



HAL
open science

Chercheur, un métier ? Quel métier ?

Xavier Sauvage

► **To cite this version:**

| Xavier Sauvage. Chercheur, un métier ? Quel métier ?. 2021. hal-03337413

HAL Id: hal-03337413

<https://hal-normandie-univ.archives-ouvertes.fr/hal-03337413>

Preprint submitted on 7 Sep 2021

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives | 4.0
International License

Chercheur, un métier ? Quel métier ?

Xavier Sauvage

La recherche scientifique est devenue un enjeu central de nos sociétés. Les défis majeurs que nous devons relever comme la lutte contre les pandémies ou le réchauffement climatique, mettent plus que jamais en avant le travail des chercheurs. Paradoxalement, ce métier est méconnu. Chercheur ? Un métier ? Quel métier ? Cet ouvrage propose au lecteur d'aller au-delà des clichés pour mieux comprendre le travail des scientifiques et les évolutions du monde dans lequel ils évoluent. A travers une succession de courts chapitres, les principaux sujets sont abordés : comment devenir chercheur ? Qu'est-ce qu'un laboratoire ? Quel travail au quotidien ? Quel est la différence entre une publication scientifique et un brevet d'invention ? Quels sont les moyens financiers donnés aux chercheurs ? Comment se décident les politiques de recherche ? Comment naissent les idées ?

Septembre 2021



Sommaire

Préambule

Devenir chercheur[se]

Le laboratoire

Le quotidien synonyme de diversité

La liberté

L'évaluation permanente

Les publications scientifiques

Les brevets d'invention

La vie des communautés scientifiques

Science et politique, chercheurs et société

Les moyens financiers

Naissance et réalisation des idées

Glossaire

Références

A propos de l'auteur

Préambule

« Papa, c'est quoi ton métier ? », « chercheur », « mais c'est quoi un chercheur ? ». La France compte plus de 250000 chercheurs [1, 17], environ 1% de la population active, quasiment autant que de médecins ou de pompiers. J'imagine donc que nous avons été nombreux à nous retrouver face à cette question posée par une âme innocente. Dans ces moments-là, on se dit que tout serait beaucoup plus simple si on était boulanger, professeur d'anglais, inspecteur de police, apiculteur, banquier,... ces métiers sont peut-être tout aussi méconnus dans leurs détails, mais nous en avons tous une représentation simple (et caricaturale) depuis le plus jeune âge. Pouvons-nous en dire autant des biologistes, des biochimistes, des microbiologistes, des généticiens, des virologues, des cancérologues, des zoologistes, des ethnologues, des entomologistes, des ornithologues, des botanistes, des archéologues, des minéralogues, des vulcanologues, des sismologues, des géologues, des historiens, des paléontologues, des physiciens, des astrophysiciens, des cosmologistes, des météorologistes, des mathématiciens, des statisticiens, des informaticiens, des chimistes, des linguistes, des philosophes, des sociologues, des économistes, des politologues, des juristes, des pédagogues, ... ?

« Mais c'est quoi un chercheur ? » - La réponse formulée n'est souvent qu'une demie vérité, on ne parle pas de notre métier mais de notre domaine de recherche : « j'étudie les comètes », « j'essaie de mettre au point de nouveaux médicaments », « j'étudie les plantes vivants dans les océans », « j'étudie la vie préhistorique », « je développe de nouveaux matériaux pour les cellules photovoltaïques », « je cherche à comprendre comment fonctionne notre mémoire »... A ce stade, certains ne peuvent se contenter d'une simple

phrase car ils savent qu'elle apportera plus de questions que de réponses : « j'étudie les flux financiers », « j'étudie les phénomènes catalytiques », « je développe des algorithmes mathématiques », « j'analyse la haute atmosphère », et ils passeront finalement plus de temps à expliquer le contexte de leur recherche que leur travail lui-même. La curiosité initiale ne sera donc pas pleinement satisfaite.

« Et vous ? quelle est votre profession ? » - « Chercheur ! » - « ... ah !.... C'est intéressant... et dans quel domaine ? ». C'est la différence entre un adulte et un enfant : l'adulte n'ose pas avouer qu'il ne sait pas ce qu'est un chercheur. Il restreint de lui-même sa question. Et contrairement à l'enfant, à l'évocation du mot « chercheur », le ton de la voix peut changer et traduire un mélange de curiosité et d'inquiétude. Le mot « savant » est désuet, mais le chercheur a toujours cette image. La réponse sera-t-elle compréhensible ? Pour qu'elle le soit, bien sûr, on parlera encore du domaine de nos recherches. On passera beaucoup de temps sur le contexte général en n'oubliant surtout pas d'expliquer l'intérêt pratique. L'homme moderne n'est généralement pas avide de connaissances, c'est l'innovation qui l'intéresse.

Comme la question est récurrente, tous les chercheurs ont leurs petites phrases toutes prêtes, leurs anecdotes et leurs exemples pour parler de leur métier. « Je suis chercheur au CNRS depuis presque 20ans. Je suis physicien. J'étudie les matériaux, les relations entre l'organisation des atomes et les propriétés, principalement leurs propriétés mécaniques. Je travaille sur des microscopes qui grossissent plusieurs millions de fois et qui permettent de voir ces atomes. C'est une des spécialités de mon laboratoire où nous développons aussi ces instruments. » Lorsque je fais visiter mon laboratoire, l'histoire est la même. Montrer les lieux et les instruments de la recherche est important, le discours devient plus concret mais la question reste globalement sans réponse « c'est quoi un[e] chercheur[se] ? », « Comment occupe-t-il [elle] ses journées ? », « Comment s'organise son travail ? ». On peut proposer

quelques généralités : « Le [la] chercheur[se] observe, pose des questions, essaie d’y répondre, émet des hypothèses, collecte des données, fait des mesures, classifie, compare, élabore des expériences, établit des modèles et des théories, raisonne, fait des prédictions, vérifie ses hypothèses. Il [elle] schématise ses observations et le produit de son raisonnement, communique, partage, écrit des publications et des rapports. Il [elle] s’informe continuellement, maintient son niveau de connaissance, écrit et soumet des projets pour financer ses travaux. ». Mais de nombreuses questions restent entières : Comment devient-on chercheur ? Comment choisit-on son domaine de recherche ? Comment obtient-on les financements nécessaires ? Comment fonctionne un laboratoire de recherche ? Qu’est-ce qu’une découverte, comment est-elle communiquée, et à qui ? Comment s’organisent les communautés scientifiques ? Quelle différence entre un article scientifique et un brevet d’invention ? Quand et comment sont évalués les chercheurs ? Comment naissent les idées ? Tous ces aspects du métier de chercheur sont abordés dans les pages suivantes.

Devenir chercheur[se]

Certains métiers sont plus attachés que d'autres à l'idée d'une vocation qui serait née dans l'enfance. Il s'agit de métiers portés par une passion comme cuisinier, musicien, sportif de haut niveau, médecin, enseignant, pilote,... la recherche ne peut pas être expérimentée dès le plus jeune âge, contrairement à l'école, la cuisine, la musique, le sport, la médecine,... mais la curiosité et l'appétit de connaissances étaient pour tous indubitablement les plus forts dans notre enfance. Nous étions donc probablement tous prédisposés à être chercheur ! Lors de l'adolescence, les rapports au monde changent et assouvir une curiosité personnelle n'est plus une priorité. Je l'ai vu sur mes enfants et ils ne semblent pas faire exception. La curiosité ne disparaît pas, elle renaît ensuite, plus ou moins prononcée en fonction des individus. Mais être chercheur, ce n'est pas simplement être curieux, c'est aussi remettre en cause le savoir existant, des hypothèses et des théories. L'adolescence, avec ses moments de révolte, n'est donc pas un temps perdu pour le futur chercheur car l'esprit de contradiction est une autre qualité indispensable.

Le chemin à suivre ensuite n'est pas rigoureusement identique pour toutes les disciplines, mais il passe nécessairement par le diplôme de docteur [43].

Le doctorat, un apprentissage de 3 ans

Lorsque je fais visiter mon laboratoire à des lycéens, ils ont généralement deux préoccupations majeures au sujet du métier de chercheur : « Combien d'années d'étude après le BAC faut-il envisager ? », « Quel est le salaire ? » En deux chiffres tout est dit : 8 ans et environ 3000 euros (mon salaire net mensuel avec 15ans d'ancienneté). Souvent, le premier

chiffre fait peur et le second rassure. J'ajoute toujours deux éléments importants. Il y n'y a pas que des chercheurs dans les laboratoires de recherche, et comme nous le verrons plus loin, s'il n'y avait qu'eux ça ne pourrait pas fonctionner. Il est donc possible de travailler dans le milieu de la recherche scientifique sans faire 8 années d'étude post-BAC. Mais il faut aussi faire le compte de ce que représentent ces huit années. Il s'agit d'un Master (BAC+5), suivi d'un doctorat en 3 ans. C'est donc sensiblement plus que pour être professeur des écoles (master, BAC+5) mais ces trois années supplémentaires ne sont pas des années d'étude comme les autres. Elles s'apparentent pleinement à une formation par apprentissage. L'objectif principal est de se former au métier de chercheur mais le doctorant est aussi acteur à part entière. Il développe de nouvelles méthodologies, collecte de nouvelles données, réalise de nouvelles expériences... afin de produire lui-même de la connaissance. C'est pourquoi cette formation est généralement rémunérée (dans 75% des cas [2]). Il existe des disparités en fonction des disciplines. Dans mon laboratoire de physique par exemple, tous les doctorants bénéficient d'un financement. Celui-ci est en principe acquis pour trois années, cependant il faut reconnaître qu'en France, le doctorat est obtenu en moyenne en quatre ans, avec là aussi de grandes disparités entre disciplines [2]. Et si ces longues études peuvent inquiéter les plus jeunes, nombreux sont finalement les volontaires puisque dans le monde environ 3 millions de personnes sont inscrites en doctorat [6]. Les Etats-Unis avec un chiffre avoisinant les 400 000 doctorants est le pays qui en compte le plus grand nombre, juste devant la Chine (350 000) et loin devant la France (environ 70 000) [6]. Notons cependant que, rapporté à la population, la France est proche des Etats-Unis avec un peu plus d'un doctorant pour mille habitants, soit quatre fois plus qu'en Chine. Il est possible de préparer un doctorat dans tous les domaines. Celui regroupant la physique, la chimie, la biologie, les mathématiques, l'informatique et les sciences de l'ingénieur mobilise 47% des futurs docteurs ; les arts, les lettres, les langues et



les sciences humaines et sociales 33% ; le droit et les sciences politiques 12%, l'économie 6%, la santé et la médecine 2%, les sciences et techniques des activités physiques et sportive 1% (chiffres de l'année 2017 [6]).

Le passage du master au doctorat, pourrait être vu comme le passage du banc d'amphithéâtre au laboratoire de recherche. C'est un peu caricatural, cette transition s'opère en effet en master, lors d'un stage qui est l'occasion pour les étudiants de mettre un premier pied dans le milieu de la recherche. Pour certains, ce sera une révélation et le commencement d'un projet qui se prolongera dans le même environnement jusqu'à l'obtention du doctorat (j'ai fait partie de ceux-là). Pour d'autres, cette transition est l'occasion d'effectuer une mobilité vers un autre laboratoire, souvent dans une autre université, y compris à l'international. En 2013, ils ont été 7000 à quitter la France pour préparer leur doctorat à l'étranger, principalement au Canada, en Suisse, au Royaume Uni, aux Etats-Unis et en Belgique [6]. Cette mobilité est à double sens et les laboratoires de recherche français recrutent aujourd'hui en moyenne 40% de doctorants étrangers (dont certains ont fait tout ou partie de leurs études en France). Ils viennent principalement de Chine, Italie, Tunisie, Algérie, Liban et Maroc. La France est ainsi le 3^{ème} pays pour l'accueil de doctorants étrangers (derrière les Etats-Unis et la Grande Bretagne) [6]. Dans mon laboratoire qui compte une cinquantaine de doctorant, nous avons typiquement une dizaine de nationalités représentées. Ce mélange d'étudiants issus de différents systèmes éducatifs est une indéniable richesse, et c'est aussi un réseau international important. Par ailleurs, cette spécificité fait naturellement de l'anglais une langue de prédilection dans nos échanges et du laboratoire un univers au minimum bilingue.

Le doctorat, un défi

Pour obtenir son diplôme de doctorat, il faut soutenir sa thèse. Il s'agit de l'aboutissement du travail effectué durant plusieurs années sur un projet novateur. Ce travail doit avoir permis l'élaboration de nouvelles connaissances par la mise en place d'outils, de méthodes ou d'analyses. Lorsqu'on choisit le sujet de cette thèse, on ne réalise pas nécessairement à quel point celui-ci sera déterminant dans notre future carrière scientifique. En fonction des disciplines, le sujet de thèse est soit discuté avec le directeur de thèse, soit simplement proposé par lui. Ainsi, dès le début, ce directeur de thèse qui accompagne le doctorant jusqu'à la soutenance, joue un rôle central. En quelques années, son rôle ne va pas tant être de transmettre son savoir que d'apprendre au chercheur en devenir, l'indépendance. A la fois une indépendance pour la mise en œuvre des outils de la recherche (méthodes et protocoles expérimentaux, outils numériques, fouilles de données, modèles théoriques...) et une indépendance intellectuelle (émettre des hypothèses, fournir des analyses, proposer une démarche...). Le directeur de thèse n'est pas le seul interlocuteur durant le doctorat, il peut associer un collègue à l'encadrement. Choisir un jeune chercheur pour ce rôle permet de lui transmettre cette expérience de l'encadrement.

Les relations entre un doctorant et son directeur de thèse se caractérisent par un mélange de respect mutuel et de défis permanent. Elles évoluent au cours du temps et peuvent atteindre ce qu'Amélie Nothomb décrit assez bien dans « Les combustibles » [18]:

« Le professeur : Non. Je pars du principe que tout assistant considère son maître comme un imbécile. Alors, devant vous, je ne vois pas ce que j'ai à perdre.

Daniel : Vous me stupéfiez ! Il m'avait toujours semblé que c'était le contraire : que tout professeur considérait son assistant comme un imbécile.

Le professeur : Mais c'est aussi la vérité. Le tiers exclu n'est pas valable en psychologie, comme vous le savez. Et c'est l'un des charmes des relations entre professeur et assistant que ce mépris réciproque déguisé en respect admiratif. »

Les doctorants passent généralement l'essentiel de leur temps dans un laboratoire, sur le terrain et pour certains, en entreprise. Ils sont inscrits dans un établissement d'enseignement supérieur et rattachés à une école doctorale qui leurs propose des formations spécifiques. L'environnement est donc large, les échanges variés et c'est cette richesse qui construit pleinement le futur chercheur.

Mais, pour le doctorant débutant, le déficit est considérable. Durant les cinq années qui l'ont conduit au master (BAC+5), son enseignement a été principalement basé sur des connaissances acquises qu'il n'avait pas nécessairement à remettre en question. Il a effectué des exercices pour lesquels il n'a pas toujours trouvé la solution mais pour lesquels il savait que la solution existait. A partir de maintenant les règles du jeu changent complètement, le problème n'a peut-être pas de solution, les hypothèses ne sont peut-être pas bonnes, le chemin pour parvenir au but est inconnu. Cette situation est déroutante pour une majorité d'étudiants. Il existe des ouvrages qui peuvent aider à trouver ses repères [3a, 3b], mais comme l'écrit justement M.A. Schwartz, l'important lors du doctorat est d'accepter sa « stupidité » [4]. Il s'agit d'apprendre l'humilité, d'accepter les limites de sa connaissance, de reconnaître ses erreurs, et de comprendre que chaque étape nous apprend quelque chose. La persévérance est donc aussi une qualité essentielle pour mener à bien son projet jusqu'à la soutenance.

Le doctorat, un manuscrit et une soutenance

Pour conclure ses premières années de recherche, le doctorant rédige un manuscrit dans lequel il décrit l'ensemble de ses travaux. Il y a bien entendu des différences d'usage d'une discipline à l'autre, sur le fond, la forme et la longueur. Un physicien rédige en moyenne un manuscrit d'environ 200 pages, un historien fera beaucoup plus. Quoiqu'il en soit, la structure reprend toujours quelques grands principes : le travail est d'abord positionné dans son contexte, et en particulier par rapport aux connaissances déjà existantes. Puis le problème est posé, les questions et les hypothèses correspondantes sont décrites. Lorsque des données sont collectées ou traitées, lorsque des calculs sont effectués, les méthodes sont détaillées. Ensuite, les résultats sont décrits, discutés, analysés. Le manuscrit se termine par une conclusion et éventuellement des perspectives. Le directeur de thèse et parfois les autres personnes ayant aidé à encadrer le travail sont d'une aide précieuse, ils conseillent sur l'organisation, la présentation, les interprétations et les analyses. La rédaction du manuscrit de thèse est une étape importante qui dure plusieurs mois, parfois une année entière. Mon directeur de thèse m'a souvent cité Nicolas Boileau « Ce que l'on conçoit bien s'énonce clairement, Et les mots pour le dire arrivent aisément ». Pourtant la rédaction est pour beaucoup une épreuve, probablement parce qu'il est nécessaire de se convaincre soit même avant de convaincre les autres.

A son issue, le directeur de thèse, choisit le jury qui évaluera le travail et devant lequel le doctorant devra soutenir sa thèse, c'est-à-dire défendre son travail. Un jury est un panel d'experts reconnus dans le domaine. Il existe des règles strictes pour leur constitution. Il faut en particulier qu'au moins la moitié des membres soient extérieurs à l'établissement délivrant le diplôme. C'est une garantie d'indépendance. Le manuscrit est envoyé plusieurs semaines avant la soutenance aux membres du jury. Au moins deux d'entre eux sont désignés



« rapporteurs », c'est-à-dire qu'ils devront rédiger un rapport écrit sur le travail présenté. Ils peuvent y émettre des critiques, des remarques, et ils doivent émettre un avis autorisant ou non la soutenance. L'attente de ces rapports est angoissante pour les doctorants. Pourtant le directeur de thèse s'assure généralement de la qualité du manuscrit avant expédition et la soutenance est très souvent recommandée. Mais pour le doctorant il s'agit d'un jugement porté sur son travail qui représente l'aboutissement de trois années de travail. Il sait que ses méthodes, ses interprétations, ses conclusions vont être remises en question et qu'il devra s'en défendre.

C'est la dernière étape, la soutenance. Elle a lieu en présence du jury et elle est généralement publique. C'est un moment important dans la vie des laboratoires, à la fois une animation scientifique et un rituel de départ. Au-delà des collègues, souvent sont invités aussi des amis, la famille. Parmi ceux-là, beaucoup ont essayé de comprendre ce qui occupait quotidiennement ce doctorant. Bien sûr, il leur a expliqué, ils savent dans quel domaine il effectue son travail mais ils sont curieux et veulent découvrir ce qui leur reste caché. Même s'ils ne peuvent pas comprendre, car une soutenance s'adresse à des spécialistes, ils sont fiers de partager ces instants. C'est un moment important, le dernier diplôme, la dernière étape de la vie étudiante. Les usages et coutumes varient un peu d'une discipline à l'autre, mais il y a généralement deux temps à la soutenance. Le doctorant présente d'abord oralement son travail et ses conclusions. Dans certaines communautés, comme dans la mienne en physique, on utilise de nombreux supports visuels (diaporama) pour montrer ses résultats avec un profond souci de pédagogie. Dans un deuxième temps, les membres du jury s'expriment sur le travail. Ils peuvent émettre des compliments, mais il s'agit surtout de questions posées avec un esprit critique sur la méthodologie et les interprétations. Une discussion se met ainsi en place avec le candidat qui doit défendre son travail, ses idées et ses conclusions. La

combativité est donc aussi une qualité importante pour mener à bien un doctorat. Une soutenance de thèse dure plusieurs heures. A son issue, le jury délibère à huis-clos, décide de l'attribution du diplôme, rédige un rapport de soutenance et en fait une restitution publique. Durant ces vingt dernières années, j'ai assisté en moyenne à une douzaine de soutenances par an. J'ai toujours vu des doctorants infiniment heureux à l'écoute du verdict. Quand la soutenance est autorisée et se déroule normalement, le diplôme est attribué. C'est l'occasion d'une petite fête dans les laboratoires, le traditionnel « pot de thèse », regroupant les collègues et le public qui auront patiemment écouté, puis attendu la délibération.

Un doctorat, et après ?

Il y aurait 200 000 docteurs en activité en France et 14 000 nouveaux diplômés chaque année [5, 7]. Presque tous ont probablement débuté leur doctorat en espérant faire carrière dans la recherche, qu'elle soit académique ou industrielle. Sur le marché du travail, ils sont répartis à part égale entre le monde industriel et le monde académique mais tous ne sont pas chercheurs [8]. L'orientation entre ces deux secteurs d'activité s'opère juste après la thèse et elle est très souvent définitive. Il est en effet plutôt rare en France d'intégrer le monde universitaire après avoir occupé un emploi dans le secteur privé et vice-versa. Pour un jeune docteur qui souhaite intégrer la recherche académique, la cible sera un poste de chargé de recherche dans un organisme tel le CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique), l'INSERM (Institut national de la santé et de la recherche médicale), l'INRIA (Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique – anciennement informatique et automatique), le CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives), l'INRAE (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement), l'IFREMER (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer), le CNES (Centre



National D'études Spatiales), l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement), l'ONERA (l'Office national d'études et de recherches aérospatiales), l'INED (l'Institut National d'études démographiques)... ou bien un poste de maître de conférence dans une Université ou une grande école. Dans le second cas, il ne consacrera que la moitié de son temps à la recherche, l'autre étant dévolue à l'enseignement auprès des étudiants. Les opportunités sont aussi nombreuses à l'étranger. Mais pour s'établir sur un poste permanent, il devra bien souvent commencer par élargir son expérience à travers une mission post-doctorale (communément appelée « post-doctorat » ou « post-doc »). Il s'agit en fait d'un emploi sur une mission de recherche à durée déterminée. Tous les laboratoires du monde recrutent ces « intérimaires de la science » sur des projets ponctuels. Les jeunes docteurs choisissent généralement un autre laboratoire et n'hésitent pas à saisir les opportunités offertes à l'étranger. C'est une étape importante, car s'il s'agit avant tout d'élargir ses compétences scientifiques, mais c'est aussi un détachement nécessaire. En effet, le doctorant a été en étroite relation avec son directeur de thèse durant trois années, il lui faut maintenant poursuivre le chemin vers l'indépendance. Après un ou plusieurs contrats post-doctoraux, le jeune chercheur fort de son réseau et de son expérience sera finalement bien armé pour candidater aux postes dans la recherche académique. Certains enchaînent durant de nombreuses années des « post-docs », parfois par choix, mais souvent par manque d'opportunité. Il s'agit dans tous les cas d'une situation précaire, qui ne satisfait les ambitions que d'un jeune chercheur sur deux en moyenne [29].

Le laboratoire

La définition du mot « Laboratoire » dans le dictionnaire Larousse de la langue française commence de la manière suivante : « *nom masculin, du latin laborare – travailler* ». Il est donc étonnant que ce nom ne soit resté que pour définir des lieux où l'on effectue des analyses et des recherches (suite de la définition « *Local disposé pour faire des recherches scientifiques, des analyses biologiques, des travaux photographiques, des essais industriels, etc. (Abréviation familière : labo.)* »), et pour les activités culinaires (*deuxième partie de la définition « Local aménagé pour les préparations en charcuterie et en confiserie. »*). Si la cuisine est un domaine où l'expérimentation, la créativité et l'imagination sont importants, alors elle partage des points communs avec la recherche scientifique. Pour une autre représentation du laboratoire, vous pouvez vous aider d'internet. Tapez le mot « laboratoire » dans votre moteur de recherche favori et consultez le résultat des images trouvées. Vous verrez surtout du blanc et un peu de bleu, beaucoup d'éprouvettes et de microscopes optiques, des individus en blouse blanche, des laboratoires de chimie et de biologie principalement. Ces images correspondent parfaitement aux clichés et aux représentations communes que nous avons d'un laboratoire de recherche. On imagine bien pourtant qu'un laboratoire de mathématique, d'histoire, d'architecture, d'économie, de sciences sociales, etc... ne ressemble pas du tout à cela. Les chercheurs travaillent sur des données déjà existantes ou non. Celles qu'ils produisent sont issues d'activités dans leur laboratoire ou de missions sur le terrain. Leurs lieux de travail peuvent donc être multiples : une paillasse, un bureau, un chantier de fouilles, un atelier, des archives, etc... La France compte environ 3000 entités (laboratoires) de recherche [9]. Généralement chaque chercheur y a son bureau, mais il s'agit avant tout d'espaces de vie et

d'interactions privilégiés. Dans mon laboratoire, comme dans beaucoup d'autres, la salle de convivialité est un lieu de discussions et d'échanges important. Entre chercheurs ou enseignants-chercheurs, bien entendu, mais au-delà, avec les doctorants, les techniciens, les ingénieurs, les administratifs aussi. Car un laboratoire de recherche n'est pas constitué que de chercheurs, surtout dans les sciences expérimentales où les instruments et les techniques utilisés nécessitent une grande spécialisation technique. Ainsi nombreux sont ceux qui contribuent à la recherche, ils y sont absolument indispensables mais ne sont pas chercheurs. Le CNRS par exemple compte plus de techniciens et ingénieurs (13500) que de chercheurs permanents (11000) [11]. Pour ajouter à cette diversité, les entités de recherche sont souvent rattachées à plusieurs établissements ou instituts. Mon laboratoire par exemple possède trois tutelles : le CNRS, l'Université Rouen Normandie et l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Rouen. C'est l'union des forces, des moyens et des infrastructures mais parfois au prix d'une complexité de gestion, chaque établissement n'ayant pas nécessairement les mêmes règles. Dans ce type de structure, seul le fonctionnement et les équipements sont gérés de manière autonome. Le pilotage est assuré par le directeur d'unité, appuyé généralement de son équipe de direction, d'un conseil de laboratoire et d'un conseil scientifique.

Un laboratoire permet aux chercheurs de partager des infrastructures mais aussi de collaborer étroitement en unissant leurs compétences et leurs idées. Et lorsqu'ils travaillent sur des projets différents, ils contribuent à une vie scientifique commune. Il s'agit d'échanges sur les méthodes, de partage d'informations, de discussions sur les interprétations. Souvent tout cela débute de manière presque informelle et naturelle autour d'un café. C'est néanmoins un processus indispensable au développement des idées, des connaissances et au cheminement vers de nouvelles découvertes. Mais il serait trompeur de penser que celles-ci sont toujours



faites dans les laboratoires, ou que tous les problèmes y sont résolus. Il y a bien sûr les missions de terrain, les échanges avec des chercheurs rencontrés dans d'autres instituts ou lors de conférences scientifiques. Et peut-être plus important encore, il y a ces temps hors du laboratoire. Le problème qui nous a paru sans solution toute la journée se trouvera finalement presque résolu sous la douche. On en sortira précipitamment, impatient de développer ces nouvelles idées ou bien simplement pour prendre quelques notes en ayant hâte au lendemain.

Les laboratoires sont les lieux où se font les carrières des chercheurs. Les médias aiment à mettre en avant des personnalités et pourraient nous faire oublier que les succès en recherche sont indissociables de l'environnement humain et matériel, de l'équipe de collègues, du laboratoire. Il y a des rivalités entre chercheurs, y compris au sein d'un même laboratoire. Pour comprendre la nature de ces rivalités, il faut comprendre que la motivation principale d'un chercheur est la reconnaissance de ses travaux et de son expertise par ses pairs (les autres chercheurs de son domaine). Comme un artiste qui est l'auteur d'une œuvre, un chercheur a la paternité d'une découverte. Peu importe la grandeur de l'œuvre ou de la découverte, il y a un lien de filiation très fort que personne ne peut prétendre détruire. Et peu importe son domaine de spécialisation, un chercheur souhaitera toujours être reconnu comme un expert, à l'échelle de son laboratoire, de son université, de son pays, du monde entier. Une autre source de rivalités entre chercheurs provient de la répartition des moyens financiers ou matériels dans le laboratoire. Un chercheur est souvent convaincu que les travaux qu'il entreprend sont d'une importance au moins égale sinon supérieure à ceux entrepris par ses collègues et peut donc ne pas admettre certains arbitrages. Ceux-ci découlent d'une politique scientifique, discutée en principe au sein d'un conseil scientifique. Les choix les plus déterminants portent sur la politique d'équipement et les recrutements. En



effet, lorsque les établissements d'enseignement supérieurs comme les universités, attribuent des postes de maître de conférences ou de professeur aux laboratoires, elles leurs confient généralement la définition du profil de spécialisation recherche.

Les établissements d'enseignement supérieur et leurs laboratoires de recherche sont audités et expertisés tous les 5 ans par le Haut Conseil de l'Évaluation de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur (Hcéres). C'est une étape importante pour la réputation d'un laboratoire, mais nous aborderons l'évaluation de la recherche un peu plus loin.



Le quotidien synonyme de diversité

Nous sommes en 2008, je suis à Tokyo avec deux collègues, démonstration chez un constructeur pour la sélection d'un nouveau microscope électronique pour le laboratoire, budget deux millions d'euros. Quelques mois avant nous étions aux Pays-Bas chez un concurrent, même motif. Nous sommes à un tournant technologique, la résolution atomique a été atteinte sur de tels microscopes 30 années auparavant, mais c'est le début de l'implémentation des correcteurs d'aberrations sphériques des lentilles électromagnétiques ouvrant des perspectives extraordinaires. Le choix de la configuration complète est complexe, un peu comme si pour une voiture on était libre de choisir le moteur, le châssis, la transmission, le système de freinage, les roues et avec comme objectif non pas qu'elle roule mais de gagner des courses. La responsabilité est grande et si en entrant au CNRS six années plus tôt, je pensais connaître le métier de chercheur, je n'avais pas encore pris conscience de son extrême diversité. Il nous restait encore à bien comprendre les règles des marchés publics et à négocier pour obtenir un maximum d'options avec notre budget. Et lorsqu'un an plus tard l'instrument sera enfin installé (c'est le japonais qui a remporté le marché), il nous faudrait encore nous former durant plusieurs semaines pour maîtriser cette machine de trois mètres de haut connectée à quatre ordinateurs.

Le chercheur est un savant (celui qui sait) car il passe son temps à s'instruire. Il faut maîtriser les techniques, expérimentales ou numériques, suivre leurs évolutions. Il faut mettre à jour ses connaissances, s'informer des dernières découvertes, c'est la veille scientifique, elle s'opère en lisant des articles publiés par d'autres chercheurs ou en découvrant leurs travaux lors de conférences internationales. Et tout simplement, il est parfois nécessaire de revenir



aux fondements, dans des livres ou des articles anciens, car certains projets nous poussent hors de notre domaine de spécialisation, et il est ainsi souvent nécessaire d'élargir son savoir. Mais accumuler de la connaissance sans la transmettre est un non-sens. Le statut d'enseignant-chercheur (maîtres de conférences et professeurs) est ainsi naturellement apparu car il permet de partager son temps entre activités de recherche et d'enseignement. L'équilibre entre ces deux missions est néanmoins parfois difficile à trouver, surtout lorsque les tâches administratives liées à l'enseignement deviennent trop nombreuses. Les chercheurs (chargés de recherche ou directeurs de recherche), comme moi, n'ont pas à gérer cette complexité mais il serait pourtant inexact de penser qu'ils ne participent pas à la transmission des connaissances. Ils le font à travers leurs relations avec les étudiants stagiaires, les doctorants et les post-doctorants qu'ils encadrent. Bien sûr, la relation est différente, ce n'est pas la traditionnelle posture de l'élève face à l'enseignant, pas d'amphithéâtre ni de tableau, pas d'horaires spécifiques ni de volumes horaires définis. Une discussion ou des questions, au détour d'un couloir, lors d'une pause-café ou lors d'une expérience, sont autant d'occasions mises à profit. Pas d'évaluation pour valider les acquis, juste la motivation de porter ces chercheurs en devenir au plus haut. C'est l'engagement moral que nous prenons lorsque nous les recrutons dans notre équipe.

Le recrutement de stagiaires, doctorants et post-doctorants est aussi une activité importante du chercheur. En fonction des projets, plusieurs fois par an la démarche est la même, diffusion d'annonces, collecte des candidatures, entretiens et sélections. Dans la diversité de mon métier, il s'agit probablement de l'activité que je trouve la plus difficile. Lorsqu'on offre une opportunité, comment déterminer quel(le) candidat(e) pourra à la fois nous apporter le plus tout en tirant le meilleur profit pour elle-même ou lui-même ? Il y a bien sûr parfois des erreurs et des espoirs déçus. Moins fréquemment, nous sommes aussi sollicités pour



participer aux comités de sélection pour des postes d'enseignants-chercheurs, d'ingénieurs ou techniciens. Dans les universités, ils sont constitués pour moitié de locaux et d'extérieurs. Ce type de comité se réunit généralement deux fois. Une première fois pour sélectionner les candidats qui seront auditionnés, une seconde pour procéder aux auditions et délibérer de la sélection finale. La responsabilité est grande, l'enjeu n'est autre qu'une partie de l'avenir d'une thématique scientifique du laboratoire.

Lorsqu'on imagine un chercheur en activité, dans son environnement quotidien, on se le représente en blouse blanche réalisant une expérience dans son laboratoire, ou devant un tableau noir écrivant de complexes équations, ou à son bureau entouré de piles d'archives, ou sur le terrain au milieu d'un champ de fouilles archéologiques, ou faisant des prélèvements en milieu naturel, ou devant un télescope les yeux dans les étoiles, ... Ces activités sont le cœur de la production de nouvelles connaissances. Elles reposent sur des hypothèses préalablement formulées et leur objectif est de répondre à un questionnement. Elles incluent des développements méthodologiques, des traitements de données, la résolution de problèmes et la mise au point de nouvelles théories. Elles sont « le présent » du chercheur mais son temps est aussi partagé avec la gestion du « passé » et du « futur » : il communique sur ses activités récemment achevées et prépare ses projets futurs.

Préparer le futur, c'est par exemple mettre en place des collaborations avec d'autres équipes, en échangeant des idées et des informations. L'association de moyens, de compétences et d'expertises complémentaires permettra de plus grandes avancées. C'est également répondre à des appels à projets pour obtenir des financements pour de futures activités. Ces moyens permettront l'acquisition de nouveaux équipements ou le financement de chercheurs (doctorants ou post-doctorants), nous y reviendrons. Tout ce travail s'appuie sur une veille scientifique permanente. Il s'agit de suivre l'actualité de sa discipline, en particulier à travers

la lecture d'articles scientifiques publiés par d'autres équipes à travers le monde. De tels projets, une fois enclenchés, nécessitent une coordination, une gestion de leurs budgets et la rédaction régulière de rapports d'avancement. Ces tâches administratives reviennent au chercheur et s'ajoutent à d'autres comme l'encadrement d'une équipe, l'animation de la vie du laboratoire, la participation à des conseils, etc...

Dans la gestion du « passé », la communication est essentielle, car elle donne sens au métier de chercheur. Une découverte non partagée est inutile, éphémère, presque irréaliste. Elle prend sa valeur lorsqu'elle est soumise à la controverse et prend sens lorsque d'autres se l'approprient. La communication se place dans un environnement international. La langue anglaise y est reine, bien entendu. Les publications scientifiques occupent une large place, les congrès internationaux ou séminaires sont aussi des opportunités importantes. Une bonne communication nécessite une préparation minutieuse. Ainsi, la rédaction d'articles ou la réalisation de support pour une conférence prennent une part non négligeable de l'emploi du temps du chercheur, nous y reviendrons aussi. Par ailleurs, les conférences, tout comme la participation à des projets nationaux ou internationaux, nous amènent à voyager régulièrement. L'organisation de ces déplacements nous est entièrement dévolue et régulièrement, le chercheur peut donc devenir agent de voyage, cherchant les meilleures solutions de transport et d'hébergement.

La communication vers « le grand public », dite vulgarisation scientifique, est aussi importante. Elle est réalisée dans des conditions très différentes et s'adresse généralement à un public local dans le cadre d'événements spécifiques comme la « fête de la science » ou « l'université de tous les savoirs ». Il s'agit des exercices de communication les plus difficiles pour les chercheurs. L'exercice est nécessairement réducteur, il faut simplifier pour être compréhensible, sans détourner le sens et choisir les bons mots, sans trahir le propos. Les



communautés scientifiques développent un vocabulaire propre à leur discipline et il est d'une très grande précision. Celui-ci est essentiel à la communication entre chercheurs et son appropriation en début de carrière, lors du doctorat, est une étape importante. La plus grande difficulté, c'est qu'il s'agit souvent de mots détournés, ainsi la germination n'a pas le même sens pour le jardinier et le chimiste, la dislocation n'a pas le même sens pour le physicien et le militaire, etc.... Ainsi, au-delà des concepts élémentaires qui ne sont pas nécessairement acquis par l'auditoire, la communication vers le grand public est d'abord un défi sur le choix des mots.

Le chercheur est au front de la connaissance dans son domaine généralement très pointu. C'est donc un hyper-spécialiste mais ce qui pourrait être un enfermement est parfaitement rééquilibré par des missions d'une extrême diversité. Le champ des possibles est d'ailleurs si vaste que nous ne l'occupons pas tous de la même manière. Ainsi, certains s'expriment pleinement dans la réalisation effective de la recherche, alors que d'autres privilégieront l'encadrement et le management de projets avec une grosse équipe de doctorants et post-doctorants.

La liberté

Le 20 octobre 2020, à Bonn en Allemagne, la conférence inter-ministérielle sur la recherche européenne s'est achevée par une déclaration commune sur la liberté de la recherche scientifique [31]. Elle commence par ces mots:

“The freedom of scientific research is a universal right and public good. It is a core principle of the European Union and as such anchored in the Charter of Fundamental Rights of the EU. It is also protected by the United Nation’s International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights ratified by more than 170 states. It has constitutional and legal status in most EU Member States. The freedom of scientific research applies to all type of research organisations and scholarship and to all academic disciplines. Freedom of thought and intellectual creativity require also freedom and security of individuals. Freedom of scientific research stands for openness, exchange, excellence, internationalism, diversity, equality, integrity, curiosity, responsibility and reflexivity. It is therefore a pillar of any democracy.”

Et se termine ainsi [31]:

“ We see Europe as a guardian of freedom, equality and the rule of law ensuring democracy. We understand the European Research Area as the safeguard of freedom of scientific research, as the precondition for a dynamic research and innovation landscape which strives for the advancement of knowledge and the benefit of society.”

Citoyen européen, français, j'exerce mon métier avec une très grande liberté. C'est une chance incroyable que seul un institut public de recherche comme le CNRS au sein d'une

démocratie peut offrir. La liberté de penser, de remettre en question est essentielle pour le chercheur, elle permet la créativité. Cette liberté se retrouve à trois niveaux : dans l'organisation du travail, le choix des collaborateurs et le choix des thématiques. Dans le milieu industriel, cette liberté existe aussi dans une certaine mesure, mais son champ d'application est généralement réduit aux limites d'un programme de recherche défini par la stratégie commerciale de l'entreprise.

La diversité des missions et les nombreuses facettes du métier de chercheur nécessitent une bonne organisation et une flexibilité importante. Le travail est souvent fractionné, et même encore d'avantage pour les enseignants chercheurs qui ajoutent à leur emploi du temps l'enseignement. Mais cette variété est une chance, car il existe rarement deux journées qui se ressemblent dans une même semaine et il n'existe parfois pas de « journée type » ou de « semaines type » du chercheur car nous avons pleine liberté pour l'organisation de notre travail.

Lorsque nous sommes libres de choisir nos collaborateurs, comme dans la recherche académique, nos choix sont d'abord guidés par des critères rationnels. La proximité géographique est importante et notre premier réseau est bien entendu formé de nos collègues, ceux que nous connaissons bien, avec qui nous échangeons facilement et construisons un chemin de pensée ou des expériences communes. Pour aller plus loin, les collaborations avec d'autres équipes aux approches théoriques ou expérimentales complémentaires sont parfois nécessaires. Les échanges entre services de R&D dans l'industrie et les laboratoires de recherche académique sont fréquentes. Je suis chercheur au CNRS, ma mission principale est de développer la connaissance et donc de faire de la recherche fondamentale, néanmoins j'ai toujours été naturellement attiré par les collaborations avec l'industrie. Les problèmes de production, d'innovation, de survie



économique sont des défis concrets qui soulèvent toujours beaucoup de questions fondamentales. C'est ainsi que j'ai établi un laboratoire commun avec une entreprise Normande, Manoir Industries. Le site industriel produit des tubes en acier de plusieurs tonnes, et ces matériaux sont optimisés à partir de notre compréhension basée sur des observations par microscopie à l'échelle atomique...

Les contacts extérieurs qui aboutissent à des collaborations de recherche se tissent de manières très diverses, de la sollicitation directe jusqu'au hasard des rencontres lors de congrès. Les opportunités de financement jouent aussi un rôle incitatif important dans la structuration du monde de la recherche. Citons par exemple l'appel à projet annuel de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) pour les Projets de Recherche Collaboratif (PRC) dédié aux actions communes impliquant plusieurs laboratoires français, ou bien son homologue au niveau Européen à travers le programme « Horizon 2020 ». Ainsi, certaines collaborations se trouvent principalement motivées par les moyens financiers qui en découlent, alors que d'autres sont d'avantage portées par des affinités personnelles et une vision commune. J'ai entretenu des relations extrêmement fructueuses avec des équipes russes et japonaises alors qu'elles n'étaient soutenues que par des supports financiers modestes. Parallèlement, certaines actions menées dans des cadres beaucoup plus solides m'ont offert des opportunités intéressantes mais une moindre satisfaction sur un plan scientifique.

En début de carrière, le jeune chercheur est recruté dans une équipe pour ses compétences et son expertise acquise au cours de sa thèse et éventuellement au cours de ses expériences post-doctorales. Ces premières années sont donc fondatrices et marquent son futur parcours. Notre liberté permet en principe d'explorer de nombreux horizons mais le niveau de connaissance et d'expertise requis pour être sur le front de la connaissance limite



naturellement cet espace, même pour ceux qui sont animés d'une très grande curiosité. Certains trouvent un certain confort à se cantonner dans un petit domaine très pointu, celui de l'expert reconnu et incontournable, sans prise de risque et avec une remise en question limitée. Cette position est néanmoins marginale, elle n'est même pas tenable, car les évolutions technologiques constantes ouvrent sans cesse de nouveaux champs d'investigation et de nouvelles perspectives. Qu'il s'agisse des méthodes numériques, de calcul, de traitement de données, de modélisation, mais aussi d'analyse et d'exploration de notre monde, à toutes les échelles, du cosmos à l'infiniment petit, du vivant à la physique en passant par les sciences humaines et sociales. J'utilise aujourd'hui des microscopes aux performances que je n'imaginai même pas seulement 20 ans auparavant lorsque j'étais doctorant. Et lorsque j'étais doctorant, mon directeur de thèse aurait pu dire exactement la même chose. Les informations que nous en tirons permettent non seulement de répondre à d'anciennes questions mais surtout elles en soulèvent de nouvelles. Les thématiques que nous privilégions, les choix que nous faisons, peuvent être libres mais ils sont surtout guidés par nos réussites et nos échecs, les opportunités, la chance parfois, les rencontres, les lectures, les moyens financiers qui nous sont accordés...

Et il y a finalement un très grand paradoxe. Cette liberté qui paraît essentielle au chercheur, essentielle à l'émergence de nouvelles idées et de nouveaux concepts, paraît totalement contrainte. Nous sommes libres mais contraint par des appels à projet sur le court terme, libre mais dans un milieu extrêmement concurrentiel, libre mais évalué de manière permanente (les publications, les projets, les carrières, les laboratoires), libre de découvrir mais de préférence pour des applications à court terme.

L'évaluation permanente

Le doute et la remise en question sont à la base de la démarche scientifique. On émet des hypothèses et par le raisonnement, le calcul, l'expérience on les infirme ou les confirme. Et finalement, lorsqu'on ébauche une théorie, ou que l'on met à jour et comprend des mécanismes naturels, il faudra convaincre. Convaincre ses interlocuteurs, qu'ils vous lisent ou qu'ils vous écoutent. Les convaincre de la rigueur de la démarche, du sérieux de la collecte des données et de leur analyse, pour finalement les faire adhérer à vos conclusions. Ces interlocuteurs sont d'abord nos pairs, c'est-à-dire des chercheurs du même domaine scientifique, capable sur la base de leurs connaissances de comprendre mais surtout de remettre en question notre travail. Cette démarche s'apparente à une évaluation. Néanmoins, contrairement au professeur qui évalue ses élèves, il ne s'agit pas de vérifier si c'est juste ou si c'est faux. C'est la démarche, la méthode et le raisonnement qui sont évalués, l'ensemble doit être convainquant. Ils portent ainsi un jugement, émettent des avis, oppose des arguments contradictoires. Et les occasions sont nombreuses, entre collègues, lors d'une présentation en conférence, lors de la soumission d'un article pour publication dans une revue scientifique ou bien simplement après publication de celui-ci. On comprend ainsi que dans ce processus, le chercheur est tour à tour évalué et évaluateur. La pratique est parfois d'une certaine violence, en particulier lorsque des controverses scientifiques naissent. Néanmoins, ce mode de fonctionnement est indispensable au développement de la connaissance et il est aussi un des éléments fondateurs de la confiance du grand public dans la science. Il faut juste lui laisser du temps, qui permettra aussi la reproduction des expériences ou la mise en œuvre d'analyses contradictoires. Et lorsque le temps est donné, comme pour les travaux sur les

origines du réchauffement climatique par exemple, alors la confiance peut être grande. Par contre, lorsque l'urgence du quotidien impose son rythme, comme au début de la pandémie de COVID19, alors la confusion semble régner et les chercheurs se trouvent malgré eux discrédités. Le temps de la recherche n'est ni le temps de l'actualité ni le temps des marchés financiers.

L'évaluation ne porte pas uniquement sur les travaux réalisés, elle porte aussi sur les projets soumis aux agences de financement (ANR, ERC, etc...). Celles-ci font appels à des experts (les chercheurs, nos pairs...) pour juger de l'originalité, de la faisabilité, des potentielles retombées, de l'adéquation avec les thématiques prioritaires de recherche, du caractère risqué du projet, ... Le but ici est simplement de sélectionner pour l'attribution de financements. Et encore une fois, le chercheur se trouve potentiellement évaluateur un jour et évalué le lendemain. Notons que l'expert, en échange de son point de vue sincère et éclairé bénéficie d'une totale anonymité.

Les laboratoires de recherche publics aussi sont évalués, par le Haut conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (Hcéres). Ils le sont généralement tous les 5 ans. C'est une étape importante pour la réputation d'un laboratoire. Un comité indépendant, constitué d'experts (nos pairs, chercheurs de nos domaines scientifiques issus d'autres unités) est en charge de cette évaluation sur la base de critères et indicateurs rigoureux [12]. Au préalable, un rapport d'activité retraçant les activités majeures du laboratoire sur les cinq années passées est réalisé. Ce bilan est accompagné d'un projet présentant l'équipe de direction, l'organisation et les perspectives de recherche. Ces documents, pouvant représenter plusieurs centaines de pages pour les plus grosses entités, sont expertisés par le comité qui procède également à une visite du laboratoire avant d'établir son rapport. L'objectif est double : fournir des recommandations sur les orientations scientifiques et

l'organisation du laboratoire, mais aussi donner aux tutelles (organismes de recherche ou universités par exemple) un avis pouvant servir d'appui à une politique scientifique, à des investissements ou à des recrutements.

Enfin, dans le milieu académique, les chercheurs eux-mêmes sont évalués, pour leur carrière, leurs promotions. Une fois de plus, cette évaluation ne peut être conduite que par les pairs. Lorsqu'on saisit la diversité du métier de chercheur, on comprend que les critères sont multiples et que l'exercice peut être particulièrement difficile. Dans une même communauté scientifique, les profils, les parcours, les missions sont très variées. Une partie est quantifiable, comme le nombre de publications et leur taux de citation, le nombre de participation à des conférences internationales, ... la reconnaissance et le rayonnement sont importants et s'évaluent à travers les collaborations internationales, les distinctions scientifiques, les invitations dans des conférences et des jurys, l'animation de réseau de recherche. Enfin, l'activité du chercheur est aussi évaluée à travers son rôle dans l'encadrement, comme la coordination d'une équipe, le nombre de doctorants et post-doctorants, le volume de projets financés, ... En tant que chercheur au CNRS, je dois tous les ans réaliser un compte rendu annuel d'activité résumant en quelques pages tous ces aspects de mon travail et tous les 5 ans un rapport d'activité complet présentant mes activités de recherche et mes projets.

Toutes ces évaluations portent sur la qualité et non la quantité de ce qui est produit. C'est une différence fondamentale avec les classements internationaux des établissements d'enseignement supérieur et de recherche. Le plus connu d'entre eux, le classement dit « de Shanghai » (Academic Ranking of World Universities (ARWU)), créé en 2003 par l'Université Chinoise Shanghai Jiao Tong University (SJTU), est uniquement basé sur des indicateurs chiffrés comme le nombre de prix Nobels ou médailles Fields (en activité ou parmi les anciens élèves), de chercheurs les plus cités dans leur discipline, le nombre d'articles parus dans les



revues Science et Nature, etc... Ces indicateurs ont leur importance, notamment en terme d'attractivité dans un monde où l'enseignement supérieur devient compétitif à l'échelle internationale. Ils sont cependant très fortement critiqués, à la fois sur leurs fondements et leur utilisation, la tribune de Elizabeth Gadd publiée dans Nature en 2020 résume parfaitement ce qu'en pense la majorité des chercheurs [31]. Un des biais évidents par exemple, est qu'ils mettent en avant les très grandes Universités. Ceci est parfaitement illustré par l'ascension de la toute nouvelle Université Paris-Saclay à la 14^{ème} place du classement de Shanghai en 2020 suite à un regroupement judicieux de plusieurs universités et écoles d'ingénieurs.



Les publications scientifiques

Dans un monde où les images occupent un espace toujours croissant, les chercheurs, eux, écrivent de plus en plus. Ils écrivent des projets, des livres, des rapports de projet et surtout des publications. Environ 2 millions d'articles scientifiques sont publiés chaque année, un quart étant du domaine médical. L'Europe, les Etats-Unis d'Amérique et la Chine (dont la production annuelle a été multipliée par dix entre 2000 et 2020) produisent chacun entre 20 et 25% de l'ensemble. Environ 80 000 articles scientifiques issus de travaux réalisés en France paraissent tous les ans. Au plan européen, c'est significativement moins que le Royaume unis et l'Allemagne (120 000 chaque). Le nombre d'article scientifiques publiés est en forte croissance pour tous les pays avec une augmentation de 30 % sur les vingt dernières années et le nombre de revues scientifique suit une tendance similaire [10]. Cette évolution tient d'une part au nombre grandissant de chercheurs à travers le monde mais aussi à l'évaluation devenue omniprésente et prenant bien souvent comme critère principal le nombre d'articles scientifiques co-signés.

Sans les publications scientifiques, une grande partie de la recherche n'aurait souvent plus de sens : à quoi bon faire des découvertes si on ne les partage pas ? L'objet principal est donc de communiquer, d'alimenter les controverses et des discussions. Il peut aussi s'agir de faire connaître une innovation ou une avancée technologique importante. Il y a un enrichissement mutuel des chercheurs qui s'effectue à travers « l'échange » de leurs publications et il est essentiel à la construction des connaissances. Bien sûr il y a la compétition aussi et il est parfois très dur de découvrir qu'une équipe concurrente a su être plus rapide à produire des résultats majeurs dans notre domaine.

Au plan personnel pour le chercheur, un article scientifique est un aboutissement. C'est toujours une immense satisfaction, et une fierté aussi, d'obtenir la publication de ses travaux. Même si on ne sait jamais à priori si on sera lu, si nos idées emporteront l'adhésion et si nos travaux seront finalement cités en référence. Au-delà de la reconnaissance par les pairs, la production d'articles scientifiques est un élément majeur des processus d'évaluation. La quantité et la qualité, généralement jugée à travers la réputation des revues, sont des critères importants. Dans ce monde compétitif et d'évaluation permanente, des chercheurs fraudent. Quelques cas, rare cependant, ont fait grand bruit et régulièrement des articles sont retirés par les éditeurs (0.05% des articles en 2005 [24]). Il y a trois types de fraude : la fabrication, la falsification et le plagiat [26] mais les discussions au sein de la communauté scientifique vont au-delà [25]. Pour lutter contre ces possibles dérives, les instituts de recherche comme le CNRS ont mis en place des comités d'éthique dont le rôle est principalement la prévention [41].

Comment un article scientifique est-il construit ?

Le titre : c'est le contenu en une phrase.

Le ou les auteur(s) : Le travail étant généralement réalisé en équipe, tous les contributeurs sont co-auteurs. Le premier auteur est généralement considéré comme le principal investigateur. Les motifs pour être co-auteur d'un article sont nombreux. On peut par exemple avoir réalisé tout ou partie des expériences, des calculs, de la collecte des données, de leur traitement. On peut avoir contribué à la réflexion et l'analyse des résultats, ou bien avoir pris en charge la rédaction et la mise en forme finale. On peut aussi être à l'origine du travail, avoir eu l'idée initiale, avoir monté le projet ou en avoir assuré la gestion. Ces derniers motifs

permettent à certains chercheurs d'être auteurs de plus d'un millier de publication (soit une toutes les 2 semaines durant 40 années...).

Les affiliations des auteurs : Il s'agit des coordonnées des organismes ou instituts de rattachement des auteurs. Le principe est qu'un auteur doit pouvoir être joint pour lui poser une question ou discuter de son travail. Il y a parfois de nombreuses affiliations différentes traduisant alors un travail issu d'une large collaboration. Dans mon domaine, la physique, une publication française sur deux est avec un collaborateur étranger (principalement USA, Royaume Unis et Allemagne) [10, 11].

Un résumé : l'essentiel du travail est retranscrit en 10 à 20 lignes. C'est sur cette base qu'un autre chercheur, lecteur potentiel, décidera ou non de lire le contenu.

Des mots clés : ils aident à mieux identifier le contenu lors d'une recherche à partir d'une base de données constituée d'articles scientifiques.

Une introduction : Elle positionne le travail dans un contexte général et par rapport à l'existant, c'est-à-dire les travaux déjà publiés dans le même domaine. Elle décrit les objectifs, les hypothèses et l'originalité de l'approche.

La méthodologie, les protocoles expérimentaux ou numériques : Cette partie est essentielle, elle doit permettre d'une part de reproduire le travail publié mais aussi apporter tous les éléments permettant d'interpréter les données avec justesse.

Les résultats et leur interprétation : C'est le cœur de l'article scientifique, les données sont décrites et les auteurs en donnent leur interprétation.

Les conclusions : les faits marquants sont repris et replacés dans le contexte général, éventuellement accompagnés de perspectives.

Les remerciements : Des personnes peuvent être remerciées pour leurs contributions indirectes. Les organismes ayant financés les travaux et n'apparaissant pas dans les affiliations sont également mentionnés dans cette rubrique.

Les références bibliographiques : Il s'agit de la liste des articles scientifiques mentionnés dans le manuscrit, permettant ainsi au lecteur de remonter à la source.

Le processus de publication

Lorsque des résultats intéressants sont identifiés, un article est rédigé en se conformant au style de la revue scientifique qui aura été sélectionnée. Ce choix est important car il déterminera la visibilité future des travaux. Un article intéresse potentiellement une communauté scientifique qu'il faut bien cibler. Par ailleurs, certaines revues sont plus prestigieuses et donc plus sélectives. L'importance des découvertes oriente donc aussi la décision. L'article est envoyé à l'éditeur qui vérifie que le contenu correspond bien à la ligne éditoriale avant de le soumettre à un ou plusieurs experts pour une évaluation. Ces experts sont des pairs, c'est-à-dire d'autres chercheurs du domaine (je joue moi-même ce rôle en moyenne une fois par mois). Ils vérifient l'originalité et la qualité par rapport aux standards de la revue, la rigueur scientifique, la cohérence du raisonnement, la nature des informations, la qualité des données. Ils rédigent un court rapport, proposent le rejet ou la publication à l'éditeur avec éventuellement des recommandations de modifications aux auteurs, en vue d'améliorer l'article. L'éditeur, généralement chercheur lui-même, analyse les rapports et transmet sa décision aux auteurs à qui on suggèrera éventuellement quelques corrections. Les revues les plus sélectives rejettent de nombreux articles comme la revue Nature qui publie moins de 10% de ce qui lui est soumis [23]. L'ensemble du processus, de la soumission à la publication, prend classiquement plusieurs semaines, parfois plusieurs mois. Pour la parution



de l'article, les auteurs cèdent tous leurs droits à l'éditeur et ne perçoivent aucune rétribution (mais ils conservent la propriété intellectuelle).

Les revues scientifiques

Il existe de rares revues scientifiques généralistes, les plus célèbres étant « Nature » et « Science » mais elles ne sont pas représentatives. La très grande majorité s'adresse en effet à une communauté scientifique bien définie (les géologues, les virologues, ...). Beaucoup de revues nationales (France, Allemagne, Japon ou Russie par exemple) ont disparues ou changées leurs langues de publications durant la seconde partie du 20^{ème} siècle. Aujourd'hui, les articles sont presque systématiquement rédigés en anglais. Cette hyper spécialisation thématique associée à l'uniformisation de la langue de communication (l'anglais) s'inscrivent dans la logique du processus de publication (évaluation par les pairs) et favorisent la diffusion des connaissances auprès des chercheurs du domaine. Les revues scientifiques se sont également très rapidement converties au numérique à la fin des années 90. Les bénéfices pour la communauté scientifique ont été énormes avec un accès et une possibilité de recherche des informations grandement facilités. De nombreuses revues « traditionnelles » paraissent toujours sous forme papier, mais de nouvelles revues uniquement consultables en ligne ont été créées ces dix dernières années. Aujourd'hui, même les articles anciens sont quasiment exclusivement consultés en ligne, les éditeurs ayant numérisés leurs archives.

Les éditeurs de revues scientifiques sont soucieux de deux choses pour leur viabilité financière : la réputation et le facteur d'impact (traduction de l'anglais « impact factor »). Une bonne réputation leur permet d'attirer les meilleurs articles, car l'édition scientifique est un univers très compétitif. Quant au facteur d'impact, il s'agit de la moyenne du nombre de citations (dans d'autres articles) de tous les articles publiés durant les deux années



précédentes. Un facteur d'impact élevé est donc un gage de visibilité et potentiellement de qualité si l'on suppose que les meilleurs articles sont les plus cités. Il y a donc une hiérarchie entre les revues d'un domaine scientifique, les plus réputées étant naturellement plus prisées et plus sélectives.

Le marché de l'édition scientifique

En fonction des journaux et des éditeurs, un article scientifique est proposé à l'unité entre 30 et 80 euros. Pour une institution, un abonnement à l'année à une revue est généralement de plusieurs milliers d'euros. Les budgets consacrés par les institutions de recherche à travers le monde pour l'accès aux publications scientifiques sont colossaux, en témoignent les chiffres d'affaires annuels des principaux éditeurs (Elsevier-RELX group, Wiley, Springer, Taylor and Francis-Infoma) qui avoisinent ou dépassent tous le milliard d'euros. C'est un marché très lucratif qui est entretenu par un système où les chercheurs sont incités à publier dans des revues réputées et où ils cherchent le maximum de visibilité pour leurs travaux. C'est aussi une nécessité, car la veille scientifique est une activité essentielle au chercheur. Il s'agit d'alimenter en permanence ses connaissances ou ses bases de données grâce aux travaux réalisés par d'autres tels qu'ils sont communiqués dans les articles scientifiques. Il y a pourtant un paradoxe dénoncé par beaucoup. Les chercheurs produisent des articles et alimentent ce marché de l'édition scientifique. Ils sont financés par des institutions (souvent publiques) qui ne perçoivent aucune rétribution et leurs travaux ne sont finalement pas librement accessibles. C'est pourquoi récemment le concept de « science ouverte » s'est fortement développé, notamment en Europe. Il a pour principe le libre accès aux résultats scientifiques issus de la recherche publique. Le modèle choisi actuellement est une mise à disposition du



contenu des articles sur des plateformes dédiées (HAL en France [22]) après une éventuelle période d'embargo négociée avec les éditeurs scientifiques (typiquement 6 mois à 1 an).

Mais ce qu'on appelle « la science ouverte » va bien au-delà. Le concept concerne toutes les données issues de la recherche scientifique en incluant la méthodologie, les algorithmes de traitement, ... afin que ces produits de la recherche puissent être réexploités. Les principes fondateurs se résument par l'acronyme FAIR : Findability, Accessibility, Interoperability, and Reusability [30]. Les données doivent pouvoir être trouvées, être accessibles, inter-opérables et réutilisables. C'est assurément un très grand défi pour le monde scientifique.

Le contenu des publications scientifiques

Lorsqu'on entreprend des recherches et que l'on fait une découverte, celle-ci est publiée et forme le principal objet de la publication scientifique. Il s'agit du cas le plus favorable, mais la vie du chercheur est aussi faite de nombreux échecs. Lorsque le problème est posé, on formule des hypothèses, certaines seront confirmées et d'autres non. Et même si nous avons naturellement tendance à davantage publier nos succès, l'information sur nos échecs est importante aussi, au moins pour que d'autres n'empruntent pas la même voie sans issue.

Il existe une différence fondamentale entre un article de presse et une publication scientifique. Cette dernière est par essence contestable, le fait journalistique ne l'est pas (je ne considère pas bien entendu les événements inventés dit « fake news »). Une publication alimente le débat scientifique, et s'adresse avant tout aux pairs. Et c'est précisément dans ce but que tous les éléments permettant de reproduire les expériences, les analyses, les interprétations, les calculs y sont donnés. Ces principes élémentaires ont été un peu oubliés au début de la pandémie de COVID 19. Face à la crise et à l'urgence, l'attente était grande. Tous les regards étaient tournés vers les scientifiques, il nous fallait vite les résultats et la

connaissance pour comprendre et décider. Mais le temps de la recherche n'est pas celui du politique, de l'émotion ou de l'urgence sanitaire. Ainsi, sans laisser le temps au débat, à la contradiction, certains se sont appropriés trop rapidement le contenu de publications scientifiques. Ils ont sûrement compris ensuite, mais trop tard, la différence avec des articles de presse. Ils ont aussi compris que le processus de revue par les pairs avant publication n'était pas sans faille. Toutes les publications ne se valent pas et tout ce qui est publié n'est pas nécessairement une vérité. Il peut y avoir des biais liés à la méthodologie dans les données et leur interprétation peut aussi être erronée. Aiguiser son esprit critique pour remettre en question ce qui est écrit, fait partie des premiers pas de la formation d'un doctorant et donc du chercheur. Bien qu'anecdotique, mon exemple préféré est cette correspondance (équivalent du « courrier des lecteurs ») publiée dans le célèbre journal Nature en 1988 et montrant une corrélation parfaite entre la baisse de la natalité en République Fédérale d'Allemagne et la chute de la population de cigognes [27]. Les données sont probablement tout à fait exactes mais l'interprétation suggérée par l'auteur, Helmut Sies, est manifestement discutable. Cet exemple nous montre qu'il n'est pas possible de s'approprier le contenu des revues scientifiques sans un minimum d'analyse et d'esprit critique. Il nous montre aussi peut-être que les chercheurs peuvent être facétieux (la correspondance est parue début avril, le 7, ce n'est peut-être pas un hasard).

Les brevets d'invention

Lorsqu'une découverte scientifique répond à un problème pratique donné ou qu'une invention est susceptible d'applications industrielles, les auteurs peuvent déposer une demande de Brevet d'invention. Le premier brevet déposé en France le fût en 1791, peu après que les nouvelles lois issues de la révolution française reconnaissent à chaque citoyen le droit d'inventer. Le brevet d'invention, avec les marques et les dessins et modèles, fait partie de la propriété industrielle qui est un des fondements juridiques ayant permis le développement de la société industrielle. La demande de brevet est formulée pour le mode de production et l'utilisation, elle est déposée auprès des pouvoirs publics (en France l'INPI, l'institut national de la propriété intellectuelle). Après un examen historique (recherche d'antériorités), l'accord est donné ou refusé. Les brevets d'inventions sont publiés au registre national des brevets. Le propriétaire (qui peut être une entreprise, un organisme de recherche) bénéficie d'un monopole d'exploitation temporaire (jusqu'à 20 ans) en échange du paiement d'une redevance annuelle. Ensuite l'invention tombe dans le domaine public. En 2018, il y a eu 3,3 millions de demandes de brevet dans le monde dont presque 50% en chine et 44 000 en France [28]. Comme pour les publications scientifiques, la croissance a été très forte ces vingt dernières années (+5% par an) et la Chine est devenu un acteur majeur. Le brevet est un outil très important du développement industriel et de la compétitivité pour les entreprises. Les laboratoires de recherche académique font également des demandes de brevet lorsque leur innovation est susceptible d'applications industrielles. Dans ce cas, les travaux peuvent également faire l'objet d'une publication scientifique mais à postériori.

La vie des communautés scientifiques

Les chercheurs ont une spécialisation très forte dans leur domaine. Ce n'est pas propre à leur métier. L'évolution de nos sociétés humaines est basée sur la spécialisation des individus pour réaliser des tâches ou des dispositifs d'une extrême complexité. Mais la spécificité des chercheurs, ce sont les nombreuses interconnexions qui existent dans leur domaine. C'est pour cela que nous parlons de communautés scientifiques. En partageant leurs découvertes, en échangeant des idées, en débattant, ils animent leurs communautés. Celles-ci sont parfois structurées par des « sociétés savantes ». Il s'agit d'associations indépendantes faisant vivre et développant ce réseau. Elles peuvent par exemple organiser des réunions, des conférences ou attribuer des distinctions scientifiques.

Les distinctions scientifiques les plus connues et parmi les plus anciennes, sont certainement les prix Nobel, au nombre de cinq (paix ou diplomatie, littérature, chimie, physiologie ou médecine et physique) auquel plus récemment un 6^{ème} a été ajouté (sciences économiques). Il existe d'autres distinctions, très nombreuses, dans tous les domaines, attribuées par des sociétés savantes nationales ou internationales. L'Académie des Sciences en France a, par exemple, remis en 2020 soixante-cinq prix financés par des mécènes, des fondations ou des entreprises. Notons qu'il s'agit d'une tradition ancienne puisque la première remise de prix de cette institution eut lieu en 1720. Les sociétés savantes attribuent des prix (dotés d'une enveloppe financière) ou des médailles (distinctions honorifiques), pour récompenser les travaux prometteurs d'un(e) jeune chercheur(se), une découverte exceptionnelle ou une carrière marquée par les succès. Ces distinctions contribuent au prestige d'un individu et de son équipe. Elles sont importantes car la reconnaissance par les pairs qui est ainsi exprimée

représente souvent ce qu'il y a de plus précieux pour les chercheurs. Bien entendu, les distinctions scientifiques contribuent positivement à l'évolution de carrière (promotion) car elles font partie des critères d'évaluation et peuvent permettre d'obtenir plus aisément des financements pour de nouveaux travaux.

Les congrès scientifiques sont des lieux de rencontre, de discussion et de débats très importants pour les communautés de chercheurs. Qu'elles soient organisées à l'échelle nationale ou internationale, qu'elles regroupent 50 ou 5000 personnes, le format est souvent identique. Sur plusieurs jours, du matin au soir, s'enchaînent des présentations de 15 à 30min suivies de discussions. Certains orateurs sont invités par les organisateurs, les autres auront préalablement soumis un résumé en espérant être sélectionné par le comité scientifique pour pouvoir présenter leurs travaux. Alternativement, une partie de la journée peut être dévolue à des « sessions posters » : les participants se rassemblent dans un hall d'exposition où des chercheurs peuvent leur présenter individuellement, sur des affiches, leurs résultats. Je participe plusieurs fois par an à des conférences scientifiques, et c'est toujours des semaines très intenses. Les discussions peuvent débuter au petit-déjeuner, à l'hôtel où par hasard on se retrouve face au conférencier japonais de la veille, pour se terminer tard le soir au diner avec une tablée de chercheurs du monde entier. J'ai construit toutes mes collaborations internationales dans de telles circonstances, et l'impact de tous ces échanges sur le déroulement de mes propres travaux a probablement été majeur. Ces conférences représentent un investissement financier qui peut être important (jusqu'à deux ou trois mille euros pour couvrir les frais d'inscription, le voyage et l'hébergement). Elles ont aussi un coût écologique non négligeable lorsqu'elles rassemblent des centaines de chercheurs venant en avion du monde entier. Elles sont cependant essentielles au débat scientifique ainsi qu'au développement des idées et de la créativité.

Science et politique, chercheurs et société

Jean Jacques Rousseau dans son « discours sur les sciences et les arts » [19] porte un regard sévère sur les sciences : *« C'était une ancienne tradition passée de l'Égypte en Grèce, qu'un dieu ennemi du repos des hommes était l'inventeur des sciences. Quelle opinion fallait-il donc qu'eussent d'elles les Égyptiens mêmes, chez qui elles étaient nées? C'est qu'ils voyaient de près les sources qui les avaient produites. En effet, soit qu'on feuillette les annales du monde, soit qu'on supplée à des chroniques incertaines par des recherches philosophiques, on ne trouvera pas aux connaissances humaines une origine qui réponde à l'idée qu'on aime à s'en former. L'astronomie est née de la superstition; l'éloquence, de l'ambition, de la haine, de la flatterie, du mensonge; la géométrie, de l'avarice; la physique, d'une vaine curiosité; toutes, et la morale même, de l'orgueil humain. Les sciences et les arts doivent donc leur naissance à nos vices: nous serions moins en doute sur leurs avantages, s'ils la devaient à nos vertus. »*

L'essor des sciences a été considérable depuis Jean Jacques Rousseau, il a été porté par la « vaine curiosité », mais aussi par la demande technologique et souvent militaire. Ainsi, deux cents ans plus tard, la révolution industrielle est passée et Pierre Desproges nous propose un autre regard [20] : *« L'homme de science le sait bien, lui, que seule la science, a pu, au fil des siècles, lui apporter l'horloge pointeuse et le parcmètre automatique sans lesquels il n'est pas de bonheur terrestre possible. »*

Résoudre nos problèmes matériels, développer notre économie et les richesses qu'elle produit, améliorer notre qualité de vie et notre santé, accroître notre sécurité alimentaire, nous préserver des catastrophes environnementales, les attentes face à la science sont peut-être plus grandes que jamais. L'impact de la recherche et de l'innovation sur l'économie est si

important que des mesures fiscales particulières sont prises par les gouvernements pour développer la recherche industrielle (le crédit impôt recherche (CIR) par exemple) et des organismes établissent et comparent le « cours du chercheur » dans différents pays afin de guider les stratégies d'investissement [40]. Lors du conseil européen de Lisbonne en mars 2000, les états européens s'étaient fixés pour objectif 3% de dépenses dédiées à la recherche (1% de dépense publique). Seule l'Allemagne a atteint aujourd'hui ce niveau, la France stagnant autour de 2,2%. La Loi de Programmation de la Recherche (LPR) nouvellement adoptée par le parlement en novembre 2020, même si elle propose un effort jugé insuffisant par certains, devrait permettre de progressivement tendre vers 1% du PIB d'investissement public dans la recherche. Lors de la célébration des 80 ans du CNRS le 1^{er} février 2019, le premier ministre Edouard Philippe avait clairement posé les objectifs de cette loi : garantir que les projets les plus novateurs soient financés au bon niveau, rester compétitifs à l'échelle internationale et convertir les découvertes scientifiques en innovation [42].

Je me souviens étant étudiant discuter avec l'un de mes professeurs sur l'opportunité de faire une carrière scientifique. Pour moi, tout ou presque semblait être déjà découvert ou inventé : l'électricité, le téléphone, les avions, les vaccins, la télévision, les lasers, les ordinateurs, les fusées, la tectonique des plaques, les jeux vidéo, les centrales nucléaires, les moteurs, le réchauffement climatique, l'imagerie médicale, les cellules photovoltaïques,... Il n'y a pourtant jamais eu autant de chercheurs et de production scientifique sur terre qu'aujourd'hui. Durant ces vingt-cinq dernières années, les progrès réalisés dans tous les domaines ont été considérables. Mais il y a une attitude ambivalente face aux sciences et aux chercheurs, à la fois dans le grand public et dans le monde politique. Les sciences suscitent des craintes et elles sont légitimes face aux escalades dans l'armement et l'horreur militaire par exemple, ou bien sur les problèmes éthiques soulevés par les manipulations du vivant. Mais les activités des

chercheurs dépendent peu de l'opinion publique, ou pas directement, elles dépendent surtout des politiques menées par les institutions. En premier lieu parce que celles-ci décident des domaines prioritaires devant faire l'objet de financements publics. Les recherches spatiale et nucléaire, par exemple, ont été impulsées par les états. En second lieu car ce sont elles qui fixent les lois. Ainsi, en imposant d'avantage de véhicules électriques dans nos villes, on oriente la recherche vers de nouvelles stratégies pour les batteries par exemple. Or, il est intéressant de noter que ces décisions politiques découlent du travail des chercheurs (impact du CO₂ sur le climat et de la pollution atmosphérique sur la santé sont des arguments en faveur des véhicules électriques), il existe donc une relation d'interdépendance forte entre politique et chercheurs. Bien entendu, l'actualité et l'émotion qu'elle transporte ont aussi une influence importante sur les priorités et les choix orchestrés par les états. A ce titre, on ne sera pas surpris de découvrir que la programmation de l'appel à projet 2021 de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) offre une large place aux recherches en lien avec la COVID 19.

A partir du moment où la science est considérée comme le moyen potentiel de résoudre les problèmes de l'humanité (famines, réchauffement climatique, accès à l'eau, santé, éducation, sécurité, préservation des écosystèmes...), le risque est grand de vouloir privilégier une recherche dite « appliquée » au détriment d'une recherche dite « fondamentale ». Or c'est l'application de nos connaissances fondamentales acquises antérieurement qui permet l'innovation de demain. Et dans ce sens, Louis Pasteur, a qui nous devons les vaccins et tant de vies sauvées, déclarait en 1854 : *« c'est à nous surtout qu'il appartiendra de ne point partager l'opinion de ces esprits étroits qui dédaignent tout ce qui, dans les sciences, n'a pas une application immédiate »* - *« Vous connaissez ce mot charmant de Franklin : il assistait à la première démonstration d'une découverte purement scientifique et l'on demandait autour de lui : Mais à quoi cela sert-il ? Franklin répond : A quoi sert l'enfant qui vient de naître ? »*

Les moyens financiers

Les besoins financiers de la recherche publique sont pour le fonctionnement général des laboratoires, la masse salariale, les équipements, les missions et éventuellement les activités sous-traitées. Les tutelles des laboratoires prennent généralement à leur charge les infrastructures et les salaires des personnels permanents. Elles attribuent aussi annuellement un budget de fonctionnement. Néanmoins, des financements supplémentaires peuvent être nécessaires pour récolter ou traiter des données, pour concevoir des outils, financer des doctorants ou post-doctorants, développer des collaborations en finançant des échanges, acquérir de nouveaux équipements plus performants, ... Ces financements supplémentaires, sont généralement obtenus via des projets soumis à des appels ciblés et lancés par des organismes de financement. Ils sont aujourd'hui nombreux et cette pratique s'est fortement développée en France avec la naissance de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR, [13]) en 2005 sous la forme d'un groupement d'intérêt public, devenue deux ans plus tard un établissement public à caractère administratif. La Loi de Programmation de la Recherche (LPR) 2020 accentue même encore la tendance en dotant l'agence d'un budget de 1,19 Md€ pour le financement des projets de recherche en 2021 (soit 444 M€ de plus qu'en 2020). Citons aussi l'Union Européenne qui dispose d'un programme cadre de financement pour la recherche et l'innovation. Sur la période 2014-2020, le programme horizon 2020 [14] était doté d'environ 50 milliards d'euros, il a financé plus de 25000 projets incluant 13000 participants issus d'une institution française. Ce programme comportait quatre « piliers principaux » (« Excellent Science, Industrial Leadership, Societal Challenges, Euratom ») et tous les ans les thèmes subventionnés y étaient définis. Ainsi, comme pour l'ANR, ces appels

à projet orientent les recherches à travers les choix et les priorités qui sont établies par les organismes de financement.

La recherche sur projet répondant à des programmes visant à développer la recherche sur des thèmes ciblés est devenue le standard international. Ce mode de financement offre de réelles opportunités, mais il a modifié profondément le travail du chercheur. Il implique d'abord un investissement important pour la préparation des projets, surtout lorsque les taux de sélection sont dramatiquement bas (moins de 20% de projets sélectionnés à l'ANR). Il est intéressant de noter que l'ANR a un programme d'aide au montage de projets européens, c'est dire si la tâche est parfois ardue pour mettre en valeur de bonnes idées et les rendre séduisantes. Bien entendu les projets sont évalués, et ils le sont forcément par les pairs, c'est donc un travail supplémentaire pour la communauté des chercheurs. Enfin, la réactivité des appels à projet et des opportunités de financements ne sont parfois pas à la hauteur des enjeux. C'est ce que nous montre le triste exemple du retard pris par la France en cryo-microscopie, technique pourtant essentielle à l'imagerie des virus comme celui de la COVID 19 [32].

Les contrats de recherche avec des partenaires industriels sont une autre source de financement pour les laboratoires académiques. Les acteurs privés et publics de la recherche française sont fédérés notamment par l'Association Nationale Recherche Technologie (ANRT). Avec plus de 300 membres et partenaires (entreprises et institutions publiques), sa mission est de promouvoir la recherche partenariale et l'innovation. Elle gère en particulier depuis quarante ans le dispositif CIFRE (convention industrielle de formation par la recherche), qui soutient financièrement les entreprises recrutant un doctorant réalisant sa thèse dans le double cadre public-privé. Depuis sa création, ce programme a contribué à la formation de

4500 doctorants en France [15]. Lorsqu'on questionne les français sur de tels rapprochements entre acteurs privés et recherche publique, la majorité pense que les chercheurs servent trop souvent les intérêts de l'industrie, notamment pharmaceutique [16]. Quel que soit le cadre des travaux, il peut exister des fraudes et des manquements aux règles d'éthiques, nous avons abordé ce point au sujet des articles scientifiques. Les aspects positifs l'emportent sur ceux négatifs de ces quelques cas marginaux. Mes nombreuses expériences avec des partenaires industriels ont souvent été très enrichissantes et majoritairement fructueuses. Il y a pourtant un double défi : 1) Le temps du monde économique n'est pas celui de la recherche et en particulier d'une thèse, trois années sont une éternité, 2) Ce qui est important pour le chercheur c'est de comprendre, pour l'acteur privé c'est de produire et de vendre, il faut donc surtout que cela fonctionne. Néanmoins, dans cette relation, ce qui est grisant pour le chercheur, ce sont les questions fondamentales posées par les problèmes techniques. Produire en commun les connaissances nécessaires pour résoudre de tels problèmes peut être un enjeu important pour l'industriel, et pour moi cela a toujours été accompagné d'un peu de fierté d'apporter cela à une entreprise française. Le chercheur n'a finalement pas tant d'opportunités de se sentir directement utile à la société.

Naissance et réalisation des idées

Créer de nouvelles expériences, imaginer de nouvelles théories, élaborer de nouvelles hypothèses, proposer de nouvelles interprétations... L'inventivité et la créativité jouent un rôle central à toutes les étapes de la démarche scientifique. Observer et choisir de s'intéresser à ce que d'autres ont négligé. Observer différemment, avec d'autres outils, imaginer et inventer ces outils. S'interroger, poser des questions, représenter et redéfinir le problème. Remettre en question les interprétations antérieures, émettre de nouvelles hypothèses. Trouver les moyens d'infirmer ou confirmer ces hypothèses. Introduire de nouveaux éléments permettant de synthétiser et conceptualiser la connaissance. Qu'il s'agisse d'une recherche incrémentale (approfondissement ou amélioration de l'existant) ou en rupture (plus risquée mais potentiellement plus porteuse), les chercheurs exploitent toujours leurs idées. Mais d'où et comment proviennent ces idées ?

L'inventivité et la créativité ne sont pas propres au métier de chercheur, elles jouent aussi un rôle central dans le développement des sociétés, l'art, l'industrie et le monde économique en général. Les concepts de l'invention ont été théorisés depuis de nombreuses années [35] mais la recherche scientifique présente quelques spécificités. Dès 1754, Horace Walpole introduisait la notion de sérendipité (issu du terme anglophone serendipity): "discoveries [made] by accidents and sagacity, of things [the observers] were not in quest of" [39]. Repris dans la définition du dictionnaire Larousse cela donne : « Capacité, art de faire une découverte, scientifique notamment, par hasard ». Il s'agit donc de la place du hasard dans les découvertes scientifiques. Mais le hasard ne fait pas tout comme le dit si bien Louis Pasteur : « Dans les champs de l'observation, le hasard ne favorise que les esprits préparés » [38]. Les idées ne viennent pas par un éclair de génie, comme une illumination. Le processus

n'est pas instantané, il faut créer les circonstances favorables. Les rencontres, les échanges, les discussions et les confrontations, telles que nous les trouvons dans nos laboratoires ou lors de conférences scientifiques sont primordiales [33]. Les progrès scientifiques et technologiques reposent sur des objets complexes réalisés grâce à l'association de spécialisations (personne n'est capable de construire seul un avion ou un ordinateur de toutes pièces). Les chercheurs sont également des spécialistes d'un domaine de connaissance et pour innover ils ont généralement besoin de développer des approches collaboratives. Cela contribue à l'enchaînement des idées [34], favorise dans les situations nouvelles les connexions avec les savoir déjà acquis et aide à mettre en place des analogies [36]. L'exemple historique de l'invention du kinéscope (première caméra argentique du cinéma) par T. Edison et W. Dickson, inspiré par le phonographe, illustre parfaitement comment les concepts peuvent s'enchaîner, ainsi que l'importance des analogies, des échanges et du travail collectif [37].

Dans le processus de la découverte scientifique, la théorie et les données expérimentales jouent un rôle complémentaire, comme le décrivais si bien (une fois de plus) Louis Pasteur *« Nous n'oublierons point que la théorie est mère de la pratique ; que sans elle la pratique n'est que la routine donnée par l'habitude ; et que la théorie seule fait surgir et développe l'esprit d'invention »* [38]. Le temps est aussi un paramètre important. Un problème peut rester sous-jacent jusqu'à ce qu'on ait les moyens de le traiter. Et lorsqu'il est enfin abordé, le processus ne peut pas être rapide, il est généralement itératif, on cherchera toujours à reproduire les expériences et à en concevoir d'autres pour éventuellement mettre en défaut les conclusions initiales. Ainsi, une découverte, une expérience ou une théorie pourra être résumée en quelques minutes alors qu'il aura fallu des années pour la réaliser. Si on peut quantifier le

temps nécessaire à la réalisation d'une expérience par exemple, le temps nécessaire à l'aboutissement des idées est plus difficilement prévisible.

Pour un chercheur, le défi n'est pas d'avoir des idées, mais plutôt d'avoir de bonnes idées. Plus les idées sont nombreuses et plus on peut les tester jusqu'à ce qu'un concept intéressant émerge enfin. Pour cela, il faut avoir le courage de les tester, de les confronter, de les discuter. Cela demande de la persévérance et de la patience, mais aussi de l'humilité lorsqu'on doit reconnaître qu'une idée, une hypothèse, une méthode n'était pas bonne. Les idées nous paraissent très personnelles, il y a un sentiment d'appropriation qui peut être très fort, conduisant parfois à des rivalités entre chercheurs. Pourtant, celles-ci naissent dans un terreau commun, celui de nos échanges et de nos interactions, et c'est pourquoi il n'est pas rare de voir naître et s'épanouir la même idée presque au même moment dans des équipes différentes. Le monde de la recherche scientifique étant très compétitif, en particulier lorsqu'il s'agit du développement d'innovations technologiques, le chercheur doit donc gérer la contradiction entre les interactions dont il se nourrit et qui lui sont donc si importantes, et la protection de son travail (publications et brevets d'invention).

Dans la carrière d'un chercheur, il y a nécessairement des périodes durant lesquelles les idées semblent manquer. Soit parce que tout semble avoir été tenté pour résoudre un problème, soit parce que le problème semble finalement résolu. Lorsque l'on a passé des années à la résolution de ce problème, la difficulté la plus grande est finalement l'évolution vers une nouvelle thématique. C'est une rupture, plus ou moins profonde, il faudra s'approprier la nouvelle problématique avant de l'enrichir de nos approches et méthodes développées dans d'autres contextes.

Nous expérimentons tous dans notre vie quotidienne des problèmes. Lorsque nous pensons avoir finalement trouvé une solution ou la démarche à suivre pour y parvenir, c'est déjà une

première satisfaction. Et c'est exactement cette satisfaction que ressent le chercheur dans son travail. Mais plus que les idées elles-mêmes, ce sont leurs réalisations qui procurent la plus grande excitation et qui deviennent la principale motivation du chercheur. « Cette nouvelle expérience va-t-elle fonctionner et fournir les informations escomptées ? », « Cette nouvelle manière de traiter les données va-t-elle faire ressortir une information supplémentaire et confirmer notre hypothèse ? », « Ce nouveau prototype va-t-il fonctionner comme la théorie le prédit ? », « Ce calcul va-t-il aboutir ? » etc... Si la passion des chercheurs tient à leur curiosité, à cette volonté de résoudre des problèmes ou apporter des réponses à des questions ouvertes, elle tient aussi à cette excitation très particulière liée à la réalisation de leurs idées. Réaliser ses idées c'est parfois prouver que l'on avait raison mais aussi prendre le risque de s'être trompé. Il y a toujours des surprises, des imprévus. L'échec est parfois nécessaire (toutes les hypothèses ne peuvent être justes), mais c'est une avancée qui très souvent suscitera de nouvelles idées, qu'il faudra discuter, échanger, et éventuellement réaliser à leur tour...

Glossaire

Maître de Conférence (MCF) : Titulaire d'un établissement d'enseignement supérieur ayant un service d'enseignement statutaire (192h annuel) et rattaché[e] à un laboratoire de recherche. Emploi accessible avec un doctorat. Corps inférieur à celui des professeurs.

Professeur[e] d'Universités (PU) : Titulaire d'un établissement d'enseignement supérieur ayant un service d'enseignement statutaire (192h annuel) et rattaché[e] à un laboratoire de recherche. Emploi accessible avec un doctorat et l'Habilitation à Diriger les Recherches. Corps supérieur à celui des maîtres de conférence.

Chargé[e] de recherche (CR) : Titulaire d'un organisme de recherche dont la mission est de développer des activités de recherche. Emploi accessible avec un doctorat. Corps inférieur à celui des Directeurs de Recherche.

Directeur[trice] de recherche (DR) : Titulaire d'un organisme de recherche dont la mission est de développer des activités de recherche. Emploi accessible avec un doctorat. Corps supérieur à celui des Chargés de Recherche.

ATER : Attaché temporaire d'enseignement et de recherche, maître de conférence non titulaire.

Enseignant[e]-chercheur[se] : Maître de conférence, Professeur[e] d'Université ou ATER

Doctorant[e] : Étudiant[e] inscrit[e] dans un établissement d'enseignement supérieur habilité à délivrer le diplôme du doctorat. Il [elle] prépare sa thèse sous l'encadrement de son [sa]

directeur[trice] de thèse. Au préalable il faut avoir obtenu un diplôme de Master ou équivalent (BAC +5).

Doctorat : Diplôme universitaire décerné par le jury à l'issue de la soutenance de thèse. Il correspond à un niveau BAC+8. Le [la] titulaire d'un doctorat est un[e] docteur[e].

Thèse : Mémoire résumant le travail de recherche effectué par le [la] doctorant[e].

Docteur[e] : Titulaire d'un doctorat.

Post-doctorant[e] : Docteur[e] recruté[e] en qualité de chercheur[e] sur un contrat à durée déterminée.

Post-doctorat : Contrat à durée déterminée en lien avec un projet de recherche, généralement attribué à un[e] jeune docteur[e], lui permettant d'élargir ou de renforcer son champ de compétence.

Habilitation à Diriger des Recherches (HDR) : Il s'agit de la plus haute qualification universitaire, elle permet d'être directeur de thèse et est nécessaire pour accéder au corps des Professeurs d'Université. Ce diplôme universitaire est décerné par un jury sur la base d'un mémoire et à l'issue d'une soutenance. L'HDR est généralement passé entre 5 et 15 ans après le doctorat.

CIFRE : Convention industrielle de formation par la recherche. Programme financé par le Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation et géré par l'ANRT qui soutient financièrement les entreprises recrutant un doctorant réalisant sa thèse dans le double cadre public-privé

Ecole doctorale (ED) : Organe fédérant la formation doctorale sous la responsabilité d'un ou plusieurs établissements d'enseignement supérieur habilités à délivrer le doctorat.

Laboratoire : Structure sociale donnant un cadre aux chercheurs[ses]. Il s'agit aussi généralement du lieu où est réalisé tout ou partie de leurs recherches et où collaborent d'autres personnels (techniciens[nes], ingénieurs[es], administratifs).

Tutelle : Organisme de recherche ou établissement d'enseignement supérieur ayant des personnels affectés dans un laboratoire et étant à ce titre impliqué dans sa gestion administrative et financière. Les tutelles d'un laboratoire sont les responsables légaux et sont généralement propriétaires et gestionnaires de locaux.

Société savante : Association indépendante regroupant des scientifiques du même domaine et faisant vivre ce réseau à travers des échanges et des rencontres. Les sociétés savantes peuvent organiser des conférences ou attribuer des distinctions scientifiques par exemple.

MESRI : Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation

CNU : Conseil National des Universités. Il s'agit d'une instance nationale qui se prononce sur le recrutement et à la carrière des enseignants-chercheurs. Par exemple, les candidat[e]s aux postes de MCF ou PU doivent être qualifiés par le CNU pour pouvoir être recruté[e]s.

Conférence (synonyme de colloque ou congrès) : Évènement ponctuel rassemblant des chercheurs[ses] autour d'une thématique scientifique et permettant de présenter ses travaux à la communauté pour les soumettre à la discussion.

Symposium : Parfois synonyme de conférence, terme également usité pour définir un sous-thème spécifique dans une conférence.

Publication (synonyme d'article ou « papier ») : Synthèse écrite de travaux de recherche publiée dans une revue scientifique.

Citation : Nombre de fois qu'un article est mentionné en référence dans un autre article. C'est un indicateur de la visibilité des travaux publiés.

Revue scientifique : périodique regroupant des articles scientifiques sélectionnés par un comité éditorial. Il existe des revues généralistes (les plus connues étant « Nature » et « Science ») mais la plupart sont spécialisées dans un domaine et s'adressent à une communauté spécifique.

Pairs : Pour un[e] chercheur[se], il s'agit de la communauté constituée des scientifiques de son domaine.

Hcéres : Haut conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur. Organisme en charge, entre autre, de l'évaluation des laboratoires.

Projet de recherche : Projet collaboratif ou non visant sur une période donnée à atteindre un certain nombre d'objectifs scientifiques et/ou techniques. Un projet de recherche est généralement associé à un financement permettant sa réalisation.

Valorisation : Exploitation des résultats, connaissances et compétences issues de la recherche pour les rendre utilisable ou commercialisables et donc en accroître la valeur. Il peut par exemple s'agir de la création d'une start-up ou du dépôt d'un brevet.

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

INSERM : Institut national de la santé et de la recherche médicale

INRIA : Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique – anciennement informatique et automatique

CEA : Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

INRAE : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

IFREMER : Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer

CNES : Centre National D'études Spatiales

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

ONERA : Office national d'études et de recherches aérospatiales

INED : Institut national d'études démographiques

INPI : Institut national de la propriété intellectuelle

CIR : Crédit Impôt recherche. Lorsqu'une entreprise engage des dépenses liées à des projets de recherche, elle peut les déduire en partie de ses impôts, sous certaines conditions.

Références

- [1] L'état de l'emploi scientifique en France, rapport 2016
<https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/164000589.pdf>)
- [2] État de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation en France n°14 édité par, le SIES, Sous-direction des systèmes d'information et des études statistiques, Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation
<https://publication.enseignementsup-recherche.gouv.fr/eesr/FR/>
- [3a] Mastering Your PhD, Survival and Success in the Doctoral Years and Beyond, Patricia Gosling, Lambertus D Noordam, Springer, 2011
- [3b] The A-Z of the PhD Trajectory, A Practical Guide for a Successful Journey, Eva O. L. Lantsoght, Springer Texts in Education, Springer International Publishing AG 2018, ISBN 978-3-319-77424-4 , ISBN 978-3-319-77425-1 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-77425-1>
- [4] The importance of stupidity in scientific research, Martin A. Schwartz, Journal of Cell Science 121, 1771 Published by The Company of Biologists 2008, doi:10.1242/jcs.033340
- [5] La situation des docteurs sur le marché du travail, note d'information du SIES-MESRI 17.03,
https://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/2017/20/7/NI_17.03_-_Docteurs_sur_le_marche_du_travail_716207.pdf
- [6] LES DOCTORANTS À L'INTERNATIONAL TENDANCES DE LA MOBILITÉ DOCTORALE EN FRANCE ET DANS LE MONDE, Campus France, Note N°60, juillet 2019
https://ressources.campusfrance.org/publications/notes/fr/note_60_fr.pdf
- [7] Devenir des docteurs trois ans après : les indicateurs par discipline, note d'information du SIES-MESRI 17.10
https://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/2017/92/3/NI_IPDoc_experimentale_num_17.10_860923.pdf
- [8] Devenir des docteurs, Enquête Normandie Université 2013
http://www.normandie-univ.fr/medias/fichier/normandieuniversite-enqueteinsertion-201409-complet_1446460698547-pdf
- [9] Évaluation des entités de recherche, Hcéres 2020
<https://www.hceres.fr/fr/evaluation-des-entites-de-recherche>
- [10] Dynamics of scientific production in the world, in Europe and in France, 2000-2016 – Hcéres Science and Technology Observatory, juin 2019
https://www.hceres.fr/sites/default/files/media/downloads/rappScien_VA_web04_12.pdf



- [11] Le CNRS en chiffres (2020)
http://www.cnrs.fr/sites/default/files/download-file/08_cnrs-en-chiffre-2016.pdf
- [12] Évaluation de la recherche : critères et indicateurs, novembre 2018
<https://www.hceres.fr/fr/decoder/evaluation-de-la-recherche-criteres-et-indicateurs>
- [13] ANR - RAPPORT D'ACTIVITÉ 2018
<https://anr.fr/fileadmin/documents/2019/ANR-rapport-activite-2018.pdf>
- [14] Données statistiques d'Horizon 2020, données au 15 octobre 2019
<https://www.horizon2020.gouv.fr/cid91235/donnees-statistiques-horizon-2020.html>
- [15] Association Nationale Recherche Technologie, ANRT, Rapport d'activité 2019
http://www.anrt.asso.fr/sites/default/files/rapport_dactivites_anrt-2019.pdf?utm_medium=email&utm_campaign=ANRT%20-%20Rapport%20dactivits%202019&utm_content=ANRT%20-%20Rapport%20dactivits%202019+CID_dc9ee9fd25521e03ddfc55a0ba0f7a9e&utm_source=EmailingsNewsletters&utm_term=ACCEDER%20AU%20RAPPORT%20DACTIVITES%202019
- [16] Michel Dubois, La crise a-t-elle changé notre regard sur la science?, CNRS Le Journal, N°56, juin 2019
<https://lejournale.cnrs.fr/billets/la-crise-a-t-elle-change-notre-regard-sur-la-science>
- [17] Note Flash du SIES N°15, enseignement recherche et innovation, septembre 2020
- [18] « Les combustibles », Amélie Nothomb, 1994, Albin Michel
- [19] « Discours sur les sciences et les arts », Jean Jacques Rousseau, Concours de l'académie de Dijon, 1750
- [20] « Vivons heureux en attendant la mort », Pierre Desproges, 1983, Seuil
- [21] https://www.youtube.com/watch?v=9tpe1NQP1_Q&feature=youtu.be
- [22] <https://hal.archives-ouvertes.fr/>
- [23] <https://www.nature.com/nature/for-authors/editorial-criteria-and-processes>
- [24] Fraude : mais que fait la recherche ? Yaroslav Pigenet, Le journal du CNRS (03.12.2014)
- [25] « Scientists Behaving Badly », Brian C. Martinson, Melissa S. Anderson et Raymond de Vries, Nature, 2005, vol. 435 (7043) : 737-738
- [26] « Misconduct Accounts for the Majority of Retracted Scientific Publications », Ferric C. Fang, R. Grant Steen et Arturo Casadevall, PNAS, 2012, 109 (42) : 17028-17033



[27] A new parameter for sex education, Helmut Sies, Scientific correspondence, NATURE VOL332 7 APRIL 1988 p.495.

[28] La Propriété industrielle, Réalités industrielles, Annales des Mines, ISSN : 1148-7941, nov. 2020

https://anrt.bibli.fr/pmb.php?hash=d2b655112456def719b844ca0cca0b9d&url=https%3A%2F%2Fanrt.bibli.fr%2Fdoc_num.php%3Fexplnum_id%3D10761&id=92971

[29] THE PRECARIETY OF POSTDOCS, Nature, Vol 587, 19 November 2020, p. 505

<https://media.nature.com/original/magazine-assets/d41586-020-03191-7/d41586-020-03191-7.pdf>

[30] The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship, Mark D. Wilkinson et al.#, SCIENTIFIC DATA | 3:160018 | DOI: 10.1038/sdata.2016.18

<https://www.nature.com/articles/sdata201618>

[31] Elizabeth Gadd, University rankings need a rethink, Nature, Vol 587, 26 November 2020, p. 523

[31] *Bonn declaration of freedom of scientific research, adopted at the ministerial conference on the European Research Area on October 2020 in Bonn*

[32] David Larousserie, La cryo-microscopie, miroir grossissant du décrochage de la recherche française, Le Monde, 12 octobre 2020

https://www.lemonde.fr/sciences/article/2020/10/12/la-cryo-microscopie-miroir-grossissant-du-decrochage-de-la-recherche-francaise_6055757_1650684.html

[33] Ronald S. Burt, Structural Holes and Good Ideas, AJS Volume 110 Number 2 (September 2004): 349–99

[34] : “Why Do Ideas Get More Creative Across Time? An Executive Interpretation of the Serial Order Effect in Divergent Thinking Tasks. Roger E. Beaty and Paul J. Silvia, Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts, 2012, Vol. 6, No. 4, 309–319”

[35] « Théorie générale de l'invention », René Boirel, Paris, Presses universitaires de France, 1961.

[36] : The Impact of Analogies on Creative Concept Generation: Lessons From an In Vivo Study in Engineering Design, Joel Chan, Christian Schunn, Cognitive Science 39 (2015) 126–155

[37] Carlson WB, Gorman ME. Understanding Invention as a Cognitive Process: The Case of Thomas Edison and Early Motion Pictures, 1888-91. Social Studies of Science. 1990;20(3):387-430. doi:10.1177/030631290020003001



[38] Installation solennelle de la Faculté des lettres de Douai et de la faculté des science de Lille. Douai, 1854, Impr. A. d'Aubers., broch. de 31 p. 10-8°. Mélanges scientifiques et littéraires

(<https://innovationetserendipite.files.wordpress.com/2011/01/discours-de-louis-pasteur.pdf>)

[39] Copeland, S. On serendipity in science: discovery at the intersection of chance and wisdom. *Synthese* 196, 2385–2406 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11229-017-1544-3>

[40] Comparaison internationale sur le cours du chercheur - Panel ANRT CIR, documentation ANRT

<http://www.anrt.asso.fr/fr/comparaison-internationale-sur-le-cours-du-chercheur-panel-anrt-cir-10215>

[41] « Le CNRS se doit d’être irréprochable sur la question des pratiques de recherche », CNRS info, 18 décembre 2020

<https://www.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/le-cnrs-se-doit-detre-irreprochable-sur-la-question-des-pratiques-de-recherche>

[42] « Loi de programmation : ce qu’elle va changer pour la recherche », Sophie Carlier, CNRS info, 20 décembre 2020

<http://www.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/loi-de-programmation-ce-quelle-va-changer-pour-la-recherche?sstc=u39886n15390>

[43] Guide du doctorat — ANDès & CJC, Éditions Spartacus-Idh, 2020



A propos de l'auteur

Xavier Sauvage a 48 ans, il est marié, père de trois enfants. Il est directeur de recherche au CNRS, directeur du laboratoire « Groupe de Physique des Matériaux » à l'Université de Rouen. Ancien élève de l'école Normale supérieure de Cachan, il a passé son doctorat en physique en 2001. Après un séjour post-doctoral au Max Planck Institute de Stuttgart en Allemagne, il a intégré le CNRS pour une carrière de chercheur. Xavier Sauvage est spécialiste de physique des matériaux, expert en microscopie à résolution atomique. Ses travaux portent principalement sur les alliages métalliques et traitent des relations entre leur structure à l'échelle atomique et leurs propriétés. Il mène à la fois des projets de recherche fondamentale et en collaboration avec des industriels. Il est co-auteur de plus d'une centaine d'articles dans des revues scientifiques internationales. Ses travaux ont été primés par la Société française de métallurgie et de matériaux (médaille J. Rist 2009), the Federation of European Materials societies (FEMS lecturer award 2010) et Acta Materialia Inc (Acta Materialia silver medal 2019).

