

Le métier de chercheur.e en physique aujourd'hui

Ce texte propose une image du métier de chercheur.e en physique aujourd'hui. Il s'est nourri de discussions au sein de l'Institut de physique (INP) du CNRS*. Il a été présenté et discuté lors du séminaire de prospective de l'INP de novembre 2017, rassemblant une cinquantaine de physiciennes et de physiciens d'horizons variés. Cette image a pour vocation de susciter réflexions et réactions.

Les chercheurs physiciens... cherchent. Ce sont des femmes et des hommes qui cherchent à comprendre les phénomènes qu'ils observent, qui cherchent à découvrir et à exploiter les lois fondamentales de la nature qui les sous-tendent. La physique est issue de la philosophie naturelle, qui comprenait, il y a quelques siècles, l'ensemble des sciences astronomiques, physiques, chimiques et biologiques. Même si les disciplines existent aujourd'hui séparément, le champ d'application de la physique est toujours très large, allant des particules élémentaires à la cosmologie, en passant par les sciences de la matière et des ondes, les microtechnologies, les processus chimiques et biologiques...

La démarche

Dans ses démarches, le chercheur physicien se sent toujours très voisin du chercheur chimiste, astro- ou géophysicien, qui est seulement « différent » au regard de sa thématique principale et de ses compétences. En effet, dans sa diversité thématique, la physique n'est pas définie par l'objet qu'elle étudie, mais plutôt par son approche, sa méthode et ses outils. Le chercheur physicien est solidement ancré dans le quantitatif dans toutes ses démarches. Lorsqu'il est confronté à la complexité, son approche est avant tout réductionniste et unificatrice. Il cherche à représenter l'objet de son étude, aussi complexe soit-il, par ses propriétés canoniques ou ses paramètres les plus fondamentaux, à trouver des points communs avec d'autres systèmes, afin de révéler les grands principes de base, exprimés par des lois mathématiques prédictives, universelles et largement applicables. Si la complexité n'est pas réductible dans un premier temps, elle devient alors elle-même le sujet de son étude. Les systèmes dits « complexes » sont nombreux aujourd'hui, notamment dans les sciences humaines et les sciences du vivant, où les méthodes issues de la physique ont fait leur entrée discrète. Cependant, pour l'instant, elles n'ont pas permis de révéler de grands principes de base, tels que l'ont été la deuxième loi de Newton, la deuxième loi de la thermodynamique ou les relations canoniques en mécanique quantique. La « complexité » s'impose, par exemple, à la compréhension et à la modélisation des réseaux sociaux, du climat et des transactions financières, ou des objets vivants apparemment hors équilibre et multi-échelle. Malgré son succès, la méthode réductionniste du physicien traditionnel est parfois contestée, notamment avec la notion d'émergence^(a), selon laquelle le tout possède des propriétés autres que la somme de ses parties.

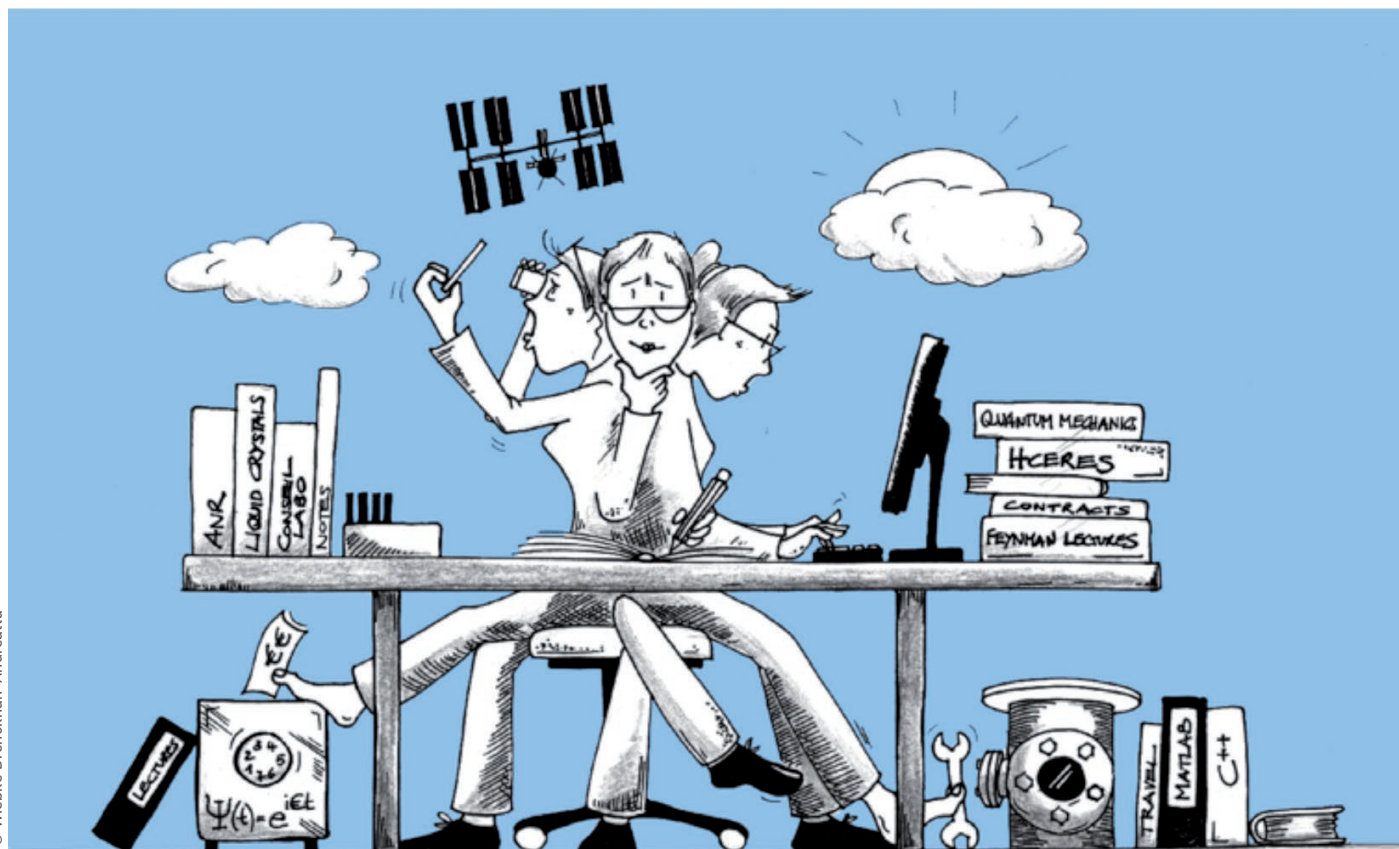
Le chercheur physicien a une approche empirique, toujours motivée par l'observation. Celle-ci est parfois aussi anodine que la pomme qui tombe ou la nuit qui est noire, mais elle est le plus souvent accompagnée et complétée par l'expérimentation, surtout depuis la Renaissance. L'observation sert à comprendre, inspirer, découvrir, trouver, créer... Comme le disait Einstein : *"It is theory which decides what we can observe."* Parfois, on observe ce que l'on cherche et cette logique s'applique, par exemple, au boson de Higgs, à la condensation des bosons ou à l'intrication quantique, et plus récemment aux ondes gravitationnelles. La théorie ici a été bien indispensable pour guider la recherche, mais elle n'est validée qu'avec l'observation du phénomène attendu. En revanche, la plupart du temps, on trouve parce que l'on observe minutieusement et pas nécessairement ce que l'on cherche, amenant à la démarche un certain caractère fortuit. On est alors en présence de ce que l'on qualifie de pure découverte, celles dont Murphy disait de façon provocante : *"All great discoveries are made by mistake !"* C'est le cas par exemple des découvertes associées à la supraconductivité du mercure ou du bruit de fond de l'Univers, pour lesquelles les compréhensions théoriques sont venues après.

Les compétences

Dans sa démarche, toujours motivée par la curiosité, le chercheur physicien a développé de nombreuses compétences essentielles et caractéristiques : l'observation expérimentale et la quantification d'observables accompagnée par l'expérience, le développement d'instrumentation avancée, l'élaboration et la maîtrise de nouveaux objets, ainsi que la modélisation mathématique. La première compétence est celle de l'observation, minutieusement soutenue par l'expérimentation de plus en plus sophistiquée, afin de réaliser une représentation précise, contrôlée et reproductible de la nature pour obtenir des informations quantitatives et fiables en fonction de quelques paramètres bien maîtrisés. L'expérimentation s'appuie sur des instruments qui ont été spécialement conçus, souvent dans le cadre du laboratoire, par le physicien et son équipe, pour pouvoir réaliser l'observation, comme par exemple les outils de microscopie ou de cryogénie, ou bien les très grands instruments de la recherche. Le physicien peut être amené à créer des objets, voire des circonstances, que l'on ne trouvera pas forcément dans la nature, par exemple avec l'élaboration de nouveaux matériaux et/ou dispositifs, avec des applications importantes et accompagnées d'une nouvelle physique. La conception des hétérostructures et



© Wiebke Drenckhan-Andreatta



.....

« Dans sa diversité thématique, la physique n'est pas définie par l'objet qu'elle étudie, mais plutôt par son approche, sa méthode et ses outils. Le chercheur physicien est solidement ancré dans le quantitatif dans toutes ses démarches. Lorsqu'il est confronté à la complexité, son approche est avant tout réductionniste et unificatrice. [...] Si la complexité n'est pas réductible dans un premier temps, elle devient alors elle-même le sujet de son étude. »

.....

(a) L'importance de l'émergence pour l'approche classique du physicien a été évoquée par Philip Anderson dans son article "More is Different" (*Physics Today*, 1972), avec notamment la découverte de la symétrie brisée spontanément.

des alliages semi-conducteurs dopés, des couches ultraminesces, la découverte du laser, du transistor, des cuprates avec leurs nouvelles propriétés extraordinaires, la conception des isolants topologiques, des matériaux photoniques, etc., sont autant d'exemples qui ont permis à la fois une meilleure compréhension des phénomènes fondamentaux et le développement de véritables innovations technologiques.

Depuis la fin du 20^e siècle, la démarche du chercheur profite pleinement de la montée en puissance de l'ordinateur : la simulation numérique, le calcul intensif et massivement parallèle, ainsi que l'imagerie digitale, l'enregistrement et le partage des *big data*. Là aussi, les outils sont développés avec une forte implication du physicien. Rappelons la conception du protocole *World-Wide-Web* au CERN, motivée par les besoins des physiciens des hautes énergies, le développement de la simulation de Monte-Carlo quantique par les chimistes et les physiciens, ou la chromodynamique quantique (QCD) sur réseau. Le profil du physicien numéricien est aujourd'hui largement accepté comme une nouvelle facette du chercheur physicien contemporain.

Partager, mettre en cause, et former

La complexité et l'évolution rapide des différentes compétences ont créé des sous-métiers, en contraste avec le physicien *universalis* d'autrefois, qui savait tout faire. Toutefois, la force du métier réside dans les interactions importantes qui existent entre les différents spécialistes, notamment entre théoriciens, numériciens et expérimentateurs, entre physique fondamentale et physique appliquée, ou encore entre physiciens et scientifiques d'autres disciplines. La spécialisation thématique, bien qu'inévitable pour avancer, constitue une menace potentielle pour le métier du

physicien. Elle exige une vigilance pour ne pas perdre de vue les avancées faites dans d'autres domaines. La synergie entre « différentes compétences » est essentielle pour avancer dans une problématique considérée. Pour cette raison, le travail du physicien est souvent un travail en équipe, voire en collaboration. Une physique pour tous, tous pour une physique !

Le chercheur physicien, confronté à l'inconnu et à la découverte, est prêt à tout remettre en cause à chaque observation, ou mieux encore, est prêt à aller très loin pour remettre en cause ses connaissances déjà acquises. Citons ici deux exemples d'actualité, impliquant deux briques de base de la physique moderne solidement ancrées dans un formalisme mathématique : le microsatellite MICROSCOPE, qui a été conçu pour tester le principe de l'équivalence des masses, la perle noire de la relativité générale ; et le prochain "high-luminosity upgrade" du CERN, qui vise à observer une physique allant au-delà du Modèle Standard des particules élémentaires.

Cette démarche d'interrogation continue est un élément clé du métier, transmise et stimulée par la formation à la recherche, notamment pendant la thèse de doctorat. L'inclure au plus tôt dans les programmes du lycée est fortement plébiscité par les communautés savantes. Certes, l'inconnu ne peut pas être enseigné, mais sentir et savoir découvrir l'inconnu en utilisant ou en développant une approche innovante, accepter de remettre en question les résultats obtenus, cela s'apprend. La formation du chercheur est permanente, souvent sur le terrain et constitue une condition *sine qua non* pour repousser les frontières des connaissances de la physique, "to go where no man has gone before". Elle exige une proximité entre enseignement et recherche qui, en plus, nourrit le transfert des découvertes vers les applications. Le questionnement par les étudiants – central à l'enseignement – amène souvent d'autres points de vue dans la recherche, comme le matérialisent les *Feynman Lectures on Physics*, et la réussite de l'École de Physique des Houches. L'enseignement, avec son double rôle de transmission et d'échanges entre professeurs et élèves représente ainsi un pilier essentiel au métier du chercheur physicien.

Sans frontières et multitâche

Le métier du chercheur ne connaît pas de frontières, que celles-ci soient géographiques, politiques ou thématiques, si bien qu'il est aujourd'hui profondément « mondialisé ». Ceci est également vrai en ce qui concerne son rôle dans la société et dans le monde. En effet, à l'instar des autres scientifiques, le physicien prend de nombreuses responsabilités et diversifie ses activités, notamment en matière de dissémination, d'expertise, de valorisation et d'innovation.

La dissémination des travaux est cruciale pour le chercheur physicien et représente la première étape dans la valorisation de ses recherches. Elle laisse avant tout une trace pérenne de son activité. L'objectif principal de la publication est d'être lue, confrontée à d'autres résultats et exploitée. La publication seule, même dans une revue de fort impact et de forte visibilité, n'apporte pas ces garanties. Le chercheur physicien communique ses résultats dans des rencontres internationales, échange et confronte ses idées avec ses pairs. Parfois initiée par un seul chercheur, c'est toujours la communauté internationale qui juge la pertinence d'une nouvelle avancée. En plus des échanges avec les pairs, le chercheur physicien se doit de communiquer ses avancées aux

collègues scientifiques issus d'autres domaines et auprès du grand public. La physique révèle une nature surprenante et fascinante, elle révèle notre place minuscule dans l'Univers, elle révèle le monde quantique, contre-intuitif et subtilement invisible dans la vie quotidienne, et elle ouvre des perspectives pour répondre à de nombreux défis sociétaux. La recherche en général est devenue l'un des principaux moteurs de la société contemporaine et mérite d'être largement partagée. Les avancées de la physique ouvrent de nouveaux questionnements et constituent la base pour des développements originaux et innovants, avec des ramifications dans des domaines variés. Pour ces raisons, la société – grand public, collègues, industriels, jeunes – se sent concernée par les retombées de la physique. Une société qui en a conscience soutiendra plus aisément les travaux scientifiques. Le chercheur a donc pour mission de communiquer afin d'entretenir la relation de confiance entre la recherche et la société.

Une partie importante du métier de chercheur est consacrée à l'expertise. Les activités de tout chercheur sont examinées en amont ou en aval par ses « pairs » (*peer review*), des experts dans le domaine qui peuvent discuter de la valeur scientifique d'un travail dans son contexte. Il peut s'agir d'une part des travaux déjà effectués, soumis à une revue scientifique, qui doivent être évalués quant à leur créativité, leur rigueur et leur pertinence scientifique. Examiner et évaluer les travaux de nos collègues est primordial pour maintenir la qualité scientifique de la recherche dans son ensemble et fait donc partie du métier du chercheur. Puisqu'il y a de plus en plus de manuscrits soumis – plus 5% par an au niveau mondial – le *peer review* traditionnel atteint aujourd'hui ses limites. Une alternative est nécessaire afin de garantir la qualité de la recherche sans pour autant surcharger les chercheurs. De plus, le chercheur est sollicité pour donner son avis sur les demandes de crédits soumises par ses pairs, notamment, car la science est de plus en plus soutenue par un financement sur projet. Cette activité, gourmande en temps, établit ainsi un lien avec le financement de la recherche qui, malheureusement, se révèle régulièrement insuffisant, peu prévisible et précaire, et fragilise trop souvent les actions du chercheur physicien.

Valoriser et innover

La valorisation de la science est un maillon essentiel du métier du physicien. Par « valorisation » on entend aujourd'hui transférer les résultats de ses recherches, non seulement vers les pairs et le grand public, mais également vers les acteurs économiques, susciter leur intérêt et connaître leurs besoins. Ce dernier aspect prend de plus en plus d'importance en raison du contexte économique et sociétal. De nombreuses avancées en physique ont été valorisées dans des produits que l'on trouve sur le marché, tels que le transistor, le CCD, le CD ROM, les têtes de lecture à GMR, le GPS... Le champ du physicien est large, il peut évoluer aussi bien dans le monde académique que s'exercer en milieu industriel. La valorisation est une richesse du métier, largement appréciée par la communauté des physiciens, car la méthodologie, la créativité et l'approche du physicien s'expriment aussi bien dans un contexte appliqué qu'industriel. Les activités du chercheur s'inscrivent au début de la chaîne dite TRL (*Technology Readiness Level*), laquelle décrit le parcours d'une découverte au laboratoire (TRL=1) jusqu'au produit du marché (TRL=9). Une grande partie de cette chaîne requiert l'intervention d'autres métiers. Même si le



chercheur physicien intervient généralement jusqu'au niveau TRL=3 à 4 (*proof of concept* au laboratoire), de nombreux chercheurs se retrouvent aujourd'hui plus loin dans la chaîne, s'ouvrant alors à un monde motivé par le retour sur investissement. Le fort impact sociétal de la physique s'est révélé sans ambiguïté dans la révolution technologique qui a commencé au 19^e siècle. À l'instar de la recherche en amont, la valorisation parcourt parfois un chemin long, imprévisible et fortuit. De nombreuses idées résident longtemps au début de la chaîne TRL, comme celle de l'ordinateur quantique, faute de la maîtrise des effets de décohérence à grande échelle. Ainsi, le *flagship* européen sur les technologies quantiques, imminent et doté d'un milliard d'euros, incite les chercheurs physiciens à aller au-delà de la preuve de concept et à améliorer suffisamment le TRL pour permettre d'initier le développement industriel proprement dit.

Innovater, c'est trouver de nouvelles solutions scientifiques à des questions et des besoins. On peut citer la compréhension de la propagation des épidémies, le développement des nano-architectures, la recherche de nouvelles sources d'énergie plus durables et plus économiques, la disponibilité d'internet à haut débit partout, etc. Contrairement à la valorisation, l'innovation est un processus plutôt *top-down* et répond à une demande, même si cette demande est parfois incitée par le monde industriel lui-même. Le chercheur physicien possède toutes les compétences pour être force d'innovation. De nombreux physiciens exercent leur métier dans des entreprises innovatrices, d'autres ont créé des *start-up* sur la base d'une idée novatrice. L'innovation et la valorisation s'inscrivent dans la stratégie nationale de la recherche en France pour « mieux répondre aux défis scientifiques, technologiques, économiques et sociétaux ». À ce titre, elles font partie du métier du chercheur d'aujourd'hui.

Comment travailler demain ?

L'histoire a montré que l'exploration "*blue-sky*" du chercheur physicien peut engendrer des solutions originales et surprenantes. Le succès de ce métier réside dans son approche méthodologique et sa confrontation avec une grande diversité de problématiques. Une trop forte spécialisation thématique ou méthodologique risquerait de faire disparaître l'universalité du métier de physicien, reconnu encore aujourd'hui pour ses compétences d'« explorateur de solutions ». Par ailleurs, l'attribution de moyens avec un objectif prédéfini, pour livrer des résultats « prêts à porter », réduit l'espace de liberté vitale du chercheur physicien. Il est donc nécessaire de préserver un bon équilibre entre ce pilotage *top-down*, avec des résultats réclamés à courte échelle de temps, et une recherche exploratoire aux retombées à long terme pour que le physicien conserve sa motivation principale, la curiosité pour comprendre les lois de la nature.

Contact : bart.van-tiggelen@lpmmc.cnrs.fr

* Ont participé aux discussions : Jean-Michel Courty, Benoit Devincré, Noël Dimarcq, Frédérique de Fornel, Philippe Gandit, Jean-Marc Grenèche, Niels Keller, Martina Knoop, Emmanuelle Lacaze, Astrid Lambrecht, Laurent Lellouch, Frédéric Petroff, Geneviève Pourroy, Pascale Roubin, Alain Schuhl, Marc Sentis, Marie Signoret, Francine Solal, Amina Taleb, Jean-Sébastien Tanzilli, Bart van Tiggelen.