à chaque notice diverses informations : catégorie, pertinence, possession ou non du document, support (papier ou informatique), résumé personnel, informations précises, etc. Ce système pourra être réalisé à l'aide d'un logiciel spécialisé, ou encore à l'aide de son traitement de texte habituel. Chaque technique possède ses avantages et

inconvenients. Les logiciels spécialisés permettent des fonctions avancées comme le tri ou le formatage de bibliographies; ils obligent toutefois à faire l'apprentissage d'un nouveau logiciel et à faire constamment la navette, au moment de la rédaction, entre deux logiciels, ce qui peut se révéler lourd à l'usage. Le traitement de texte oblige à faire manuellement certaines opérations mais permet d'en éviter d'autres, de sorte que le temps total requis risque souvent d'être réduit, à moins de faire face à des quantités astronomiques de références. Le second système consistera en un classement physique (chemises, classeurs pour les documents papier; dossiers informatiques pour les documents numériques) fondé sur les mêmes catégories que le premier système. On ne saurait trop insister ici sur la nécessité de conserver au moins une copie de sûreté de chaque fichier ainsi créé; on n'y échappe pas : tant les disquettes que les disques rigides présentent un risque relativement élevé de défaillance.

## **4.2 Le devis de recherche et la planification de l'expérimentation**

Avant de commencer son expérimentation, il faut la planifier, c'est-à-dire dresser une liste des principales étapes des travaux et déterminer les ressources qui seront requises à chacune; cette liste devrait normalement être accompagnée d'un échéancier indiquant le moment et la durée de chaque étape. Cette planification se fait souvent dans le cadre plus général de la préparation d'un devis de recherche, qui présente les grandes lignes du projet. Ce devis constitue en quelque sorte une version réduite de la demande de financement, un des éléments centraux de l'activité des chercheurs en milieu universitaire.

### **a) Le devis de recherche et la demande de financement**

La préparation d'un devis de recherche est un exercice dont l'utilité, pour un étudiant qui s'engage dans un projet de recherche, ne saurait être sous-estimée. En effet, il lui fournit l'occasion — le force même, pourrait-on dire, car il ne s'agit pas d'un exercice facile — de s'approprier les connaissances, tant théoriques que pratiques, nécessaires à son projet. Il lui permet aussi d'établir les liens qui donneront un sens et une unité aux travaux, souvent très variés, qu'il aura à accomplir. En outre, le devis pourra se révéler un outil particulièrement utile au moment d'entreprendre la rédaction d'articles, du mémoire ou de la thèse. Cet apprentissage préparera aussi le futur chercheur à une des activités importantes qu'il aura à exercer, soit la préparation de demandes de financement auprès de bailleurs de fonds, qui comportent toujours un devis de recherche. Certains étudiants seront même appelés à collaborer avec leur directeur à la préparation de telles demandes de financement.

Dans beaucoup d'établissements, un devis de recherche doit être soumis à un comité de supervision qui, à partir des informations contenues dans ce document, accepte les projets de mémoire ou de thèse sur la base de leur faisabilité et de leur réalisme. Le comité émet aussi des commentaires et suggestions de tout ordre visant l'amélioration ou la facilitation du projet.

Le contenu exact de ces devis varie évidemment selon le contexte. Ainsi, chaque organisme ou programme de financement possède ses propres objectifs et le chercheur doit démontrer que le projet qu'il soumet contribuera à leur atteinte; pour un devis de projet de mémoire ou de thèse, ce sont les objectifs du programme qu'il faut considérer.

Quel que soit le contexte, certains éléments doivent apparaître dans tout devis de recherche : la problématique, les objectifs, les méthodes et moyens, l'échéancier et la bibliographie. Dans cette section, nous présenterons chacun de ces éléments, en mentionnant, s'il y a lieu, ce qui relève spécifiquement de la demande de financement.

### *La problématique*

Cette section constitue la justification scientifique du projet et des choix que l'on a faits. Elle vise à situer le projet dans le contexte de la recherche scientifique déjà publiée. Il s'agit d'abord de faire le tour des connaissances actuelles sur le sujet, en mettant en évidence les lacunes qui persistent dans ces connaissances et en expliquant comment le projet permettra de les combler. Même si cela semble un peu paradoxal, il faut montrer à la fois comment le projet constitue une continuité par rapport aux grands courants actuels de la recherche (un projet marginal a moins de chance d'être jugé intéressant) et, surtout pour un projet de doctorat, comment il s'en distingue (car il doit être original). Si diverses approches ou méthodes ont été proposées pour aborder le sujet, il faut les mentionner et indiquer laquelle on a retenue, sans toutefois la décrire (ce sera fait plus loin). On fera valoir également le lien entre le projet et les travaux que l'on a déjà réalisés soi-même, ou encore qui l'ont été dans la même équipe ou le même laboratoire. Sans entrer dans le détail (ce qui est fait dans les sections suivantes), la problématique donne ainsi une idée de ce que vise le projet et de ce en quoi il consistera, mais aussi de ses limites.

On veillera à appuyer ses affirmations par des références à des articles scientifiques pertinents. Question de stratégie, on veillera normalement à citer un certain nombre de travaux très récents, de manière à démontrer que le sujet est à l'ordre du jour et que l'on est au fait des derniers développements dans le champ de recherche. On citera aussi ses propres travaux et (ou) ceux de son laboratoire, dans la mesure où ceux-ci sont suffisamment pertinents, tout en prenant soin de conserver une certaine retenue.

En plus de la problématique, les demandes de financement comporteront souvent une section où l'on devra présenter la pertinence sociale ou économique du projet. On le fera de la même façon que dans la problématique, en montrant comment le projet pourra contribuer à résoudre des problèmes ou à répondre à des besoins sociaux ou économiques bien circonscrits. On citera cette fois des ouvrages moins spécifiquement scientifiques, comme des articles de magazines spécialisés ou des rapports gouvernementaux. Plus un projet est appliqué, plus ce volet de la demande devient important.

### *Les objectifs et les hypothèses*

Il convient d'abord de distinguer un objectif d'une hypothèse. Un objectif est un énoncé indiquant ce qu'on désire obtenir, réaliser, ou vérifier dans le cadre du projet. Il peut être plus ou moins général. Par exemple, « étudier les caractéristiques de telle composante optique » et « étudier le phénomène de bioaccumulation chez l'espèce X » sont des objectifs très généraux, alors que « vérifier l'intérêt de telle composante optique pour la réalisation d'un laser  $\text{NH}_3$  à haute pression » et « vérifier la capacité de l'espèce X à bioaccumuler le polluant Z » sont des objectifs plus particuliers. Une hypothèse est un énoncé particulier spécifiant une relation (de causalité ou autre) qu'il est possible de corroborer par l'expérimentation ou l'observation (voir chapitre 1). Ainsi, « l'utilisation de telle composante optique permet d'augmenter de manière significative la pression dans un laser  $\text{NH}_3$  » et « dans les mêmes conditions, l'espèce X présente un taux de bioaccumulation du polluant Z supérieur à celui de l'espèce Y » sont des hypothèses que l'on peut soumettre directement à l'expérimentation.

C'est donc dans cette section que l'on énonce objectifs et hypothèses, en veillant à bien distinguer, parmi les hypothèses, celles que l'on tient pour acquises, celles dont on doute, et celles dont le degré de validité est encore inconnu et que le projet devrait contribuer à corroborer, en mentionnant clairement la provenance de ces hypothèses. Ces objectifs et hypothèses ont normalement été évoqués dans la problématique, mais ils doivent être ici clairement énumérés et exprimés. En effet, ils serviront de fondement à l'évaluation du projet lorsque celui-ci sera terminé, alors que l'on devra confronter ce que le projet visait et ce qui en a résulté en réalité. Idéalement, le devis devrait être suffisamment explicite pour que l'on puisse alors dire quelque chose comme : « Le projet visait les quatre objectifs suivants : [liste des objectifs], et voici dans quelle mesure chacun d'eux a été atteint : [résumé des résultats]. »

Dans la tradition scientifique, incarnée par la recherche subventionnée, de tels objectifs ne constituent pas un engagement formel; on l'a déjà dit, les projets doivent subir plus souvent qu'autrement des réorientations en cours de route, réorientations qui peuvent modifier les objectifs initiaux, la plupart du temps en les limitant. Cependant, dans un contexte de recherche appliquée, ces objectifs peuvent acquérir le statut d'éléments de contrat, qui ne peuvent dès lors être modifiés sans l'accord explicite des bailleurs de fonds. Il est prudent, dans ce contexte, de porter la plus grande attention au caractère réaliste de ses objectifs.

#### *Les méthodes et moyens*

Ici, on décrit comment on s'y prendra pour atteindre les objectifs que l'on s'est fixés. Cette section doit répondre à des questions comme : Va-t-on utiliser des méthodes connues? A-t-on déjà utilisé ces méthodes dans le laboratoire, ou va-t-on devoir apprendre à les utiliser? Devra-t-on adapter celles-ci, ou carrément concevoir de nouvelles méthodes? Il peut s'agir autant de méthodes expérimentales que de méthodes de traitement, d'analyse ou de modélisation des résultats. L'équipement dont on aura besoin est-il en place, et sera-t-il disponible au moment opportun? Aura-t-on besoin de la collaboration d'autres équipes, d'autres établissements? Certains travaux spécifiques demandent, ou encore gagnent, à être effectués dans d'autres laboratoires, et il faut s'assurer qu'ils pourront être réalisés au moment requis.

Dans une demande de financement, cette section sert de base à l'établissement du budget, qui fait l'objet d'une section indépendante. Ce budget fait état des ressources, tant financières, matérielles qu'humaines, nécessaires pour mener à bien le projet. Lorsque ces ressources ne sont pas disponibles, il faut prévoir les sommes nécessaires pour se les procurer ou les embaucher. Ces ressources peuvent comprendre aussi bien des frais de déplacement, de participation à des congrès, de publication, que des équipements, des fournitures (comme des produits chimiques), des logiciels ou du personnel (techniciens, professionnels de recherche, assistants). On consultera soigneusement les guides, préparés par les organismes subventionneurs et les universités, présentant les normes budgétaires que ceux-ci ont fixées, notamment en ce qui a trait à la nature des dépenses admissibles et aux salaires pouvant ou devant être versés aux diverses catégories de personnel.

#### *L'échéancier*

En plus de l'expérimentation, dont il est question plus loin, l'échéancier prévoit les autres tâches reliées au projet comme la recherche de l'information, l'analyse des résultats et la rédaction des rapports, des articles, du mémoire ou de la thèse.

Évidemment, il est toujours difficile de prévoir avec précision la durée de chacune des étapes d'un projet qui renferme, par sa nature même, une bonne part d'incertitude. En fait, les travaux expérimentaux prennent presque toujours plus de temps que prévu, et même des chercheurs chevronnés peuvent évaluer à quelques semaines la durée de travaux qui prendront en fait des mois. En dépit de ce fait universellement reconnu, il n'est pas dans les traditions universitaires de prévoir dans les échéanciers une marge de manœuvre suffisante pour couvrir ces débordements. En contrepartie, les retards sont peu sanctionnés. En fait, dans le contexte de la recherche subventionnée, l'échéancier comme les objectifs peuvent facilement être modifiés en cours de route par le chercheur. En bout de course, la recherche sera jugée moins en fonction de l'atteinte des objectifs initiaux que sur la base de ses retombées scientifiques (articles, communications, etc.). Encore une fois, les règles peuvent être différentes pour la recherche appliquée, car les gens de l'industrie suivent souvent de très près l'évolution des travaux qu'ils financent et s'attendent à obtenir les résultats promis au moment prévu.

### La bibliographie

Finalement, la bibliographie ne consiste normalement qu'en la liste des ouvrages cités dans le devis ou la demande de financement. On s'assurera cependant que l'équilibre entre travaux récents et anciens, ainsi qu'entre travaux locaux (ou personnels) et extérieurs transparaît lors d'un survol rapide de la section.

### b) La planification du travail expérimental

À la maîtrise, la planification de l'expérimentation et la préparation d'un échéancier se font sous l'étroite supervision du directeur et, la plupart du temps, à l'initiative de celui-ci. À ce stade, en effet, lui seul est conscient des problèmes qui peuvent survenir, des diverses contraintes limitant les possibilités (coût, disponibilité des équipements, des fournitures et du personnel technique). De plus, il doit coordonner plusieurs projets dans le cadre de sa planification d'ensemble. Cela implique notamment que c'est lui et non les étudiants qui doit prendre en charge les différends qui peuvent survenir lorsque les travaux de l'un débordent au-delà de la date prévue, ou que des équipements extérieurs que l'on prévoyait utiliser sont convoités au même moment par un autre chercheur. Certains aspects de cette planification peuvent être laissés aux mains de l'étudiant, qui demeure toujours responsable de la planification à court terme (de semaine en semaine) de ses activités, en particulier des travaux en laboratoire. Ainsi, ce sont les étudiants qui géreront entre eux l'utilisation ponctuelle de l'équipement collectif.

Au doctorat, c'est l'étudiant qui deviendra le maître d'œuvre de la planification. Celle-ci continuera toutefois de se faire en étroite collaboration avec le directeur, qui demeure toujours responsable de la gestion du laboratoire et des budgets, ainsi que de la coordination des divers projets qui s'y déroulent.

Pour certains types de projets, une partie de l'échéancier échappe même au directeur. On songe ici à la recherche effectuée par de grandes équipes à l'aide d'installations coûteuses centralisées (*Big Science*), ou encore aux projets s'inscrivant dans le cadre de contrats qui prévoient des échéanciers stricts, en général beaucoup plus courts que ceux que l'on retrouve dans la recherche subventionnée : on parle d'un rythme annuel plutôt que d'échéances aux trois ans.

Cet exercice de planification est important, car il est l'occasion pour l'étudiant de faire le point sur ce qui a été fait auparavant dans le laboratoire et sur les ressources dont il pourra disposer. Il permet aussi, et ici le rôle du directeur est primordial, d'établir des priorités quand un projet comporte divers travaux qui peuvent être réalisés de façon indépendante. Les critères qui présideront à l'établissement de cet ordre de priorité sont multiples; par exemple, on pourrait favoriser les travaux présentant un risque d'échec moindre, ou encore ceux qui sont plus susceptibles de déboucher rapidement sur la production d'un article scientifique. On peut aussi profiter de l'occasion pour prévoir des portes de sortie, des solutions de rechange pour les cas — fréquents — où les choses ne fonctionneraient pas comme prévu, ou que des événements fortuits nous empêcheraient de commencer une étape au moment fixé. Cet exercice demande aussi d'avoir une certaine idée du genre de résultats que l'on devrait obtenir et du genre d'analyse qui sera effectuée, car ces facteurs déterminent souvent l'ampleur — donc la durée — des expériences. Par exemple, le nombre d'échantillons à prélever sera fonction du type d'analyse statistique nécessaire pour confirmer ou infirmer les hypothèses.

Comme on l'a dit plus haut, l'expérimentation prend presque toujours plus de temps qu'on ne l'imaginait. On doit donc se faire dès le départ à l'idée qu'on ne réalisera pas, à terme, tout ce qu'on envisageait. On pourrait dès lors être tenté de considérer l'échéancier comme une formalité à remplir, que l'on se dépêche de reléguer aux oubliettes. Mais un échéancier détaillé, qui force à décrire toutes les étapes de l'expérimentation, peut s'avérer utile. Il peut par exemple servir à évaluer quand il est temps de renoncer à une partie récalcitrante de notre projet. Il peut également être invoqué par un étudiant pour décliner une invitation de son directeur à faire des tâches supplémentaires non prévues à l'origine,

excédant les exigences de son programme ou ne présentant que peu ou pas de lien avec le projet : en effet, la durée des études est un critère qui sert à juger autant l'étudiant que le directeur. Au moment du travail sur le terrain, l'échéancier peut servir d'aide-mémoire. Il est utile également pour prévoir suffisamment à l'avance la réservation des appareils sophistiqués à usage collectif, lorsqu'on doit les monopoliser pendant des semaines ou des mois ou qu'ils sont situés dans un autre établissement. On peut dire la même chose des commandes d'équipement ou de fournitures, qui peuvent parfois prendre des mois à être livrées. À ce sujet, il pourrait être plus prudent d'éviter, à la maîtrise, de s'engager dans un projet qui ne dispose pas au départ de toutes les ressources requises. Finalement, la confection d'un échéancier est l'occasion d'évaluer la pertinence d'effectuer des expériences préliminaires et, le cas échéant, d'en fixer la nature.

Pour les projets qui comprennent un travail de terrain, cette planification est sujette à des contraintes particulières. Tout d'abord, la question des coûts, même si elle ne relève pas directement de l'étudiant, doit être considérée : le travail de terrain coûte très cher, et il faut au moins s'assurer que les budgets requis sont disponibles. Par ailleurs, ce travail ne peut s'étendre que sur quelques semaines ou mois d'affilée, car il ne se fait normalement que l'été (sous nos latitudes, du moins). Si l'on entreprend son programme au trimestre d'automne, on ne peut commencer son travail expérimental avant le troisième trimestre; il faut alors planifier soigneusement son emploi du temps dans l'intervalle, par exemple en alternant entre les cours, la recherche documentaire et la préparation du travail de terrain. De plus, il y a toujours la possibilité de revenir bredouille; à défaut de solution de rechange, on doit alors attendre une année complète avant de recommencer, ce qui pose un problème pour la durée des études, surtout à la maîtrise. Finalement, il y a beaucoup de détails à prévoir, surtout lorsque le travail s'effectue dans des régions isolées : qu'on songe au transport, à la survie en pleine nature (nourriture, protection contre les intempéries ou les animaux sauvages), aux questions de sécurité (il vaut mieux en général être deux à partir). Ces contraintes font parfois surgir la tentation d'éliminer carrément cette partie de la recherche pour la remplacer par une simple analyse de données ou de matériaux recueillis par d'autres, mais cela risque de tronquer sérieusement la formation que l'on acquiert normalement dans ce type de recherche. Heureusement, l'étudiant, surtout la première fois, pourra bénéficier de l'expérience acquise en la matière au sein de l'équipe.

Cette planification peut parfois se faire de manière informelle, ou même échapper complètement à l'étudiant, comme pour les sorties en mer sur de grands bateaux, mais le plus souvent, elle est exigée dans le cadre des programmes d'études ou encore par le directeur lui-même, soit au début de la maîtrise ou du doctorat, ou au moment de l'examen de synthèse au doctorat, ou encore à chaque année.

#### **4.4 L'expérimentation**

L'expérimentation est une étape incontournable de l'apprentissage de la recherche. Elle donne aux étudiants, quand vient le moment d'écrire leur mémoire ou leur thèse, le sentiment unique d'avoir véritablement creusé leur sujet sous tous ses angles, même les plus triviaux. En même temps, elle peut à l'occasion apparaître comme la part ingrate du projet de recherche, car le temps qu'il faut y consacrer est parfois sans commune mesure avec ce que l'on a l'impression d'y avoir récolté. « Trois mois de travail pour trois lignes dans la thèse », comme le disait si bien un étudiant. Plusieurs ont vu ainsi la durée de leurs études augmenter considérablement, avec tous les risques de perte de motivation que cela comporte, à cause de problèmes survenus en cours de route. Or beaucoup de ces problèmes auraient pu être évités, ou du moins porter moins à conséquence, si les précautions appropriées avaient été prises au moment opportun. Certaines ont trait à la planification du projet, comme la tenue d'expériences préliminaires et leur nature, alors que d'autres touchent le travail expérimental lui-même.

### **a) Les expériences préliminaires**

L'expérimentation débute souvent par des expériences préliminaires. Celles-ci, qui font partie intégrante de la démarche expérimentale dans certains domaines, ne fourniront pas à proprement parler de résultats pouvant être utilisés dans des articles, même s'ils pourront être décrits dans un mémoire ou une thèse.

Les expériences préliminaires pourront constituer un banc d'essai pour les méthodes, lorsqu'elles n'ont pas déjà été employées dans le laboratoire ou qu'un des objectifs du projet consiste justement à développer une ou des méthodes, et qu'elles sont alors nouvelles même pour le directeur. Un projet de maîtrise joue souvent ce rôle pour l'étudiant qui continue au doctorat dans le même champ de recherche, ou encore pour les projets d'autres étudiants du laboratoire.

L'étudiant à la maîtrise, ou encore au doctorat, en profitera pour se familiariser avec les techniques ou méthodes de la spécialité ou du champ de recherche, lorsque celui-ci est nouveau pour lui. Il commencera en général par suivre des sentiers battus, en se contentant de refaire d'abord ce que d'autres avant lui ont réalisé, avant de plonger dans l'inconnu. En fait, à cette étape, l'inconnue, pour le directeur, est davantage l'étudiant que le projet lui-même. Une fois cette étape franchie, l'étudiant pourra s'engager prudemment dans les aspects inédits du projet, en testant séparément divers éléments qui devront être combinés au moment de l'expérimentation définitive, ou en procédant à une application réduite de la méthode. Parfois, il pourra avoir l'impression de perdre son temps en faisant des manipulations qu'il lui faudra de toute façon reprendre plus tard, et pourra être tenté de passer immédiatement aux expériences définitives. Cependant, les expériences préliminaires constituent un excellent moyen d'évaluer rapidement et à peu de frais le risque ou l'incertitude du projet ainsi que le potentiel des hypothèses, compte tenu des ressources disponibles. Souvent, elles suggéreront la tenue de nouvelles expériences, ou même une nouvelle définition du projet.

Les expériences préliminaires ne sont pas toujours possibles en raison de contraintes financières ou à cause de la nature même du projet. Dans ce cas, on accordera un soin particulier à l'analyse de la documentation afin d'y déceler tout indice permettant de juger de la valeur ou de la pertinence des choix effectués lors de la planification du projet.

### **b) Le travail en laboratoire ou sur le terrain**

Que ce soit pour les expériences préliminaires ou définitives, le travail en laboratoire ou sur le terrain, que l'on apprendra d'abord par imitation des étudiants plus expérimentés et des techniciens, gagnera en qualité et en efficacité si l'on se conforme à certains principes. Tout d'abord, malgré la fébrilité qui s'empare par moments de l'expérimentateur qui voit poindre un résultat attendu, ou au contraire en dépit de l'impatience de celui ou celle qui ne voit rien venir malgré l'heure avancée ou l'imminence d'une échéance, il est important de ne pas travailler trop vite. Cela ne veut pas dire de se traîner les pieds, mais bien de prendre le temps de procéder aux vérifications appropriées à chaque étape d'une expérimentation, avant de s'engager dans la suivante. Cela signifie aussi porter grand soin au matériel, qu'il s'agisse d'appareils ou d'animaux, car les erreurs ou la négligence peuvent entraîner des coûts importants ou des conséquences fâcheuses non seulement sur son propre projet, mais aussi sur ceux d'autres personnes (par exemple, lorsqu'un appareil d'usage collectif devient inutilisable ou qu'une maladie se propage dans un élevage).

Cela veut dire également prendre le temps de consigner dans le cahier de laboratoire (qui peut être accompagné d'un journal de bord, ou même en constituer un) tout ce qu'on a fait, tout ce qu'on a mesuré (c'est-à-dire, de plus en plus, le nom et la localisation des fichiers de données) et tout ce qu'on croit susceptible d'avoir exercé une influence quelconque sur l'expérience. Cette mémoire de l'expérimentation est essentielle à deux égards. D'une part, l'analyse des résultats pourra faire apparaître

des phénomènes imprévus ou indésirables, non perceptibles lors de l'expérimentation, qu'il faudra tenter d'expliquer. Or cela ne pourra se faire que si l'on arrive à retracer le plus précisément possible les conditions qui régnaient lors de l'expérimentation et les gestes qui ont été posés durant celle-ci. D'autre part, les personnes qui travaillent en même temps (ou qui travailleront plus tard) sur les mêmes sujets ou avec les mêmes appareils, ou encore qui utiliseront les résultats de cette expérimentation, risquent fort eux aussi d'avoir besoin de ces renseignements.

C'est pour cette raison que plusieurs directeurs exigent que ces cahiers ne sortent jamais du laboratoire. Ceux-ci peuvent aussi être informatisés, ce qui présente le double avantage de faciliter la conservation de copies de sûreté et de pouvoir servir ultérieurement de canevas de base à la section « description de l'expérimentation » des articles, du mémoire ou de la thèse, ou encore aux rapports périodiques d'avancement des travaux exigés dans certaines équipes. Des étudiants ont dû reprendre des expériences, et des directeurs se sont retrouvés dans l'impossibilité de poursuivre certains travaux, simplement parce que les cahiers de laboratoire étaient incomplets ou que les étudiants les avaient emportés avec eux en quittant l'université.

Cette même approche, que nous pourrions qualifier de posée ou de réfléchie, est nécessaire pour conserver tant la concentration nécessaire à la qualité de l'observation que l'attitude de doute, indispensable en recherche. Le signal que l'on observe est-il vraiment un signal expérimental, ou bien un artefact de l'appareil de mesure, ou encore la conséquence de travaux dans le laboratoire voisin venant perturber l'alimentation électrique? L'appareil que l'on croyait calibré l'est-il vraiment? Bien des étudiants vous raconteront les jours, voire les semaines d'expérimentation dont les résultats ont pris le chemin de la poubelle, alors que des signes manifestes ou une simple vérification de routine auraient pu dès le départ les mettre sur la piste. À l'inverse, on peut aussi se demander combien de résultats, fondés ceux-là mais inattendus, ont également pris trop rapidement la direction du bac à recycler.

Bien sûr, il est toujours plus facile, rétrospectivement, de juger que « on aurait dû s'en rendre compte... », et il est inévitable que l'on fasse des erreurs. Cela fait partie du processus même d'apprentissage « sur le tas », et les directeurs sont en général indulgents à cet égard (ils ont commis eux aussi des erreurs). Certains directeurs considèrent même qu'il est préférable de laisser un étudiant découvrir son erreur par lui-même, quitte à intervenir si le retard devient trop pénalisant, et lui apporter alors tout le soutien requis pour réparer les pots cassés.

Ce qu'on acceptera difficilement par contre, c'est qu'un étudiant cherche à dissimuler ses erreurs, ce qui peut à la limite être assimilé à la fraude scientifique (voir à ce sujet le chapitre 9). On ne verra pas d'un très bon œil non plus, car c'est une attitude peu productive, le fait que quelqu'un insiste à tout prix pour résoudre seul ses difficultés. Il lui suffit d'accepter de faire preuve d'un peu d'humilité pour vite constater qu'il est entouré de personnes qui peuvent l'aider à résoudre ses problèmes. Il y a d'abord les autres étudiants, dont la solidarité à cet égard est proverbiale — sauf peut-être dans certains laboratoires où règne une intense compétition. Il y aussi les associés de recherche et les stagiaires postdoctoraux, qui peuvent toutefois hésiter à s'engager dans ce processus d'aide, car ils se retrouvent en quelque sorte en conflit entre les exigences de productivité auxquelles on les soumet et des tâches d'encadrement qu'on ne leur reconnaît pas. Il y a également les techniciens, qui sont les seuls à assurer une réelle permanence au sein du laboratoire. Il y a finalement le directeur, quand le métier de professeur-chercheur ne l'a pas encore mené trop loin de la réalité quotidienne du laboratoire. En bout de piste, il est toujours possible de soumettre son problème à un forum ou groupe de discussion dans Internet, où l'on voit régulièrement apparaître ce genre de question (voir chapitre 5).

## 4.5 L'analyse des résultats

L'analyse des résultats est la partie cruciale du projet de recherche. Si les travaux de laboratoire présentent un caractère technique et répétitif, au point qu'une bonne partie de ceux-ci pourraient en principe être confiés à du personnel moins qualifié — techniciens, étudiants de premier cycle —, l'analyse des résultats est, avec la planification du projet et la rédaction des articles, le domaine exclusif du chercheur. Quand la chose est possible, les données sont traitées et les résultats analysés en parallèle avec l'expérimentation, ce qui permet de déceler rapidement toute anomalie et de réajuster le tir si nécessaire. Cette analyse gagne énormément à être effectuée en étroite collaboration avec le directeur, ou en groupe; sinon, il est utile d'en discuter le plus tôt possible avec d'autres étudiants, ou un public réuni à cette fin. La participation à un congrès est aussi une excellente occasion de pouvoir discuter en privé avec des personnes qui travaillent dans le même champ de recherche et d'apprendre des choses que les articles ne mentionneront jamais. Il est très dangereux de s'isoler pour cette tâche, car l'enthousiasme que l'on ressent pour ses résultats peut facilement se nourrir de lui-même et rendre méfiant à l'égard de toute critique; la nécessaire douche froide qui attend au détour n'en devient alors que plus traumatisante.

La prise et le traitement des données ainsi que l'analyse des résultats mettent à contribution de nombreux outils informatiques : appareils à affichage numérique, logiciels d'acquisition et de traitement de données, logiciels spécialisés pour certaines analyses, logiciels de statistiques, bases de données, logiciels graphiques, etc. Si le maniement de ces logiciels, de plus en plus puissants et en même temps de plus en plus conviviaux, ne pose pas en général de difficultés, leur usage en recherche a fait surgir une difficulté majeure que nous nommerons *l'illusion de la vérité informatique*. En effet, les appareils n'affichent plus leurs mesures sur des cadrans mais plutôt sur des affichages numériques, quand ils ne sont pas directement reliés à un ordinateur. Les logiciels ont éliminé les calculs et le tracé de courbes fastidieux, qui occupaient auparavant une partie non négligeable du temps consacré à l'analyse des résultats. Il n'est pas question de regretter cette époque révolue et de prôner le retour à la plume d'oie, aux tables de logarithmes ou à la règle à calcul, mais on est forcé de constater que la révolution informatique semble, pour beaucoup, avoir rendu inutiles ou simplement inexistantes des opérations pourtant essentielles comme l'évaluation de l'incertitude des mesures et la vérification de la validité des résultats numériques.

On dirait que la facilité et la rapidité avec lesquelles l'informatique nous permet d'obtenir, de traiter et de porter en graphique ces valeurs portent à oublier la nécessité de réflexion ou de sens critique à leur sujet. Pourtant, ce n'est pas parce que l'ordinateur affiche une valeur avec 8 ou 12 chiffres que la quantité en question est précise à plus qu'un ou deux chiffres significatifs. Toute mesure a une précision limitée, que ce soit à cause de l'instrument de mesure lui-même, des conditions dans lesquelles il est utilisé, ou des caractéristiques de l'objet mesuré, et cet état de fait n'a pas changé avec l'avènement des ordinateurs. Cette précision, il faut l'évaluer à chaque fois, et harmoniser en conséquence l'ensemble de ses résultats; c'est, à la limite, une question d'honnêteté intellectuelle. La plupart des logiciels sont réglés au départ pour afficher deux décimales; est-ce un hasard si une bonne partie des tableaux que l'on présente affichent précisément ce nombre de décimales, quel que soit l'ordre de grandeur des quantités présentées?

Dans le même ordre d'idées, un logiciel de statistiques pourra facilement calculer toutes sortes de paramètres décrivant une distribution, mais que fait exactement l'ordinateur avec les données qu'on lui fournit? Que signifient exactement l'écart-type, la corrélation? Quelle est la pertinence de ces quantités, compte tenu de la nature de notre échantillon? Que nous apprend sur nos résultats la droite ou la courbe qui passe par nos points expérimentaux? Comment se répercute la précision limitée de nos mesures sur la valeur de nos résultats finaux? Il est vrai que certains projets de recherche ne font pas appel aux statistiques, ni même à des données numériques, mais une grande partie des étudiants risquent de se heurter à ce type de problème au moment de l'analyse de leurs résultats. Les cours de statistiques,

obligatoires, ou fortement suggérés dans plusieurs spécialités ou champs de recherche, constituent une base utile mais non suffisante dans la plupart des cas. On doit alors compléter sa formation par soi-même, ou encore faire appel aux services d'un collègue plus aguerri ou, dans certains cas, d'une personne qualifiée en statistiques dont le mandat consiste justement à dépanner les membres de l'équipe ou du centre.

Finalement, une des tâches les plus difficiles demeure celle d'apprécier ses propres résultats à leur juste valeur. Cette habileté ne s'acquiert qu'avec l'expérience, par le biais des innombrables discussions menées autour de ces résultats. Ainsi seulement arrive-t-on à mieux trancher, bien que jamais de manière définitive, entre des constats opposés : Est-ce normal que j'aie obtenu des résultats différents de ceux que l'on retrouve dans la documentation, ou bien me suis-je trompé? Est-ce acceptable ou non d'obtenir des résultats différents dans des conditions en apparence identiques? Ce que j'ai fait est-il intéressant ou dérisoire? Ai-je accompli un travail original ou une simple adaptation de ce qui a déjà été fait? Les étudiants sont, plus souvent qu'autrement, portés à douter de la qualité ou de l'intérêt de leurs travaux. En un sens, ce doute est créateur, mais il est en même temps source de tension et d'inquiétude. Un jour pourtant, les articles, le mémoire ou la thèse seront terminés, soumis et jugés valables. De tels moments de grâce effacent bien des années d'angoisse, et la fierté que l'on ressent est la meilleure récompense pour notre persévérance.